Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXVII, вып. II, 1952 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ МЕТОДИКЕ

Доц. *В. Д. Ломтадзе*

Скальные горные породы широко используются в строительстве. Они часто служат естественным основанием различных сооружений, слагают откосы котлованов, каналов, выемок и карьеров. Многочисленны примеры сооружения в скальных горных породах туннелей и галерей, а также различных промышленных и специальных сооружений. Скальные породы широко используются в качестве строительного и облицовочного камня, при приготовлении щебня для бетона, дорожных покрытий, балласта и других строительных целей.

Инженерно-геологическая оценка скальных горных пород должна основываться на изучении их минералогического состава, структуры, текстуры, условий залегания, трещиноватости и выветрелости, т. е. на геолого-петрографических признаках. Дополнительными данными для такой оценки пород должны являться результаты лабораторных исследований на временное сопротивление сжатию, размягчаемость, пористость, водонасыщение, водопоглощение, морозоустойчивость и истираемость. Всего этого в некоторых случаях оказывается недостаточно для оценки стойкости скальных пород по отношению к агентам выветривания. Поэтому в таких случаях возникает необходимость исследования пород в лабораторных условиях по специальной методике, предусматривающей изучение не только общих строительных свойств пород, но и их сопротивляемости воздействию физических и химических факторов выветривания. Результаты таких исследований, проведенных для одного из строительных объектов, приводятся ниже.

Исследованиям подвергались диабазы, гранито-гнейсы, граниты биотитовые и амфиболо-биотитовые, гранитоиды, гнейсы биотитовые, гнейсы биотитово-роговообманковые и биотитово-гранатовые, известняки кристаллические, песчаники массивные, гравелистые и тонкослоистые.

Как видно, исследованиям подвергались породы массивно-кристаллические изверженные, массивно- и слоисто-кристаллические метаморфические и осадочные сцементированные.

В результате предварительного петрографического изучения состава, структуры и сложения этих пород установлено, что диабазы по составу и структуре следует считать породами наиболее устойчивыми по отношению к воздействию на них агентов выветривания. Граниты, по сравнению с диабазами, менее устойчивы, так как в их составе повышенное содержание слюд и структура их неоднородна.

Гранито-гнейсы и гнейсы составляют следующую группу, отрицательными признаками которой являются резко выраженная сланцеватость и полосчатость, повышенное содержание слюд и неравномерное их распределение в породе.

Кристаллические известняки и массивные песчаники можно объединить в одну группу, так как состав их и структура сравнительно одинаковы.

Известняки неоднородно раскристаллизованы и окварцованы. Песчаники имеют структуру от мелкозернистой до крупнозернистой, местами гравелистые. Неодинаков в них состав цемента и характер цементации.

Гравелистые и тонкослоистые песчаники представляют последнюю группу из рассматриваемых пород. Они отличаются малой устойчивостью в атмосферных условиях вследствие наличия в них слабого цемента, значительной выветрелости и резко выраженной тонкой слоистости.

Лабораторным исследованиям было подвергнуто 30 проб. Из них 19 являлись отдельными видами горных пород, отличающихся по своему минералогическому составу и структуре. Остальные пробы были дубликатами первых, частично подвергшихся выветриванию в природе. Как показало изучение химического состава пород, количество SiO_2, Al_2O_3, F_2O_3 и их соотношение в образцах, свежих и подвергнувшихся выветриванию, остается в основном постоянным. Следовательно, химическое выветривание на эти породы оказывало малое влияние, главная роль принадлежала агентам физического выветривания.

Влияние различных факторов на прочность пород выявлялось путем внешнего осмотра и определения их механической прочности по временному сопротивлению сжатию. По принятой методике для испытания каменных строительных материалов определение сопротивления сжатию производилось на образцах кубической формы с длиной ребра от 4 до 7 *см*. Для всех других испытаний брались кубики с длиной ребра от 2 до 4 *см*. В зависимости от однородности пробы для каждого вида испытаний бралось от трех до девяти образцов. Таким образом для всех видов испытаний всего было изготовлено 1500 кубиков [1]

I. СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Цикл испытаний перечисленных выше типов скальных горных пород для характеристики их строительных свойств состоял в определении их объемного и удельного весов, водопоглощения, истираемости, морозоустойчивости и временного сопротивления сжатию. Все испытания выполнялись по общеизвестной и установленной методике на отдельных образцах кубической формы, изготовленных из отобранных проб. Кубики для испытаний брались размером 7×7 *см* и 4×4 *см*.

1. Объемный и удельный веса

Образцы для определения объемного и удельного весов брались от каждого отобранного для испытания штуфа. Объемный вес определялся способом гидростатического взвешивания насыщенного водой образца, удельный — пикнометрическим способом. Результаты определений сведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, к наиболее тяжелым породам относятся диабазы и известняки, имеющие объемный вес выше 2,9. Породами более

[1] Все испытания горных пород выполнялись в лаборатории строительных материалов Ирпромстрома.

легкими являются граниты, гнейсы и гранито-гнейсы, имеющие средний объемный вес от 2,7 до 2,9. Наиболее легкими породами являются песчаники, объемный вес которых меньше 2,7 Сравнив полученные данные по определению объемного и удельного весов выделенных типов горных пород с литературными, видим, что они вполне соответствуют их петрографическому составу и никаких исключений не составляют.

2. Пористость и водопоглощение

Одной из существенных характеристик физических свойств горных пород являются пористость и водопоглощение. Пористость определялась по объемному и удельному весу. Водопоглощение определялось насыщением образцов породы кубической формы. Насыщение кубиков производилось посредством кипячения их в горячей воде в течение 3 час. с последующим охлаждением в той же воде. Результаты определений пористости и водонасыщения сведены в табл. 2.

Из приведенных данных видно, что пористость первых четырех групп пород (диабазы, гранито-гнейсы, граниты, гнейсы) несколько повышена и в среднем изменяется от 2 до 3%. Однако, как свидетельствуют литературные данные, для пород подобного петрографического состава она не должна быть выше единицы. Пористость известняков и песчаников следует считать нормальной.

Если условно принять, что пористость диабазов (как породы наиболее однородной по своему составу и структуре в пределах описываемого района) соответствует цифровому показателю, равному единице, то в сравнении с ним гранито-гнейсы будут иметь показатель, равный 0,95, граниты — 1,62, гнейсы — 1,3, известняки — 1,45 и песчаники массивные — 1,32.

Таким образом, наиболее плотными породами являются диабазы и гранито-гнейсы, второе место занимают граниты, гнейсы, известняки и песчаники.

Следовательно, все породы обладают малым водопоглощением и процентное значение его значительно ниже процентного значения пористости. Поэтому коэффициент водонасыщения пор всех пород должен быть значительно ниже единицы, что косвенно указывает на то, что породы должны отличаться морозостойкостью. Выражая для сравнения водопоглощение пород так же, как и пористость, при помощи условных цифровых показателей и, принимая для диабазов показатель, соответствующий единице, для гранито-гнейсов, гранитов и гнейсов получим соответственно 8,8, 9,0, 8,8, для известняков 4,5, для массивных песчаников 13,2 и для песчаников гравелистых и тонкослоистых 125,0. Из этих данных видно, что наиболее нестойкими породами в этом отношении должны являться песчаники гравелистые и тонкослоистые.

3. Истираемость

Некоторым косвенным показателем прочности горных пород является их истираемость. Определение истираемости производилось на круге Боме с подсыпкой в качестве шлифующего материала наждака. Вычисление истираемости производилось по объему и весу на единицу площади. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Из приведенных данных видно, что наибольшей прочностью должны отличаться диабазы. Прочность гранито-гнейсов и гранитов по сравнению с диабазами должна быть, примерно, в полтора-два раза ниже. Еще ниже должна быть прочность гнейсов, известняков и песчаников.

Таблица 1

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Удельный вес	Среднее значение	Объемный вес	Среднее значение
I	Диабазы	5	Свежее	3,110	3,110	3,040	3,040
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2,850		2,770	
			Выветрелое	2,674		2,650	
		4	Свежее	2,752	—	2,700	—
			Выветрелое	2,737		2,680	
		20	Свежее	2,697	2,718	2,610	2,676
			Выветрелое	2,699	—	2,650	—
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	2,798		2,680	
			Выветрелое	2,870		2,860	
		22	Свежее	3,141		3,00	—
			Выветрелое	3,105		2,950	2,762
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	2,717	2,869	2,560	
			Выветрелое	2,761	—	2,660	
	Гранитоид		Свежее	2,863		2,730	
			Выветрелое	2,699	—	2,660	
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2,735		2,710	—
			Выветрелое	3,103		3,090	2,775
	Гнейсы биотито-рогово-обманковые	13	Свежее	2,768	2,859	2,640	
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	2,918		2,730	
			Выветрелое	2,864		2,760	
		19	Свежее	2,884		2,830	
			Выветрелое	2,868		2,820	—
		6	Свежее	2,739		2,620	—
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	3,015	2,984	2,860	2,860
			Выветрелое	2,922		2,860	—
		10	Свежее	3,015		2,860	—
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	2,678	2,701	2,620	2,620
		27		2,725	—	2,620	—
VII	Песчаники гравелистые	26	Свежее	—	—	2,390	2,270
	Песчаники тонкослоистые	25				2,150	2,270

Таблица 2

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Пористость, %	Среднее значение пористости	Водопоглощение, %	Среднее значение водопоглощения
	Диабазы	5	Свежее	2,28	2,28	0,04	0,04
	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2,81		0,27	—
			Выветрелое	0,90		0,44	
			Свежее	1,89	2,16	0,40	0,35
			Выветрелое	2,08		0,36	—
		20	Свежее	3,23		0,30	
			Выветрелое	1,82		0,34	—
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	4,22		0,09	—
			Выветрелое	0,35		0,44	
		22	Свежее	4,49		0,30	
			Выветрелое	4,99		0,64	
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	5,78	3,70	0,74	0,36
			Выветрелое	3,66	—	0,32	—
	Гранитоиды		Свежее	4,65		0,10	
			Выветрелое	1,44		0,23	
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	0,55		0,42	
			Выветрелое	0,42		0,39	
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	4,62		0,41	
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	6,44		0,38	—
			Выветрелое	3,63		0,52	
	Гнейсы биотито-гранатовые	19	Свежее	1,87	—	0,16	—
			Выветрелое	1,67	2,97	0,20	0,35
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	4,54			0,32
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	2,69		0,15	
			Выветрелое	2,12		0,23	
		10	Свежее	5,14	3,62	0,15	0,18
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	2,17	3,01	0,36	0,53
		27		3,85	—	0,70	—
VII	Песчаники гравелистые	26	Свежее			3,09	
	Песчаники тонкослоистые	25	»			7,79	5,44

Таблица

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Истираемость			
				по объему, $см^3/см^2$	среднее значение	по весу, $г/см^2$	среднее значение
	Диабазы		Свежее	0,08	0,08	0,24	0,24
	Гранито-гнейсы	3	Свежее	0,22	—	0,60	—
		4		0,14	0,16	0,39	0,44
		20		0,13		0,35	
	Граниты биотитовые	12	Свежее	0,13	—	0,35	—
		22		0,15	0,18	0,46	0,37
	Граниты амфиболо-биотитовые	11		0,16		0,40	
	Гранитоиды	7		0,10		0,28	
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	0,25		0,68	—
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13		0,15		0,41	
	Гнейсы биотито-гранатовые	18		0,20	0,35	0,57	0,57
		19		0,16		0,46	—
	Гнейсы инъекционные	6		0,29		0,75	
	Кристаллические известняки	9	Свежее	0,32	0,50	0,90	1,40
		10		0,69	—	1,91	—
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	0,31	0,25	0,84	0,69
		27		0,20		0,54	

4. Прочность

Для характеристики прочности горных пород они были подвергнуты испытаниям на временное сопротивление сжатию. Испытания производились на образцах кубической формы с длиной ребра от 4 до 7 *см*. Дополнительно испытания на сжатие были выполнены также на образцах малых размеров с длиной ребра от 2 до 4 *см*. Временное сопротивление сжатию определялось для образцов, находящихся в воздушно-сухом и насыщенном водой состоянии.

Все результаты определения прочности горных пород представлены в табл. 4.

Из приведенных данных (табл. 4) видно, что прочность встречающихся типов скальных пород в пределах описываемого района неодинакова. Наиболее прочными являются диабазы, сопротивление сжатию которых достигает 3334 $кг/см^2$.

Прочность гранито-гнейсов, гранитов и гнейсов высока, но ниже, чем у диабазов, и сопротивление сжатию для них достигает в среднем 2479 $кг/см^2$. Кристаллические известняки и массивные песчаники имеют прочность еще ниже. И, наконец, наименее прочными породами являются

Таблица 4

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Временное сопротивление сжатию, кг/см²						
				образцы большие					образцы малые	
				в воздушно-сухом состоянии, среднее значение из 2—3 определений	среднее значение	в насыщенном водой состоянии, среднее значение из 2—3 определений	среднее значение	снижение прочности, %	в воздушно-сухом состоянии, среднее значение из 3—5 определений	среднее значение
I	Диабазы	5	Свежее	3334	3334	2112	2112	36	3550	3550
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2414	—	1452	—	—	2252	—
		4		2095	2479	1022	1434	42	2196	2106
		20	„	2930		1828	—	—	1869	—
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	2019	—	1628	—	—	1758	1670
		22		2198	2050	1493	1735	15	1288	—
	Гранит амфиболо-биотитовый	11		1895					1729	—
	Гранитоиды	7		2090		2085			1905	
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	1730					2016	1908
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13		1491		1252			1547	
	Гнейсы биотито-гранатовые	18		1870	1858	1150	1388	25	1498	—
		29		2245		3169			2455	
	Гнейсы инъекционные	6		1953		1762			2022	
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1525	1165	1269	1106	5	1148	1238
		10		806	—	943	—		1328	—
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1514	1562	1529	1496	4	1673	
		27		1611		1646	—		—	
VII	Песчаники гравелистые	26	Свежее	774	539	344	264	56	473	578
	Песчаники тонкослоистые	25		304		95			683	

песчаники гравелистые и тонкослоистые, сопротивление сжатию которых изменяется от 304 до 774 *кг/см²* при среднем значении 539 *кг/см²*. Такое соотношение групп пород видно и по результатам испытаний образцов малых размеров и хорошо подтверждается сравнительными цифровыми показателями. Если для диабазов последний принять равным 1, то для гранито-гнейсов он должен быть равен 1,3, для гранитов соответственно 1,6, гнейсов 1,8, песчаников массивных 2,1, кристаллических известняков 2,9 и песчаников гравелистых и тонкослоистых 6,2.

Следовательно, прочность гранито-гнейсов по сравнению с диабазами ниже, примерно, на 25%, гранитов на 39%, гнейсов на 45%, песчаников массивных на 53%, известняков на 65% и песчаников гравелистых и тонкослоистых на 84%. Однако следует иметь в виду, что приведенные цифры не отражают всех качеств горных пород и их следует рассматривать пока только при оценке прочности пород.

Горные породы, как следует из данных, значительно снижают свою прочность при насыщении водой, т. е. размягчаются. Причем наиболее слабыми породами в этом отношении являются песчаники тонкослоистые и гравелистые и гранито-гнейсы; наиболее стойкими — граниты, кристаллические известняки и массивные песчаники. Промежуточное положение занимают диабазы и гнейсы.

5. Морозостойкость

Одним из наиболее важных строительных свойств скальных горных пород является их морозостойкость. Она определялась путем 25-кратного замораживания образцов при средней температуре — 16° с последующим оттаиванием.

Оценка морозостойкости производилась на основании внешнего осмотра испытываемых образцов и деформаций, которые они претерпели. Морозостойкость оценивалась также сравнением результатов испытаний на временное сопротивление сжатию образцов, находящихся в воздушно-сухом состоянии, и образцов, прошедших 25-кратное замораживание.

В результате испытаний скальных пород на морозостойкость (табл. 5) было установлено, что почти все образцы, за исключением песчаников гравелистых и тонкослоистых, при внешнем осмотре не имели никаких признаков разрушений. Это до некоторой степени характеризует их достаточную морозостойкость.

Для оценки морозоустойчивости пород, кроме внешних признаков и относительных показателей, крайне важно, чтобы после 25-кратного замораживания прочность их понижалась не более чем на 20—25%. Как видно из табл. 5, только диабазы не выдержали этих норм.

6. Оценка строительных свойств скальных пород

Рассматриваемые породы не одинаковы по своим строительным свойствам. Это подтверждают результаты испытаний отдельных свойств пород (табл. 6). Однако, как было указано выше, приведенные в табл. 6 цифровые показатели отражают те или иные свойства пород в сравнении со свойствами диабаза — породы наиболее однородной по минеральному составу и структуре и отличающейся наиболее высокими техническими показателями. Поэтому все сравнительные цифровые показатели, имеющие значение выше единицы, характеризуют качества пород по сравнению с диабазами более низкие; показатели, имеющие значение ниже единицы, характеризуют качества более высокие.

Из приведенных сравнительных показателей видно, что все породы по своим строительно-техническим свойствам могут быть разделены на следующие шесть классов: диабазов, гранитов, гранито-гнейсов, гнейсов, кристаллических известняков и массивных песчаников и класс песчаников тонкослоистых и гравелистых.

Каждый показатель табл. 6 отражает отдельные свойства горных пород, итоговый сравнительный показатель представляет сумму этих свойств.

Граниты и гранито-гнейсы по своим строительно-техническим качествам стоят, примерно, в 2—3 раза ниже диабазов. Тем не менее, они

Таблица 5

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Временное сопротивление сжатию, кг/см²				
				образцы большие				
				в воздушно-сухом состоянии, среднее значение из 2—3 определений	среднее значение	после 25-кратного замораживания	среднее значение	снижение прочности, %
	Диабазы	5	Свежее	3334	3334	2073	2073	38
	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2414	—	1964	—	—
		4		2095	2479	1863	2024	18
		10		2930	—	2245		—
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	2019	—	2345	—	—
		22		2198	2050	2061	2032	1
	Гранито амфиболо-биотитовые	11		1895		1736		
	Гранитонды	7		2090		1988		
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	1730		1360		
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13		1491		1759		
	Гнейсы биотито-гранатовые	18		1870	1858	1931	1983	
		19		2245	—	2271	—	
	Гнейсы инъекционные	6		1953		2596		
	Кристаллические известняки	9	Свежее	1525	1165	1790	1533	
		10		806		1277	—	
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1514	1562	1577	1536	2
		27		1611	—	1497	—	—
VII	Песчаники гравелистые	26	Свежее	774	539	733	485	10
	Песчаники тонкослоистые	25		304		237		

поставлены в разные классы, так как гранито-гнейсы по своей структуре и сложению занимают промежуточное положение между гранитами и гнейсами и даже к последним стоят ближе. Поэтому объединять их в один класс, учитывая только строительные показатели, будет неправильным. Из приведенных данных также видно, что гнейсы по строительным показателям стоят ниже диабазов в 2,74 раза, кристаллические известняки и массивные песчаники, примерно, в 3 раза и, наконец, песчаники тонкослоистые и гравелистые в 18 раз.

По своим техническим показателям диабазы могут считаться хорошим строительным материалом. Однако их структурные особенности

Таблица 6

Тип породы	Наименование породы	Сравнительные цифровые показатели								Сумма	Сравнительное значение
		пористость	водопоглощение	истираемость по объему	истираемость по весу	прочность в воздушно-сухом состоянии	прочность в насыщенном водой состоянии	размягчаемость	прочность после 25-кратного замораживания		
I	Диабазы		1		1			1		8	1
II	Гранито-гнейсы	0,95	8,8	2,0	1,8	1,3	1,5	1,1	1,0	18,45	2,32
III	Граниты	1,62	9,0	2,3	1,5	1,6	1,2	0,4	1,0	18,62	2,34
IV	Гнейсы	1,3	8,8	4,4	2,4	1,8	1,5	0,7	1,0	21,9	2,74
V	Кристаллические известняки	1,45	4,5	6,3	5,8	2,9	1,9	0,14	1,3	24,29	3,02
VI	Песчаники массивные	1,32	11,2	3,1	2,9	2,1	1,4	0,11	1,3	25,43	3,18
VII	Песчаники гравелистые и тонкослоистые		125,0			6,2	8,1	1,55	4,3	145,15	18,2

(мелко- и скрытокристаллическое сложение) неблагоприятно отражаются на некоторых их технических свойствах, поэтому они имеют сравнительно повышенную размягчаемость (до 36%) и значительно сниженную после 25-кратного замораживания прочность (до 38%).

Граниты и гранито-гнейсы по своим качествам уступают диабазам, тем не менее, они могут являться достаточно хорошим строительным материалом, вполне пригодным в инженерных сооружениях и выборочно для облицовки.

Для строительных целей могут быть использованы и гнейсы, но, благодаря четко выраженной сланцеватости, применение их по сравнению с диабазами, гранитами и гранито-гнейсами несколько ограничено.

Кристаллические известняки и массивные песчаники в строительстве могут быть использованы в качестве бутового и штучного камня (для менее ответственных сооружений) и для щебенки в бетон. Высокое содержание кварца исключает использование известняка в качестве сырья для получения извести.

Последний класс пород по своим техническим показателям составляют песчаники тонкослоистые и гравелистые. Для строительных целей они не могут быть рекомендованы даже для мало ответственных сооружений.

Заканчивая строительную оценку скальных пород, следует отметить, что первые три класса — диабазы, граниты и гранито-гнейсы — могут быть использованы для щебня на балласт, остальные породы — гнейсы, известняки и песчаники — для этой цели рекомендованы быть не могут, так как обладают повышенной истираемостью.

II. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Сохранность скальных горных пород в природе, как указано выше, в значительной степени определяется их стойкостью по отношению к атмосферным факторам, оказывающим на них разрушающее действие. К числу наиболее энергичных факторов, определяющих интенсивность и ход физического выветривания, относятся вода (во всех видах) и воздействие температуры.

С целью получения сравнительной характеристики устойчивости пород по отношению к физическим факторам были поставлены лабораторные испытания.

Установленной методики и программы подобных испытаний скальных горных пород не существует. Поэтому программа испытаний была составлена, исходя из условий наибольшего приближения их к природным. В соответствии с этим перед исследованием стояли следующие задачи:

1) определить влияние кристаллизационного давления;
2) определить влияние резких смен температуры (термостойкость);
3) изучить влияние напряжений, возникающих в горных породах в результате частых переходов температуры через 0°;
4) определить влияние механического размягчения;
5) определить влияние насыщения пород водой.

Ниже приводятся результаты проведенных испытаний.

1. Влияние кристаллизационного давления

Под кристаллизационным давлением понимается давление, возникающее в породе вследствие роста кристаллов, выделяющихся при испарении воды и водных растворов, насыщающих породы.

В природных условиях выделение кристаллов солей из поверхностных и подземных вод наблюдается часто. Поэтому по откосам выемок и на поверхности естественных скальных обнажений часто наблюдаются налеты, натеки, выцветы и другие виды кристаллизации и выделений солей. Некоторые деформации и разрушения горных пород объясняются именно действием кристаллизационного давления. Лабораторные опыты показывают большое сходство характера разрушений скальных пород, возникающих под влиянием кристаллизационного давления, с разрушениями, наблюдаемыми в природе при их выветривании.

При проведении опытов образцы каждой пробы постепенно погружались в насыщенный раствор Na_2SO_4 путем приливания раствора через каждые 2 часа. После полного погружения образцы выдерживались в растворе в течение 2 час. Весь цикл погружения образцов в раствор занимал 10 час. Насыщенные таким образом образцы помещались в сушильный шкаф, в котором выдерживались в течение 3 час. при температуре 105° С. После охлаждения в эксикаторе образцы вновь насыщались.

Всего таких насыщений и высушиваний было проведено 15, после этого все образцы претерпели те или иные изменения. У образцов диабазов наблюдалось изменение окраски из черной в бурую. Все образцы гранито-гнейсов имели заметные следы разрушений в виде увеличения трещин, выкрашивания углов и граней, особенно в местах скопления слюды. Образцы гнейсов претерпели более значительные деформации, особенно биотито-роговообманковые (проба 10). У большинства образцов гнейсов наблюдалось изменение окраски — посветление или побурение, рассланцовывание и значительное выкрашивание ребер и углов.

Значительные изменения также претерпели образцы известняков. Они, помимо выкрашивания ребер и углов, имели неровности на поверхности. Песчаники массивные деформаций не обнаружили, но заметно побурели. Наконец, песчаники гравелистые и тонкослоистые испытаний не выдержали и разрушились после третьего насыщения.

С целью определения изменения прочности пород после 15-кратного насыщения все образцы были подвергнуты испытаниями на сопротивление сжатию. Испытания выполнялись на образцах в воздушно-сухом состоянии. Результаты испытаний, приведенные на графике (рис. 1) и в табл. 7, свидетельствуют о том, что для всех без исключения пород наблюдается снижение прочности. Наиболее стойкими породами в этом отношении, как и по многим другим показателям, являются диабазы, снижение прочности которых не превышает 10%. Снижение прочности гранито-гнейсов в среднем достигает 35%, гранитов 25%, гнейсов 28%, кристаллических известняков 37% и песчаников массивных 20%.

Таким образом, только диабазы и массивные песчаники имеют снижение прочности не более 20—25%. Все остальные группы пород снижают прочность более чем на 25%, и по сравнению с диабазами являются породами в 2, 3 и более раз менее стойкими.

2. Влияние резких смен температуры

При континентальном климате температура воздуха обычно имеет резкие колебания как годовые, так и суточные. Горные породы, находясь в таких климатических условиях, испытывают влияние колебаний температуры. Так как линейное расширение минералов, слагающих горные породы, по разным осям их кристаллов бывает неодинаковым, в горных породах создаются напряжения, вызывающие их дезинтеграцию и раскалывание на составные части. Поэтому резкие изменения температуры способствуют быстрому и сильному разрушению горных пород.

Наиболее сильное действие резких смен температуры наблюдается при нагревании горных пород до 500° и выше и затем резком их охлаждении. В проводимых нами опытах образцы всех типов пород нагревались в муфельных печах и потом резко охлаждались в мокром песке.

После восьми теплосмен несколько проб сильно разрушились. У образцов диабазов, например, появился ряд трещин различных направлений. Окраска их из темной превратилась в бурую. Образцы гранито-гнейсов также претерпели некоторые деформации, появились трещины, местами выкрашивались ребра. Почти все образцы изменили окраску и приобрели бурый оттенок. Довольно хорошо с внешней стороны выдержали испытания граниты, у образцов которых заметных деформаций обнаружено не было и только чуть заметно увеличились имевшиеся волосные трещины и окраска породы приобрела бурые оттенки. У образцов гнейсов увеличилась трещиноватость и произошло изменение окраски. У известняков появились трещины во всех направлениях и ясно обозначались включения кварца. Песчаники массивные испытания выдержали, деформаций не имели, и только окраска их из темной перешла в светло-серую. Песчаники тонкослоистые испытаний не выдержали, и два образца после трех испытаний совершенно расслоились, хотя некоторые образцы этих песчаников имели небольшое снижение прочности.

Чтобы сравнить действие резких смен температуры на механическую прочность пород, образцы не доводились до полного разрушения, а после восьми циклов нагревания и охлаждения испытывались на сопротивление сжатию. Результаты испытаний показаны на графике (рис. 2) и сведены в табл. 8.

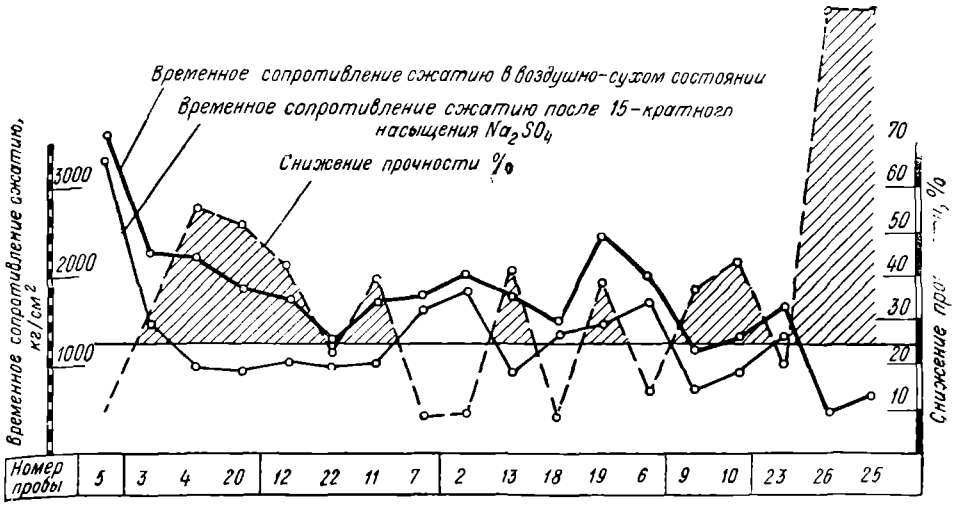


Рис. 1. График влияния кристаллизационного давления на разрушение скальных горных пород

Номер пробы			5	3	4	20	12	22	11	7
Наименование породы			Диабазы	Гранито-гнейсы			Граниты			
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	3550	2253	2196	1869	1758	1228	1729	1787
	после насыщения Na_2SO_4	кг/см²	3288	1489	993	925	1024	995	1054	1649
	снижение прочности .	%	10,2	33,9	54,7	51,1	42,3	22,7	39,0	8,8

Номер пробы			2	13	18	19	6	9	10	23	26	25
Наименование породы			Гнейсы					Кристаллические известняки		Песчаники		
										массивные	тонкослоистые и гравелистые	
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	2016	1547	1498	2455	2022	1148	1328	1673	473	683
	после насыщения Na_2SO_4	кг/см²	1820	920	1360	1497	1736	723	945	1334		
	снижение прочности .	%	9,7	40,5	9,2	39	13,9	37,0	43,9	20,2	100	100

Таблица 7

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, кг/см²		Снижение прочности от кристаллизационного давления, %	Средний процент	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии, среднее значение из 5 определений	после 15-кратного насыщения и высушивания, среднее из 5 определений			
I	Диабазы	5	Свежее	3550	3288	10,2	10	1
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	1489	33,9	—	3,5
			Выветрелое	1826	1461	19,9		
		4	Свежее	2196	993	54,7	35	
			Выветрелое	1953	1303			
		20	Свежее	1869	925	51,1		
			Выветрелое	1898	1574	17,0		
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1024	42,3	—	—
			Выветрелое	1470	1342	0,1		
		22	Свежее	1288	995	22,7		2,5
			Выветрелое	1152	942	18,2	25	
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729	1054	39,0		
			Выветрелое	1919	1024	46,6		
	Гранитоид	7	Свежее	1787	1649	8,8		
			Выветрелое	1807	1561	14,2	—	
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1820	9,7	28	2,8
			Выветрелое	2167	845	60,0		—
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	920	40,5		
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1498	1360	9,2		
			Выветрелое	1291	953	26,1		
	Гнейсы биотито-гранатовые	19	Свежее	2455	1497	39,0		
			Выветрелое	2385	1709	28,3		
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	1736	13,9		
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	723	37,0	—	—
			Выветрелое	1509	1039	31,3	37	3,7
		10	Свежее	1328	945	43,9		
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	1334	20,2	20	2,0

Из приведенных в табл. 8 данных видно, что наибольшую устойчивость против воздействия резких колебаний температуры, имеют диабазы, снижение прочности которых произошло всего на 4%.

Хорошие результаты показали испытания образцов гранитов и массивных песчаников. Снижение прочности их произошло не более чем на 15% и, как указано выше, внешних деформаций они не имели.



Рис. 2. График влияния резких смен температуры на разрушение скальных горных пород

Номер пробы			5	3	4	20	12	22	11	7
Наименование породы			Диабазы	Гранито-гнейсы			Граниты			
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	3850	2253	2196	1869	1758	1288	1729	1787
	после резкого снижения температуры	кг/см²	3402	1487	1729	1157	1472	1234		1504
	снижение прочности		4,1	33,9	21,2	38,1	16,3	4,2	—	15,8

Номер пробы			2	13	18	19	6	9	10	23	26	25
Наименование породы			Гнейсы					Кристаллические известняки		Песчаники		
										массивные	тонкослоистые и гравелистые	
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	2016	1547	1498	2455	2022	1148	1328	1673	473	803
	после резкого снижения температуры	кг/см²	1459	1441	1451	1186	2085	731	889	1486	332	553
	снижение прочности	%	27,6	8,4	8,1	51,6		23,0	93,0	11,1	29,8	19

	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	1487	33,9	
			Выветрелое	1826	1505	17,5	
		4	Свежее	2196	1729	21,2	29,0
			Выветрелое	1953	898	84,0	
		20	Свежее	1869	1157	38,1	
			Выветрелое	1898	1683	11,3	
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1472	16,3	
			Выветрелое	1470	1182	19,5	
		22	Свежее	1288	1234	4,2	
			Выветрелое	1152	1353		15,0
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729			
			Выветрелое	1919	1540	14,7	
	Гранитоид	7	Свежее	1787	1504	15,8	
			Выветрелое	1807	1867		
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1459	27,6	
			Выветрелое	2167	1487	31,0	
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	1447	8,4	
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1493	1451	3,1	26,0
			Выветрелое	1291	1005	22,1	
		19	Свежее	2455	1186	51,6	
			Выветрелое	2385	1453	34,0	
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	2085		
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	731	23,0	
		9	Выветрелое	1509	1018	32,5	30,0
		10	Свежее	1328	889	33,0	
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	1486	11,1	11,1
VII	Песчаники гравелистые	26	Выветрелое	473	332	29,8	24,4
	Песчаники тонкослоистые	25		683	553	19,0	—

Остальные группы пород снизили прочность после произведенных опытов более чем на 25% и некоторые из них имели заметные внешние деформации.

3. Влияние напряжений, возникающих в горных породах в результате частых переходов температуры через нуль

Наиболее характерным показателем устойчивости горных пород по отношению к температурным воздействиям (в условиях континентального климата) является устойчивость при частых переходах температуры через нуль градусов. Частота перехода температуры через нуль считается наиболее важным фактором в разрушении скальных пород, так как происходящее при этом замерзание воды, проникающей в их поры и трещины, вызывает постепенное разрушение и разрыхление породы в целом.

Для выяснения результатов разрушения горных пород при воздействии на них частых переходов температуры через нуль были выполнены следующие испытания. Образцы всех типов скальных горных пород нагревались до температуры 100° и выдерживались при этой температуре 3 часа. Нагретые образцы вынимались из шкафа и охлаждались тонкой струей воды, создающей подобие дождя, затем помещались в камеру с температурой — 10°, где выдерживались в течение 3 час. Температура камеры вследствие загрузки горячих образцов повышалась до — 2—5°. Охлажденные образцы вновь помещались в термостат с температурой 100°

В результате проведенных 50 опытов переменных нагреваний и охлаждений все образцы внешних изменений не имели.

Результаты испытаний на сжатие образцов, подвергшихся воздействию 50 теплосмен, приведены в табл. 9 и на графике рис. 3.

Из приведенных данных (рис. 3 и табл. 9) видно, что прочность некоторых образцов после воздействия частых переходов температуры через нуль значительно снизилась. Пробы № 4 и 9, например, снизили прочность на 43—44% и проба № 2 — на 54%.

Из горных пород, имеющих распространение в пределах описываемого района, наиболее стойкими породами оказались диабазы и массивные песчаники, снижение прочности которых не превысило 10—12%. Гранито-гнейсы и граниты имели снижение прочности в среднем на 18—19%, гнейсы на 21—22%, кристаллические известняки на 35% и песчаники тонкослоистые и гравелистые на 43%. Таким образом, гранито-гнейсы, граниты и гнейсы по отношению к частым колебаниям температуры являются породами, примерно в 2 раза менее стойкими, чем диабазы, а кристаллические известняки и песчаники тонкослоистые и гравелистые — в 3—4 раза.

4. Влияние механического размягчения

При насыщении скальных горных пород водой, они испытывают сильный скоростной напор, который вызывает внутренние напряжения и уменьшает механическую прочность пород. Многократные насыщения и последующие высушивания создают «усталость» пород от повторяющихся внутренних напряжений. Поэтому известное уменьшение прочности после насыщения водой наблюдается у всех типов пород, в том числе и у пород, в которых совершенно отсутствуют глинистые примеси, как, например, свежий гранит, диабаз и др.

При исследовании влияния механического размягчения на отдельные группы скальных горных пород испытываемые образцы подвергались 25-кратному насыщению водой и затем высушиванию, после чего

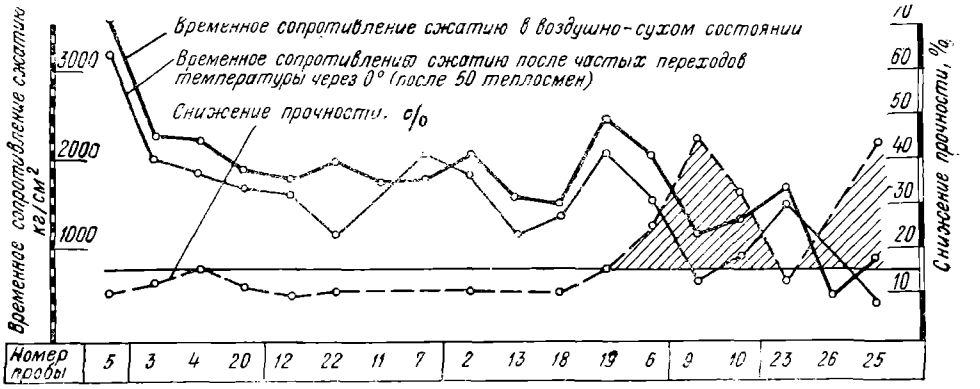


Рис. 3. График влияния частых переходов температуры через 0° на разрушение скальных горных пород

Номер пробы			5	3	4	20	12	22	11	7
Наименование породы			Диабазы	Гранито-гнейсы			Граниты			
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	3550	2253	2196	1869	1758	1988	1729	1803
	после частых переходов температуры через 0°	кг/см²	3190	1994	1853	1659	1600	1150		2056
	снижение прочности		10,1	11,3	15,6	11,2	9,1	10,7		

Номер пробы			2	13	18	19	6	9	10	23	26	25
Наименование породы			Гнейсы					Кристаллические известняки		Песчаники		
										массивные	тонкослоистые и гравелистые	
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	2016	1547	1498	2455	2022	1148	1328	1673	473	863
	после частых переходов температуры через 0°	кг/см²	1803	1141	1347	2069	1522	637	900	1472	—	300
	снижение прочности		10,5	26,2	10,0	15,2	24,7	44,5	32,2	12,6	—	43,0

Таблица 9

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, кг/см²		Снижение прочности, %	Средний процент	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии, среднее значение из 5–6 определений	после 50 теплосмен, среднее значение из 5–6 определений			
	Диабазы	5	Свежее	3550	3190	10,1	10,1	1
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	1994	11,3		
			Выветрелое	1826	1842			
		4	Свежее	2196	1853	15,6	18,1	1,8
			Выветрелое	1953	1099	43,1		
		20	Свежее	1869	1659	11,2		
			Выветрелое	1898	1701	9,5		
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1600	9,1		
			Выветрелое	1470	1063	27,7	—	
		22	Свежее	1288	1150	10,7		
			Выветрелое	1152	752	34,7	19,3	1,9
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729				
			Выветрелое	1919				—
	Гранитоид	7	Свежее	1787	2056			
			Выветрелое	1807	1551	14,2		
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1803	10,5		
			Выветрелое	2167	980	54,7		
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	1141	26,2		
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1498	1347	10,0	21,9	2,2
			Выветрелое	1291	917	29,0	—	
		19	Свежее	2455	2069	15,2		
			Выветрелое	2385	2242	4,9		
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	1522	24,7		
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	637	44,5		
			Выветрелое	1509	1076	28,6	35,1	3,5
		10	Свежее	1328	900	32,2		
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	1472	12,6	12,6	1,3
VII	Песчаники гравелистые	25	Выветрелое	473				
	Песчаники тонкослоистые	25	»	683	390	43,0	43,0	4,3

определялось их сопротивление сжатию. Насыщение водой производилось путем постепенного их погружения в воду через каждые 2 часа на $^1/_4$ высоты.

Высушивались образцы при температуре 90—100° в течение 3 час., затем охлаждались в эксикаторе. Внешний вид образцов после 25-кратного насыщения и высушивания каких-либо изменений, кроме окраски, не претерпел. Большинство проб приобрело бурый оттенок.

Результаты испытаний на сжатие образцов, находящихся в воздушно-сухом состоянии и подвергавшихся 25-кратному насыщению водой и высушиванию, сведены в табл. 10.

Из приведенных данных (рис. 4, табл. 10) видно, что диабазы, граниты и гнейсы дали благоприятные результаты. Они имели незначительное снижение прочности и по отношению к механическому размягчению являются сравнительно устойчивыми. Гранито-гнейсы, некоторые пробы кристаллических известняков, гнейсов и песчаников имели снижение прочности более значительное и в отношении механического размягчения оказались породами менее стойкими, примерно, в 2 раза.

5. Влияние насыщения водой

Влияние влаги на прочность горных пород сказывается не только в механическом размягчении. Большинство горных пород снижает свою прочность при простом увлажнении или насыщении, так как горные породы способны в той или иной степени изменять объем при изменении влажности. Изменение объема пород вследствие неодинакового колебания влажности в их поверхностной и внутренней частях служит причиной появления в них напряжений. Таким образом, причиной, понижающей прочность пород при их насыщении, являются напряжения, развивающиеся в массе пород и действующие на них разрушающе.

Проведенные в этом направлении испытания образцов пород показали, что все они, при насыщении водой значительно снижают прочность.

При насыщении водой образцы предварительно высушивались до воздушно-сухого состояния. Для более полного насыщения образцы кипятились в воде в течение 3 час. После некоторого охлаждения они испытывались на сжатие. Результаты этих опытов сведены в табл. 11.

Как видно из табл. 11 и рис. 5, все типы пород при насыщении водой снизили свою прочность более чем на 25%, поэтому не могут считаться достаточно устойчивыми. Более стойкими оказались гранито-гнейсы, менее стойкими — кристаллические известняки и массивные песчаники, диабазы, граниты и гнейсы, и совершенно нестойкими породами — песчаники гравелистые и тонкослоистые.

Оценка влияния физических факторов на устойчивость скальных горных пород

Проведенные испытания показали, что наиболее сильное разрушение на горные породы оказало кристализационное давление и насыщение водой. Влияние других факторов (температуры, механического размягчения и т. д.) заметно меньше.

Снижение прочности горных пород под влиянием кристаллизационного давления изменялось от 10 до 100% и в среднем оказалось равным 36%. Снижение прочности горных пород при насыщении водой изменялось от 28 до 72,9%, в среднем 39%. Снижение прочности под влиянием других факторов не превышало в среднем 22—23%.



Рис. 4. График влияния механического размягчения на разрушение скальных горных пород

Номер пробы			5	3	4	20	12	22	11	7
Наименование породы			Диабазы	Гранито-гнейсы			Граниты			
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	3550	2253	2196	1869	1758	1288	1729	1787
	после 25-кратного насыщения	кг/см²	3036	1511	1394	1214	1540	1276	1321	1510
	снижение прочности		14,5	32,9	36,5	35,0	12,8	0,9	23,6	15,5

Номер пробы			2	13	18	19	6	9	10	23	26	25
Наименование породы			Гнейсы					Кристаллические известняки		Песчаники		
										массивные	тонкослоистые и гравелистые	
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	кг/см²	2016	1547	1498	2455	2022	1148	1328	1673	473	863
	после 25-кратного насыщения	кг/см²	1379	1258	1425	2374	1979	945	769	1202	396	
	снижение прочности	%	31,6	18,7	4,9	3,3	2,1	17,7	42,1	28,2	16,3	

Таблица 10

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, кг/см²		Снижение прочности, %	Средний процент	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии, средние данные из 5–6 определений	после 25-кратного насыщения водой и высушивания			
I	Диабазы	5	Свежее	3550	3036	14,5	14,5	1
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	1511	32,9	33,7	2,32
			Выветрелое	1826	1274	30,2		
		4	Свежее	2196	1394	36,5		
			Выветрелое	1953	824	57,8		
		20	Свежее	1869	1214	35,0		
			Выветрелое	1898	1711	9,8		
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1540	12,8	16,6	1,14
			Выветрелое	1470	1345	8,5		
		22	Свежее	1288	1276	0,9		
			Выветрелое	1152	1280			
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729	1321	23,6		
			Выветрелое	1919	1370	28,6		
	Гранитоид	7	Свежее	1787	1510	15,5		
			Выветрелое	1807	1627	10,0		
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1379	31,6	16,0	—
			Выветрелое	2167	1572	27,5		
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1517	1258	18,7		
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1498	1425	4,9		1,1
			Выветрелое	1291	1304			
		19	Свежее	2455	2374	3,3		
			Выветрелое	2385	1809	24,2		
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	1979	2,1		
	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	945	17,7	28,9	2,0
			Выветрелое	1509	1102	27,0		
		10	Свежее	1328	769	42,1		
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	1202	28,2	28,2	1,95
VII	Песчаники гравелистые	26	Выветрелое	473	396	16,3	16,3	1,12
	Песчаники тонкослоистые	25	"	683	—	—	—	—

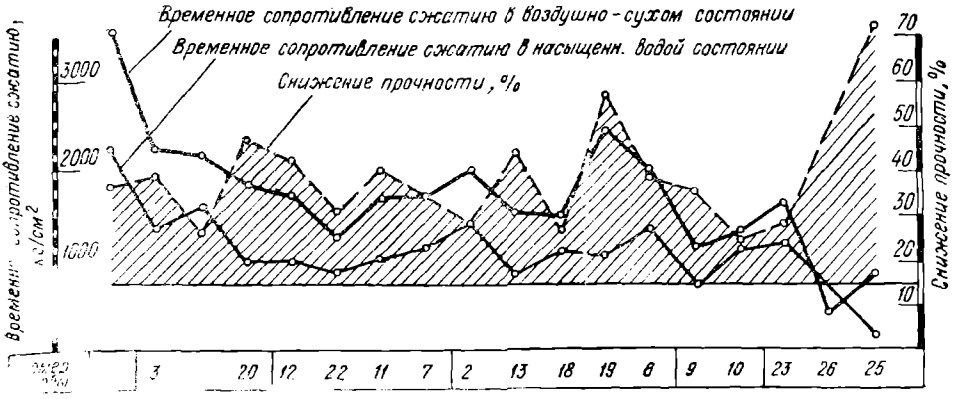


Рис. 5. График влияния насыщения водой на разрушение скальных горных пород

Номер пробы			5	3	4	20	12	22	11	7
Наименование породы			Диабазы	Гранито-гнейсы			Граниты			
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	*кг/с.м²*	3550	2258	2196	1869	1758	1283	1729	1727
	в насыщенном состоянии		2356	1380	1615	989	1003	890	1026	1162
	снижение прочности		36,5	38,7	26,5	47,1	42,9	30,9	40,7	35,0

Номер пробы			2	13	18	19	6	9	10	23	26	25
Наименование породы			Гнейсы					Кристаллические известняки		Песчаники		
										массивные	тонкослоистые и гравелистые	
Сопротивление сжатию	в воздушно-сухом состоянии	*кг/см²*	2016	1547	1498	2455	2022	1148	1328	1673	473	863
	в насыщенном состоянии		1427	854	1116	1054	1362	742	1132	1195	—	185
	снижение прочности	%	29,2	44,8	26,3	57,1	38,7	35,4	25,0	28,5	—	72,9

Таблица 11

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, кг/см²		Снижение прочности, %	Средний процент	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии, среднее значение из 5—6 определений	в насыщенном водой состоянии			
I	Диабазы	5	Свежее	3550	2256	36,5	36,5	1
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	1380	38,7		
			Выветрелое	1826	1565	14,3	—	
		4	Свежее	2196	1615	26,5	30,4	0,83
			Выветрелое	1953	949	51,4		
		20	Свежее	1869	989	47,1		
			Выветрелое	1898	1810	4,6		
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1003	42,9		
			Выветрелое	1470	1092	25,7		
		22	Свежее	1288	890	30,9		
			Выветрелое	1152	1305		35,0	0,96
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729	1026	40,7		
			Выветрелое	1919				
	Гранитоиды	7	Свежее	1787	1162	35,0		
			Выветрелое	1807				
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1427	29,2		
			Выветрелое	2167	977	54,9		—
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	854	44,8		
			Свежее	1498	1116	26,3	38,9	1,06
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Выветрелое	1291	1031	20,1		
			Свежее	2455	1054	57,1		
		19	Выветрелое	2385	1455	39,0	—	
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	1362	38,7		
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	742	35,4		
			Выветрелое	1509	1132	25,0	31,1	0,85
		10	Свежее	1328	889	33,1		
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	1196	28,5	28,5	0,78
VII	Песчаники гравелистые	26	Выветрелое	473	—			
	Песчаники тонкослоистые	25	»	683	185	72,9	72,9	2,00

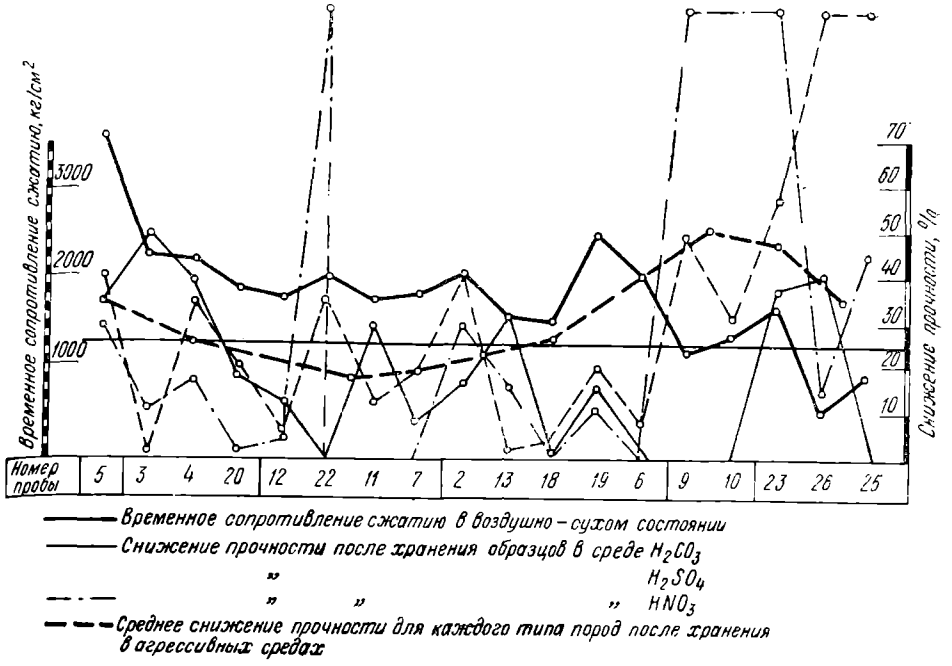


Рис. 6. График влияния химических факторов на разрушение скальных горных пород

Номер пробы			5	3	4	20	12	22	11	7
Наименование породы			Диабазы	Гранито-гнейсы			Граниты			
Сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии		кг/см²	3550	2253	2196	1869	1758	1989	1729	1803
Снижение прочности после хранения образцов в среде	H_2CO_3	%	34,2	49,3	39,1	18,0	11,9	0,0	29,2	7,6
	H_2SO_4	%	39,7	0,0	34,4	19,5	5,3	35,9	11,97	19,0
	HNO_3	%	29,2	10,0	16,4	1,41	4,0	100	0,0	0,0
Средние для каждого образца пород			34,8	25,6			17,0			

Номер пробы			2	13	18	19	6	9	10	23	26	25
Наименование породы			Гнейсы					Кристаллические известняки		Песчаники		
										массивные	тонкослоистые и гравелистые	
Сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии		кг/см²	2015	1547	1498	2455	2022	1148	1328	1673	473	863
Снижение прочности после хранения образцов в среде	H_2CO_3		16,0	31,3	0,0	15,72	0,0	0,0	0,0	36,6	39,8	3,0
	H_2SO_4		40,7	1,23	3,47	19,35	7,3	48,9	30,5	57,18	100	100
	HNO_3		28,7	15,5	0,0	10,5	0,0	100	100	100	14,0	44,0
Средние для каждого образца пород		%	26,3					50,7		47,3	34,4	

Весь цикл испытаний скальных пород по выяснению влияния физических факторов на их устойчивость подтвердил, что по своим свойствам они не однородны и поэтому должны иметь различную устойчивость в атмосферных условиях.

В результате испытаний типы исследуемых пород могут быть разделены по степени устойчивости, так же как и по строительным качествам, на шесть классов: диабазов, гранитов, гранито-гнейсов, гнейсов, кристаллических известняков и массивных песчаников и песчаников тонкослоистых и гравелистых.

Сравнительные результаты этих испытаний (по определению влияния физических факторов на разрушение горных пород) сведены в табл. 12.

Таблица 12

Наименование породы	Среднее снижение прочности после испытаний, %					
	на кристаллизационное давление	на влияние резких колебаний температуры	на влияние напряжений при переходе температуры через 0°	на механическое размягчение	при насыщении водой	для каждого типа пород
Диабазы	10	4,1	10,1	14,5	36,5	15,0
Граниты	25	15	19,3	16,6	35,0	22,0
Гранито-гнейсы	35	29	18,1	33,7	30,4	29,2
Гнейсы	28	26	21,9	16,0	38,9	26,1
Кристаллические известняки	37	30	35,1	28,9	31,1	32,4
Песчаники массивные	20	11,1	12,6	28,2	28,5	20,1
Песчаники гравелистые и песчаники тонкослоистые	100	24	43,6	16,3	72,9	51,2
Среднее снижение прочности для каждого вида испытаний	36,4	19,9	23,0	22,0	39,0	

Наиболее стойкими породами почти по всем данным оказались диабазы. Они показали хорошую сопротивляемость воздействию факторов выветривания (снижение прочности в среднем не более 15%). Диабазы незначительно снизили прочность при испытании на кристаллизационное давление при воздействиях температуры и механическом размягчении. Только при насыщении водой прочность их понизилась на 36,5%. При всех видах испытаний внешне диабазы заметных деформаций не имели.

Таким образом, диабазы следует считать породами достаточно устойчивыми в атмосферных условиях.

Сравнительно устойчивыми породами в отношении физического выветривания являются также граниты. Они отличаются разнообразием состава и структуры и поэтому обладают неодинаковой сопротивляемостью по отношению к агентам физического выветривания.

Заметное разрушающее влияние на граниты оказало кристаллизационное давление, от действия которого образцы гранитов имели следы разрушения и значительно снизили прочность. Внешними признаками разрушений образцов гранитов являлось выкрашивание углов, граней, увеличение трещин и т. д. Температурные испытания и влияние механического размягчения граниты выдержали, и снижение прочности их после этих испытаний было незначительным. Довольно значительное влияние на прочность гранитов оказало насыщение водой, в результате

которого прочность их снизилась на 35%. По сравнению с диабазами устойчивость гранитов в атмосферных условиях от воздействия физического выветривания должна быть ниже примерно в 1,5 раза.

К породам устойчивым и сравнительно инертным по отношению к воздействию физического выветривания относятся также песчаники массивные. Они довольно хорошо выдержали все виды испытаний, внешних признаков разрушений не имели и снижение их прочности не превышало 20%. По сравнению с диабазами их устойчивость должна быть ниже не более чем в 1,5 раза.

Учитывая строительные качества массивных песчаников, их можно объединить в одну группу с известняками. К категории пород средней устойчивости против воздействия физических факторов должны быть отнесены гранито-гнейсы и гнейсы. Первые и особенно вторые, благодаря ясной рассланцованности и неоднородности строения, обладают анизотропностью свойств. Все пробы легко переносят напряжения при частых переходах температуры через нуль, но значительно снижают прочность под влиянием кристаллизационного давления и многократного насыщения водой.

Гранито-гнейсы и гнейсы недостаточно термостойки и при резких сменах температуры снижают свою прочность в среднем на 26—29%, а в отдельных случаях на 40—51%. Это объясняется различными температурными коэффициентами расширения отдельных составных частей породы и их анизотропностью. По сравнению с диабазами устойчивость гранито-гнейсов ниже почти в 2 раза.

Породами слабыми по отношению к воздействию физического выветривания являются кристаллические известняки. При воздействии физических факторов они снижают прочность на 28,9—37%, в среднем от всех агентов разрушений — на 32,4%. По сравнению с диабазами их устойчивость ниже, примерно, в 2 раза.

Последнюю группу исследуемых пород составляют песчаники тонкослоистые и гравелистые. Они являются совершенно неустойчивыми. Испытания влияния кристаллизационного давления, например, они не выдержали: после двух насыщений раствором Na_2SO_4 они разрушались. При температурных воздействиях они снижают прочность на 24—43% и при насыщении водой до 72,9%. От воздействия всех факторов разрушения они в среднем снижают прочность на 51,2%. По сравнению с диабазами их устойчивость ниже более чем в 3 раза.

III. ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Основное влияние в процессе химического выветривания горных пород имеет вода и водные растворы, содержащие в растворенном, коллоидальном и взвешенном состоянии различные химические соединения. Влияние их прежде всего выражается в растворении составных частей пород, а также в гидролитическом разложении, окислении, восстановлении, гидратации и других процессах.

Все эти процессы обусловливают химическое разрушение горных пород, сопровождающееся потерей блеска, изменением цвета, образованием пятен, натеков, налетов, каолинизацией, выщелачиванием и другими явлениями.

Роль этих процессов в разрушении горных пород в климатических условиях района исследований не первостепенна, и, как было указано выше, решающее влияние здесь имеют агенты физического выветривания. Тем не менее, некоторое влияние, повидимому, оказывают и хими-

ческие факторы. Поэтому для получения сравнительной оценки устойчивости горных пород от их влияния были поставлены описанные ниже испытания.

По литературным данным известно, что наиболее разрушающее воздействие на породы оказывают воды, содержащие в своем растворе угольную кислоту. Учитывая это, в числе проводимых испытаний была взята среда угольной кислоты.

Сильное воздействие на породы оказывает вода с содержанием серной кислоты, почему в испытаниях была принята также среда серной кислоты. Образование последней в природе происходит за счет растворения в воде дымовых газов, содержащих серный и сернистый ангидрид, а также за счет окисления сернистых минералов, содержащихся в породах.

В качестве третьего реагента была взята азотная кислота, часто присутствующая в природных водах как результат гниения органических веществ, окисления азота воздуха и других поступлений.

Установленной разработанной методики испытания горных пород на устойчивость против химического воздействия нет. Поэтому при проведении настоящей работы была применена методика ускоренного испытания, разработанная для цементов. Особенность этой методики состоит в том, что для испытаний применяются растворы кислот высоких концентраций и образцы малых размеров. Учитывая, что в основу проводимых испытаний была положена задача получения данных для сравнительной оценки устойчивости пород, принятую методику следует считать вполне приемлемой.

1. Влияние среды угольной кислоты

Для постановки опытов с угольной кислотой были использованы кубики, длина ребер которых 2—3 *см*.

Хранились образцы в эксикаторах, на фарфоровые подставки которых подсыпался чисто промытый кварцевый песок и ставились испытуемые образцы.

Образцы заливались водой из расчета 35 $см^3$ на каждый образец. Вода насыщалась углекислым газом ежедневно до такого состояния, пока не образовывался свободный углекислый газ в верхней части эксикатора. Несмотря на постоянное содержание свободной кислоты в растворе, разрушения образцов после 180 дней хранения не наблюдалось, за исключением проб известняков, на поверхности которых произошло растворение $CaCO_3$ и образование неровностей за счет обнажения зерен кварца.

Заметному разрушению подверглись также два образца песчаников тонкослоистых, которые при помещении в раствор развалились.

Результаты испытаний на сжатие образцов, находящихся в воздушно-сухом состоянии и после 180 дней хранения в среде угольной кислоты, сведены в табл. 13.

Анализируя приведенные данные, необходимо заметить, что испытания прошли не совсем удачно. Повидимому, в связи с недостаточной однородностью образцов прочность многих из них после хранения в среде угольной кислоты оказалась выше прочности образцов, находящихся в воздушно-сухом состоянии. Тем не менее, из приведенных данных видно, что среда угольной кислоты, например, на диабазы и гранито-гнейсы оказала большое влияние, и они значительно снизили прочность.

Таблица 13

Тип породы	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, кг/см²		Снижение прочности, %	Средний процент	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии	после хранения в растворе H_2CO_3			
I	Диабазы	5	Свежее	3550	2355	34,2	34,2	1
II	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	1142	49,3	—	
			Выветрелое	1826	1837			
		4	Свежее	2196	1336	39,1		
			Выветрелое	1953	1016	47,9	37,0	1,08
		20	Свежее	1869	—			
			Выветрелое	1898	1553	18,0	—	
III	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1548	11,9		
			Выветрелое	1470	1548			—
		22	Свежее	1288	1332		17,1	0,5
			Выветрелое	1152	1410			
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729	1224	29,2		
			Выветрелое	1919	1537	19,9		
	Гранитоиды	7	Свежее	1787	1650	7,6		
			Выветрелое	1807	2026			
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1696	16,0		
			Выветрелое	2167	1583	33,1		
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	1062	31,3	24,0	0,7
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1498	1650	—	—	
			Выветрелое	1291	1577		—	
		19	Свежее	2455	2070	15,72		
			Выветрелое	2385	2503			—
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	2351			—
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	1194			—
		10		1328	1369			
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	1061	36,6	36,6	1,07
VII	Песчаники гравелистые	25	Выветрелое	683	411,4	39,8	39,8	—
	Песчаники тонкослоистые	26		473	456,0	3,0		1,16

Довольно стойкими породами в среде угольной кислоты оказались граниты и гнейсы. Известняки и песчаники испытаний не выдержали, так как известняки имели внешние признаки разрушений, а песчаники значительно снизили прочность.

2. Влияние среды серной кислоты

Постановка опыта со средой серной кислоты аналогична предыдущему опыту.

В стеклянные эксикаторы на подставки, покрытые чистым кварцевым песком, помещались испытуемые образцы и заливались раствором серной кислоты. Для ускорения опыта кислота была взята 15-процентная. Образцы свежих пород хранились отдельно от образцов выветрившихся. Заливались они раствором из расчета 30 $см^3$ на один образец. Наблюдения за образцами производились через каждые семь дней. После пребывания всех образцов в растворе серной кислоты в течение 100 дней на них наблюдались следующие деформации и изменения. У образцов диабазов после 27 дней изменилась окраска в сторону посветления, появились точки, состоящие из белого вещества. В конце опыта у трех образцов было замечено выкрашивание граней и ребер и появились разрушения, связанные с увеличением объема породы. Все изменения у диабазов шли чрезвычайно медленно. Гранито-гнейсы испытания в основном выдержали.

После 100-дневного пребывания образцов в растворе серной кислоты у некоторых появился слабый белый налет или было замечено слабое притупление углов и ребер. У меньшего количества образцов были обнаружены трещины и только один выветрелый образец разрушился полностью. Часть образцов гранитов деформаций совершенно не имела или изменила только окраску в сторону посветления. У некоторых образцов гранитов выкрашивались ребра и грани, к концу опыта образцы утратили правильность формы. Один образец выветрелых гранитов деформировался полностью. Более значительные разрушения претерпели образцы гнейсов. Многие из них разрушились полностью в результате появления трещин, увеличения объема и т. д. Часть образцов имела выкрашивание ребер и граней, и меньшее количество из них внешних деформаций не имело.

У образцов известняков вскоре после помещения их в среду серной кислоты началось растворение карбонатного вещества, появился белый налет гипса и обнажились зерна кварца. Ввиду большой плотности исследуемых пород разрушение их шло только с поверхности. После семи дней образцы из кислоты были удалены с целью сохранения их для определения прочности. Все образцы песчаников испытаний не выдержали. У образцов массивных песчаников после семидневного пребывания в растворе серной кислоты началось растворение поверхностного слоя, после 27 дней образцы утратили правильность формы. Образцы тонкослоистых и гравелистых песчаников после этого же срока разрушились полностью и для определения прочности были не пригодны.

Помимо внешних признаков разрушений, все типы пород снизили свою прочность (табл. 14).

Серная кислота, как видно из табл. 14, оказала разрушающее действие на все типы пород, однако в различной степени. Наибольшие изменения претерпели известняки и песчаники. Они снизили прочность более чем на 50% и, имея значительные внешние деформации, испытания не выдержали. Значительно снизили прочность диабазы и гнейсы. Наоборот, хорошие результаты показали испытания образцов гранитов

Таблица 14

Тип п	Наименование породы	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, *кг/см²*		Снижение прочности, %	Средний процент	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии	после 100 дней хранения в 15-процентном растворе H_2SO_4			
	Диабазы	5	Свежее	3550	2138	39,7	39,7	1
	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	2265			
			Выветрелое	1826	1369	25		
		4	Свежее	2196	1440	34,4		
			Выветрелое	1953	1516	22,3	25,0	0,63
		20	Свежее	1869	1505	19,5		
			Выветрелое	1898	1459	23		
	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1665	5,3		
			Выветрелое	1470	1137	22,65		
		22	Свежее	1288	825	35,9		
			Выветрелое	1152	956	17,01	17,0	0,43
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729	1522	11,97		
			Выветрелое	1919	1750	8,8		—
	Гранитоиды	7	Свежее	1787	1446	19,0		
			Выветрелое	1807	1678			
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1195	40,7		
			Выветрелое	2167	870	59,8		
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	1528	1,23		—
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1498	1446	3,47		
			Выветрелое	1291			34,0	0,86
		19	Свежее	2455	1980	19,35		
			Выветрелое	2385	2013	15,6		
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	1874	7,3		
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	586	48,9		
			Выветрелое	1509	409	72,8	50,7	1,28
		10	Свежее	1328	923	30,5		—
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	708	57,68	68,0	1,46
VII	Песчаники гравелистые	26	Выветрелое	473	Разрушились, испытать невозможно			
	Песчаники тонкослоистые	25	»	683	—	—	—	—

и гранито-гнейсов. Снижение прочности их в среднем произошло соответственно на 17 и 25%. Таким образом, наиболее стойкими породами в среде серной кислоты следует считать граниты и гранито-гнейсы.

3. Влияние среды азотной кислоты

Условия проведения опыта со средой азотной кислоты аналогичны предыдущим. Образцы также помещались в эксикаторы, но срок хранения в них образцов был менее продолжителен. Кроме того, учитывая, что азотная кислота является наиболее сильным растворителем для ряда веществ и то, что концентрация ее в природных водах незначительная, первоначально для испытаний был взят 0,5-процентный ее раствор. После хранения образцов в данной среде в течение двух месяцев никаких деформаций на образцах обнаружено не было, после этого концентрация кислоты была увеличена до 6° Бомэ, или 8,13%.

При данной концентрации разрушение образцов произошло довольно быстро и наблюдалось следующее: у диабазов изменилась только окраска из темносерой в светлосерую. Других внешних изменений они не имели. Деформации у гранито-гнейсов выразились в основном в выкрашивании углов и граней, особенно в местах, имеющих серую окраску и скопления биотита. Деформации многих образцов гранитов произошли по волосным скрытым трещинам. Поэтому наряду с образцами гранитов, которые сохранились хорошо, имелись образцы, значительно деформировавшиеся или полностью разрушившиеся (пробы 12, 22). У части образцов гранитов, так же как и у гранито-гнейсов, наблюдалось выкрашивание ребер и граней. Разрушение претерпело также значительное количество образцов гнейсов, чему особенно способствовало наличие в их составе слюды.

Известняки и массивные песчаники испытаний не выдержали, и все образцы их разрушились. Наконец, значительные изменения претерпели также песчаники гравелистые и тонкослоистые. Разрушение последних происходило главным образом по слоям. Результаты определения прочности всех типов пород после испытаний их на устойчивость в среде азотной кислоты сведены в табл. 15.

Данные, приведенные в табл. 15, показывают, что полученные результаты отличаются значительной неоднородностью. Для каждого типа пород имеются образцы, мало изменившие свою прочность, одновременно с образцами значительно ее снизившие. Особенно рельефно неоднородность полученных результатов выступает для гранитов, имеющих снижение прочности для одних образцов всего на 4%, для других — на 52,4%, а третьи, как указано выше, разрушились полностью. Аналогичные результаты получены для песчаников, гранито-гнейсов и гнейсов. Причиной тому послужила, надо полагать, недостаточная однородность испытываемых образцов, а следовательно, и пород, слагающих описываемый участок.

Подводя итоги полученным результатам, можно заключить, что диабазы, гранито-гнейсы, граниты и гнейсы в среднем являются породами довольно стойкими в такой агрессивной среде, как азотная кислота, хотя, как уже отмечено выше, в отдельных случаях очень легко ею разрушаются. Учитывая внешние признаки разрушений, наиболее стойкими из перечисленных пород следует считать гранито-гнейсы и граниты. Кристаллические известняки и все типы песчаников в среде азотной кислоты неустойчивы и легко ею разрушаются.

Таблица 15

Тип породы	Наименование	Номер пробы	Состояние пробы	Сопротивление сжатию, кг/см²		Снижение прочности, %	Среднее	Сравнительный цифровой показатель
				в воздушно-сухом состоянии	после хранения в растворе HNO_3			
	Диабазы	5	Свежее	3550	2513	29,2	29	
	Гранито-гнейсы	3	Свежее	2253	2155	10,0		
			Выветрелое	1826	1555	14,7		
		4	Свежее	2196	1835	16,4	14	0,48
			Выветрелое	1953	1459	25,3		
		20	Свежее	1869	1842	1,41		
			Выветрелое	1898	1753	7,5		
	Граниты биотитовые	12	Свежее	1758	1686	4,0		
			Выветрелое	1470	Образцы разрушились, испытать невозможно			
		22	Свежее	1288	Образцы разрушились, испытать невозможно			
	Граниты амфиболо-биотитовые	11	Свежее	1729	2145			
			Выветрелое	1919	913	52,4		—
	Гранитоиды	7	Свежее	1787	1867			
			Выветрелое	1807	1970			
IV	Гнейсы биотитовые	2	Свежее	2016	1437	28,7		
			Выветрелое	2167	1673	22,8		
	Гнейсы биотито-роговообманковые	13	Свежее	1547	1302	15,5	21	0,72
	Гнейсы биотито-гранатовые	18	Свежее	1498	1607			
			Выветрелое	1291	2311			
		19	Свежее	2455	2198	10,5		
			Выветрелое	2385	1701	28,7		
	Гнейсы инъекционные	6	Свежее	2022	2140			—
V	Кристаллические известняки	9	Свежее	1148	Образцы разрушились, испытать невозможно			
			Выветрелое	1509				
		10	Свежее	1328				
VI	Песчаники массивные	23	Свежее	1673	Образцы разрушились, испытать невозможно			
VII	Песчаники гравелистые	26	Выветрелое	473	407	14	29	1,0
	Песчаники тонкослоистые	25	»	683	383	44	—	—

4. Оценка влияния химических факторов на разрушение скальных горных пород

Проведенные испытания устойчивости скальных пород против влияния химических факторов показали, что все разности пород в этом отношении ведут себя различно. Однако необходимо учесть, что процессы химического разрушения пород отличаются большой избирательностью, развиваясь в первую очередь по наиболее слабым участкам породы, обусловленным составом, структурой, сложением и трещиноватостью.

Так, например, на разрушение массивных скальных пород гранитов, гранито-гнейсов и диабазов — решающее влияние оказывало наличие у них скрытых волосных трещин. На разрушение гнейсов существенно влияла их рассланцованность и слюдистость, причем роль слюды в устойчивости пород и особенно при условии ее скопления и неравномерности распределения очень существенна. Разрушение образцов — выкрашивание углов, граней — обычно начиналось всегда с участков наиболее слюдистых.

Устойчивость известняков и песчаников в основном определялась их минералогическим составом и составом цемента.

Помимо внешних признаков разрушения скальных горных пород при влиянии на них той или иной химической среды, наблюдается также снижение их прочности. В табл. 16 представлены сравнительные данные, характеризующие снижение прочности пород после испытаний.

Таблица 16

	Среднее снижение прочности после испытания,			
	в среде H_2CO_3	в среде H_2SO_4	в среде HNO_3	для каждого типа пород
Диабазы	34,2	39,7	29,0	34,3
Гранито-гнейсы	37,0	25,0	14,0	25,3
Граниты	17,1	17,0	—	17,0
Гнейсы	24,0	34,0	21,0	26,3
Кристаллические известняки	—	50,7	—	50,7
Песчаники массивные	36,6	58,0	—	47,3
Песчаники гравелистые и тонкослоистые	39,8		29,0	34,4
Среднее снижение прочности для каждого вида испытаний, %	31,4	37,4	23,2	

Как видно из приведенных данных (график на рис. 6 и табл. 16), наибольшее снижение прочности наблюдалось от действия серной кислоты (в среднем 37,4%).

Наиболее стойкими породами по отношению к воздействию агрессивных сред оказались диабазы. Снижение прочности их было меньше, чем у других типов пород и в среднем достигало 34,3%. Внешних признаков разрушений они почти не имели — изменилась в основном окраска и в единичных случаях наблюдалось выкрашивание граней и углов.

Граниты незначительно снизили прочность, в среднем на 17%, но внешних признаков разрушений имели больше, чем диабазы. Кроме

того, несколько образцов гранитов от действия серной и азотной кислот полностью разрушились.

Гранито-гнейсы и гнейсы испытания в основном выдержали, хотя степень их разрушения была большая. Часть образцов этих пород разрушилась полностью.

Известняки и песчаники испытаний не выдержали, так как подавляющее большинство образцов их от действия агрессивных сред оказалось полностью разрушенным, а оставшиеся целыми имели значительное снижение прочности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении инженерно-геологических свойств скальных горных пород одного из строительных участков были учтены их состав, структура, текстура, условия залегания, трещиноватость и выветрелость. Все эти геолого-петрографические признаки позволили дать определенную инженерно-геологическую оценку каждому типу пород, слагающих этот участок. Дополнительными данными для такой оценки явились результаты лабораторных исследований общих физико-механических свойств пород (временное сопротивление сжатию, размягчаемость, пористость, водонасыщение, водопоглощение, морозоустойчивость и истираемость), а также сопротивляемость их воздействию физических и химических факторов выветривания по специальной методике.

Для получения более детальной сравнительной характеристики устойчивости скальных горных пород по отношению к физическим и химическим факторам выветривания определялось влияние: 1) кристаллизационного давления; 2) резких смен температуры (термостойкость); 3) напряжений, возникающих в горных породах в результате частых переходов температуры через 0°; 4) механического размягчения; 5) насыщения пород водой; 6) среды угольной, серной и азотной кислот.

Результаты произведенных исследований наглядно подтвердили предварительную оценку устойчивости горных пород, основанную на геолого-петрографических признаках, расширили ее качественно и количественно благодаря применению новых характеристик и сравнительных цифровых показателей. Все это позволяет рекомендовать предлагаемые методы исследования скальных горных пород для более широкого применения в практике при инженерно-геологической оценке таких пород для крупного строительства.

Поступило
2.1.1952 г.