

Академия наук
СССР



Б. П. Беликов, В. П. Петров

ОБЛИЦОВОЧНЫЙ
КАМЕНЬ
И ЕГО ОЦЕНКА

Издательство · Наука ·



Академия наук СССР
Институт геологии
рудных месторождений,
петрографии,
минералогии и геохимии

Б. П. Беликов, В. П. Петров

ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КАМЕНЬ И ЕГО ОЦЕНКА

2264



Издательство
«Наука»

Москва

1977





Беликов Б. П., Петров В. П. Облицовочный камень и его оценка. М., «Наука», 1977, с. 138.

В монографии определяется понятие облицовочного камня, изложена специфика методов исследования, геологии, физико-механических свойств и трещиноватости, даются представления о требованиях к породам как облицовочным камням. Освещаются вопросы долговечности и климатической устойчивости облицовочного камня.

В тексте и приложении даны таблицы физических и механических констант облицовочных камней по материалам испытаний в лаборатории ИГЕМ АН СССР.

Табл. 13, илл. 34, библи. 166 назв.

Ответственный редактор

М. А. ЛИЦАРЕВ

ВВЕДЕНИЕ

Применение камня в строительстве является одним из древнейших видов использования природного минерального сырья. В процессе такого использования человеку пришлось наиболее остро изучить свойства камня. Первоначально это был опыт строительства, и каменотес в течение многих поколений использовал тот или иной привычный камень, зная по опыту строительства и сохранности древних сооружений об особенностях службы каждого сорта камня. Этот опыт и сейчас играет большую роль. До сих пор имеются излюбленные камни, используемые в строительстве. Однако нас уже не удовлетворяет простой опыт и мы стремимся отобразить свойства камня числом и мерой. Для этого понадобилась огромная исследовательская работа, заключающаяся главным образом в моделировании природных процессов разрушения камня в скале или в сооружении. Вместе с тем в последние годы выявились возможности определения объективных механических констант камня без его разрушения, что во многом уточняет физико-механическую оценку твердых горных пород и, видимо, сможет привести к получению воспроизводимой характеристики породы.

К сожалению, перейти от общих свойств породы к ее практической оценке крайне трудно. Необходим большой статистический материал.

Лаборатория физико-механических исследований ИГЕМ АН СССР совместно с Отделом неметаллических полезных ископаемых того же института в течение многих лет вели исследование физико-механических свойств горных пород СССР, результатам которых посвящена настоящая книга. Практической задачей авторов стало описание методов изучения облицовочного и штучного камня. Причиной такой направленности является то, что именно этот камень требует наиболее полного знания физических свойств и блочности для его оценки.

Определение физико-механических свойств горных пород ведется многими лабораториями в Советском Союзе, однако далеко не всегда в этих лабораториях получают хорошие и достаточно сравнимые цифры. В качестве примера возьмем определение величины временного сопротивления раздавливанию, где наиболее часто встречаются две типичные ошибки. Во-первых, иногда испытываются недостаточно свежие образцы, а выветривание снижает константы иногда в два-три раза, и сравнение констант выветрелых пород с константами свежих недопусти-

мо. Второй ошибкой является недостаточная плоскостность и параллельность рабочих граней испытуемого кубика или цилиндра. Это ведет к тому, что нагружается не вся плоскость, а только часть ее. В результате разрушающее напряжение распределяется не на всю расчетную площадь, что ведет к резкому снижению значения прочности на сжатие.

Обе ошибки, как выяснили наши исследования, подчас гораздо сильнее сказываются на константе сопротивления раздавливанию, чем даже различие в составе тех или иных пород (гранитов, сиенитов и т. д.). Учитывая сказанное, авторы обратили большое внимание на разбор возможных ошибок и условий, обеспечивающих максимальную точность.

Для того чтобы охарактеризовать свойства некоторых важнейших типов облицовочных камней в конце книги дается таблица физико-механических констант горных пород, испытанных в лаборатории ИГЕМ АН СССР с соблюдением всех предосторожностей, обеспечивающих получение точных величин. Весьма характерно, что цифры, получаемые в лаборатории ИГЕМ, как правило, выше, чем данные для тех же пород во многих других лабораториях. Это можно рассматривать как гарантию качества испытаний, так как всякие нарушения условий испытания приводят только к снижению получаемых цифр.

К сожалению, география работ ИГЕМ по изучению облицовочных материалов была ограниченной. Наибольшее внимание удалось уделить Украине, Кавказу и Подмосковию. Меньше материала было по Карелии и, наконец, менее всего оказались изученными уральские и сибирские горные породы.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАМНЯ

Каменные строительные материалы по характеру применения обычно делят на две большие группы: штучный и дробленый камень.

Среди штучных камней выделяются камни твердых пород и камни мягкие, по-разному ведущие себя в процессе обработки и службы в сооружениях, однако разделение это весьма условное.

Среди штучных камней по характеру применения особо выделяются камни облицовочные, для которых на первое место выдвигаются требования декоративности и блочности. Их используют для облицовки в виде блоков или, что более обычно, распиливают на плиты, которые в свою очередь устанавливаются в облицовке зданий без дальнейшей обработки или в полированном виде.

Облицовочные камни и собственно штучные камни (блочные, бордюрные и др.) могут служить как для внутренних, так и для внешних облицовок, в зависимости от чего к ним предъявляются различные требования. К штучным материалам можно отнести и монументный камень — камень, идущий для скульптур, постаментов памятников, колонн и крупных архитектурных деталей, требования к которым особенно высоки.

В начале и в особенности в конце прошлого столетия большой популярностью пользовался камень для дорожных покрытий — брусчатки — и шашка для кладки мостовых. Этот материал, особенно выгодный для дорог с интенсивным конным движением, сейчас почти повсеместно заменяется различными видами асфальтовых и бетонных покрытий, хотя в некоторых случаях брусчатка используется как основание для асфальтового покрытия, специально для этого выпускаются также и иные виды штучного камня (специальная шашка, пакеляжный камень и т. д.).

Дробленый камень используется в промышленности и в строительстве во много больших количествах, но требования к нему много проще хотя бы потому, что здесь не предъявляется таких условий, как декоративность и блочность. Он используется как инертное основание бетонов и асфальтобетонов, а также как дорожный щебень. В целом около 90% стоимости всего добываемого камня приходится на долю дробленого камня и только 10% составляет штучный камень.

Потребление штучного камня в строительстве растет, но в общем медленнее, чем дробленого, и доля его в общей стоимости добытого камня постепенно снижается. Если в США в 1950 г. она составляла 15% всей стоимости добытого камня, то в 1967 г. около 7,6%, хотя общая стоимость штучного камня была очень велика и составила 95 млн. долларов, т. е. больше, чем, например, стоимость золота, добытого в том же году. Снижение относительной стоимости наблюдалось и в последующие годы. Каменными строительными материалами могут служить почти все скальные горные породы, но облицовочными лишь те, которые обладают крупной блочностью и декоративностью. В промышленности строительного камня применяются почти все виды магматических горных пород и некоторые метаморфические: мраморы, граниты, некоторые виды гнейсо-гранитов, сиениты, диориты, габбро; особенно популярны почти мономинеральные разновидности габбро с иризирующим плагиоклазом — украинские лабрадориты. Широко используются и некоторые змеевики, имеющие красивый зеленый цвет и своеобразный узор. Среди эффузивных пород широко используются липариты (риолиты), кварцпорфиры и трахидациты, андезиты, порфириды и дациты, а также различные базальты, мелафиры и т. д. Очень широко применяются туфы, туфобрекчии, туфолавы, цементированные вулканические пеплы и пемзы.

Среди осадочных пород наибольшей известностью в качестве строительного материала пользуются известняки, особенно мягкие известняки — ракушечники. Некоторые кристаллические и глинистые сланцы, а также песчаники-плитняки, легко колю-



Фиг. 1. Резьба по волынскому лабрадориту (из карьера в окрестности Турчинки)

Деталь памятника Юрию Долгорукому в Москве.

щиеся на тонкие плитки, имеют весьма специфическое применение — в качестве кровельной плитки и дорожного покрытия.

Роль каждой горной породы в промышленности оценить трудно, но некоторое представление об этом дает табл. 1, составленная на основании официальной статистики США.

Строительная промышленность Советского Союза по видовому составу горных пород, добываемых в качестве строительного материала, близка к промышленности США. В СССР значительно больше применяются известняки и доломиты, и не только как щебенка, но и как стеновой строительный материал (особенно южные ракушечники, так называемые пыльные известняки); песчаники применяются как облицовочный камень сравнительно редко (Львов, Грузия). В больших количествах у нас используют различные базальтовые породы. В статистике США совершенно не учитывается применение различных туфов и туфовых лав, которые в СССР играют большую роль как строительные и облицовочные материалы. Применение гранита одинаково широкое в обеих странах. Интересно отметить применение в строительстве больших количеств украинского лабрадорита — камня редких декоративных качеств (фиг. 1).

Использование твердого штучного камня в качестве стенового материала сейчас почти прекратилось. Исключение составляет пыльный камень (туф и известняк), применение которых



Фиг. 1. (Окончание). Резной орнамент

вполне оправдано и продолжает расти. Культура обработки пильного камня сохранилась в Грузии и Армении, особенно в последней, где розовая и лиловая арктическая туфолава применяется в гражданском строительстве с начала нашего тысячелетия (фиг. 2) и особенно широко стала применяться в наше время. На фиг. 3 показана современная резьба на арктической туфолаве (Агабабян, 1951). В условиях Москвы облицовка из туфолавы (но не из туфа) показала себя с лучшей стороны за пятидесятилетний срок в условиях внешней службы.

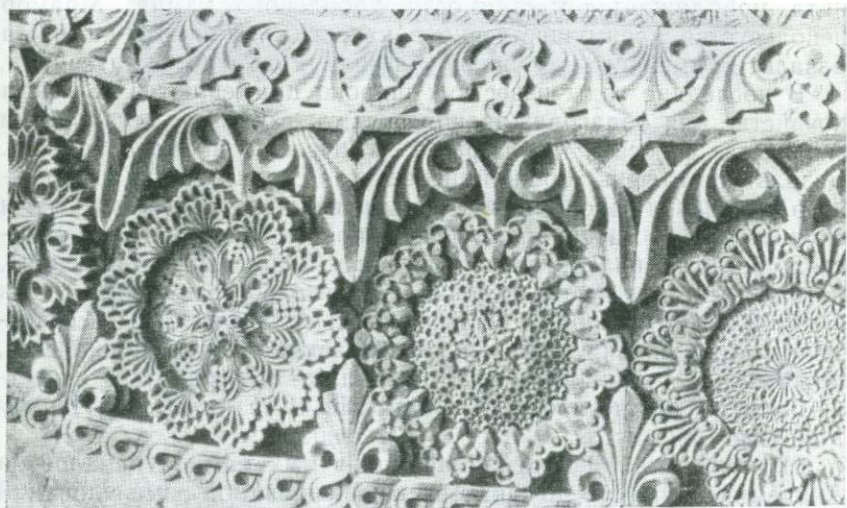


Фиг. 2. Памятники древней архитектуры в селении Кипчяг (Аричж), Армения. Храм сооружен из арктической туфовой лавы. Передняя полуразрушенная часовня сооружена в V в. Главный храм построен в XIII в.

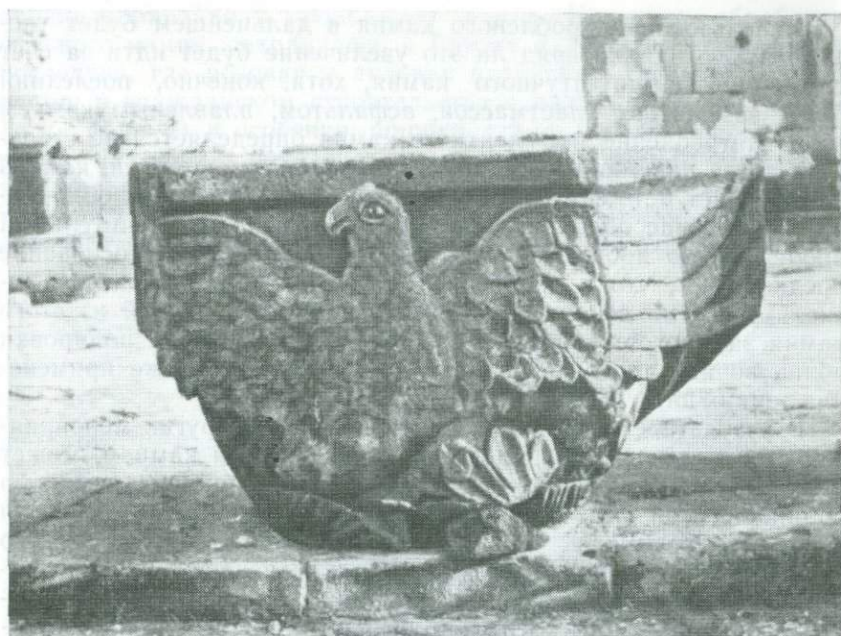
Использование дробленого камня в дальнейшем будет увеличиваться, однако вряд ли это увеличение будет идти за счет снижения добычи штучного камня, хотя, конечно, последний будет заменяться пластмассой, асфальтом, плавленным камнем и пр. Потребление монументного камня определяется не столько ценой и качеством, сколько соображениями эстетики, камень также будет применяться для наружной и внутренней облицовки. Уже сейчас облицовочный камень составляет значительный процент всего добываемого штучного камня, и есть основание предполагать, что в дальнейшем его значение возрастет, поскольку весьма вероятно резкое удешевление изделий из этого камня за счет механизации процессов распиловки и полировки облицовочных плит из естественного камня, а также применения тонких плит.

В результате механизации производства и других мероприятий стоимость единицы площади, облицованной камнем, может быть снижена настолько, что станет соизмеримой со стоимостью облицовки той же площади керамической плиткой, а если учесть необходимость частой замены и ремонта плитки, то и со штукатурной облицовкой фасадов. Весьма перспективным представляется использование мягких высокодекоративных материалов (оникс, мрамор, алебастр, ангидрит и т. д.) для внутренней облицовки общественных зданий.

Выше указывалось на различное применение камня в зависимости от его природы. Так, в США стоимость штучного гра-



Фиг. 3. Деталь обработки фасада монумента Мать Армения, г. Ереван
Современная резьба по туфу

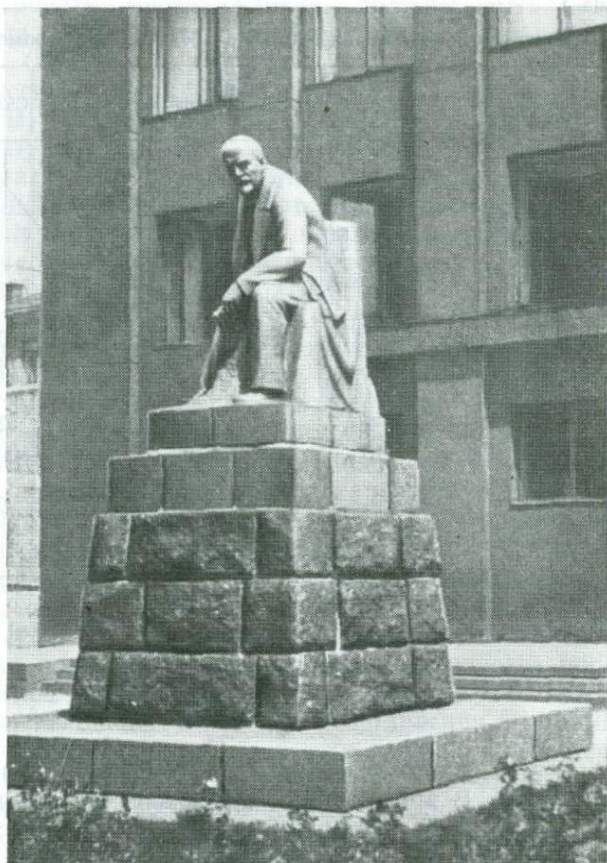


Фиг. 4. Деталь колонны храма Звартноц VII в. близ Еревана
Пример прекрасно сохранившейся в течение многих столетий резьбы по базальту

нита приближается к стоимости дробленого камня. Мрамор используется преимущественно в качестве штучного камня, а базальт применяется в основном в виде дробленого материала.

В последние годы известняк широко применяют в сельском хозяйстве для обогащения почв, а также в металлургии в качестве флюса и как сырье в химической промышленности. Базальт дает очень хороший щебень для строительства и дорожного дела. Он продолжает быть и важным облицовочным и скульптурным материалом. Особенно это чувствуется в областях, богатых базальтовым камнем (например, в Армении), который издавна использовался в строительстве и показал себя с самой лучшей стороны (фиг. 4). Весьма эффективны и современные сооружения из базальта, но базальт плохо полируется, поэтому для памятников лучше использовать гранит. В качестве примера можно привести гранитный памятник В. И. Ленину в Москве (фиг. 5).

Изучение месторождений облицовочных камней началось в Академии наук еще до Октябрьской революции с исследований Комиссии по изучению естественных производительных сил Академии наук (КЕПС), работавшей под руководством академиков А. Е. Ферсмана, Ф. Ю. Левинсона-Лессинга и Д. С. Белян-



Фиг. 5. Памятник Ленину на ул. Горького в Москве

кина. Впоследствии, уже после революции, были организованы полевые и лабораторные исследования, в итоге которых опубликован ряд выпусков трудов КЕПС по каменным материалам.

Дальнейшие работы развивались на Украине, в Карелии, на Кавказе, на Урале и в Подмоскovie — главных регионах добычи облицовочных камней того времени (см. работы К. К. Симинского, Ф. П. Белянкина, Д. С. Белянкина, М. П. Субботина, В. М. Тимофеева, П. А. Борисова, А. А. Твалчрелидзе и др.).

В продолжение работ КЕПС одним из сотрудников ее — проф. Б. В. Залесским — была организована лаборатория по исследованию строительных и облицовочных камней при Петрографическом институте АН СССР (ИГЕМ), опубликовавшая ряд сборников по методам испытаний, ресурсам, геологии, долговечности и физико-механическим свойствам горных пород.

Таблица 1

Использование штучного камня в США в 1971 г. (в % стоимости)

Область применения	Гранит	Известняк и доломит	Мрамор	Песчаник и кварцит	Сланец	Прочие камни
Строительный камень:						
грубо околотый	6,7	34,8	2,7	12,4	—	69,0
пиленный или тесаный	6,3	51,0	58,6	52,3	—	13,5
Монументный камень:						
грубо околотый	28,8	—	—	—	—	—
тесаный и полированный	21,9	—	—	—	—	—
Плиты облицовочные	1,2	12,0	33,7	—	36,0	—
Мостовая плитка	—	1,7	—	23,8	11,9	17,5
Бордюрный камень	14,4	—	—	—	—	—
Прочие применения	20,7	10,5	—	10,5	52,1*	—
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
В процентах от стоимости всего штучного камня	41,3	16,2	13,9	11,0	9,4	3,2

* В том числе кровельные плитки 25,5; грифельные доски 9,3.

РАЗВЕДКА КАМНЯ

Разведка месторождений делится на два этапа: предварительный и детальный. В предварительном этапе устанавливаются общие показатели: расположение и геология района с составлением геологических карт масштаба 1:10 000, 1:1000, степень обнаженности пород, состав их, мощность выветрелой зоны (предварительно), характер трещиноватости, расцветка и краткая качественная характеристика, включая физико-механические свойства и морозостойкость.

Для пластовых месторождений выбираются пласты или пакки пластов, могущие дать пригодный для добычи материал, и устанавливается предварительно их мощность.

Все работы предварительного этапа должны выполняться в минимально необходимых объемах.

На основании данных предварительной разведки устанавливаются данные для детальной разведки: участок, частота и характер горных выработок, возможные запасы. В этот период выбирается участок под промышленную разведку и обосновывается целесообразность последней путем составления временных кондиций и техно-экономического доклада (ТЭД).

В стадиях детальной разведки, проводимой обязательно по согласованию с промышленной организацией, предполагающей

эксплуатировать месторождение, должны быть установлены показатели, достаточные для утверждения запасов категорий А, В и С₁ (которые, как правило, производятся в Государственной комиссии запасов (ГКЗ) при СМ СССР), и получены все материалы, необходимые для института, проектирующего будущую разработку.

При разведке месторождений облицовочного камня, кроме проведения обязательных работ (топографской и геологической съемки, шурфовки, бурения, гидрогеологии), необходимы также и специфические исследования по оценке блочности, физико-механических свойств и декоративности.

Для определения процента выхода кондиционных блоков из горной массы изучают трещиноватость, производят закладку опытного карьера и исследуют характер продукции карьера.

Если существующий карьер эксплуатировался ранее правильно, а месторождение характеризуется однородной трещиноватостью по всему выделенному под разведку объему породы, то можно ограничиться справкой карьероуправления о возможных размерах и проценте выхода блоков из горной массы, основанную на многолетних наблюдениях.

При разведке нового месторождения необходима закладка пробного эксплуатационного карьера с выемкой не менее 100 м³ горной массы. Объем вынутой горной массы определяется маршейдерски, каждый полученный блок обмеряется после пассивировки. Перед заложением опытного карьера на месторождении изучается трещиноватость (путем составления диаграмм и определения частоты трещин), а также длина плашек керна буровых скважин. Если месторождение частично закрыто наносами, то применяются геофизические методы — преимущественно сейсмические и электроразведка. В настоящее время эти методы позволяют уверенно определять мощность наносов и выделять трещиноватые зоны в массивах пород.

Ф. М. Ляховицким с соавторами (1971) предложен метод определения степени трещиноватости и блочности главным образом сейсмическим методом — по отношению скоростей в массиве (v_*) к средним скоростям в хорошо отобранных образцах (v_7). Это отношение, колеблющееся от 0,2 до 0,5, указывает, по их мнению, на степень трещиноватости массива в разных его частях. Отсюда рассчитывается коэффициент блочности для разных предварительно выделенных зон месторождения и выводится средняя блочность. Проверка метода на некоторых типичных месторождениях Армении дала обнадеживающие результаты в смысле совпадения геологических наблюдений и геофизических данных.

Для установления направления трещин применялись совместно электромагнитная съемка, электроразведка и сейсмическое зондирование. Надо заметить, что изучение трещиноватости массивов геофизическими методами нашло применение

в инженерной геологии, где этими методами исследовалась сплошность скальных оснований высотных плотин (Савич и др., 1969; Шаумян, 1972; Голодковская, Шаумян, 1974).

Применение геофизических методов в разведке месторождений облицовочного камня вполне перспективно, и имеются все основания вводить их в цикл геолого-разведочных работ, хотя они требуют пока уточнения и детализации.

Исследователям и разведчикам облицовочного камня не следует забывать, что проведение разведочных работ должно базироваться не только на требованиях и пожеланиях заказчика, но и на инструкциях ГКЗ. Таким образом, выбор участка под разведку, сама разведка, испытания и оценка запасов облицовочного камня являются комплексной проблемой, и в данной работе сделана попытка осветить лишь некоторые ее стороны.

В процессе проектирования разведки и проведения работ следует пользоваться специальными ведомственными изданиями, такими, как «Инструкции по классификации запасов», ГОСТ, ТУ, требования ГКЗ.

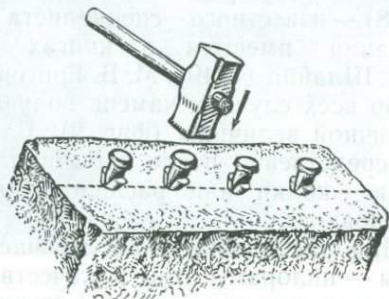
Подробный анализ этих материалов можно найти в работах В. М. Борзунова (1969), М. Б. Григоровича (1970) и др. В работе М. Б. Григоровича (1972) дается характеристика обеспеченности различных районов СССР строительным и облицовочным камнем, с качественной их оценкой и подсчетом запасов, поэтому повторять их здесь не представляется необходимым.

ДОБЫЧА И ОБРАБОТКА КАМНЯ

Добыча бутового камня и щебня ведется без особых предосторожностей; здесь важно получить большое количество камня небольшой крупности, поэтому при добыче дробленого камня возможно применение взрывов и других методов массового обрушения каменного массива. Из добытого камня в карьере отбирается бутовый материал, а остальная масса подвергается дроблению и рассеvu на щебенку разной крупности.

Для получения штучного камня применение взрывчатых веществ в особенности аммонала, недопустимо, так как при взрыве бризантными взрывчатыми веществами в камне образуется большое количество скрытых микротрещин, которые могут выявиться при распиловке или в процессе службы камня в сооружении. Внешняя облицовка будет испорчена, так как при замораживании камень начнет разрушаться. При добыче штучного камня используются обычно безвзрывные методы его обработки; допустимы только небольшие порохострельные работы.

Для того чтобы отколоть нужный монолит, обычно пользуются отдельностью камня. В монолите пробуривается ряд близко расположенных шпуров нужной глубины. Эти шпуровы заряжают небольшими пороховыми зарядами, которые взрываются одновременно. Чаще применяется клиновая выколка: забуриваются небольшие шпуровы, в которые вставляют клинья («пунчеты») обычно с металлическими прокладками, а затем серией последовательных ударов поочередно по каждому клину добиваются раскола монолита в нужном направлении (фиг. 6). Часто при этом пользуются скрытой микротрещиноватостью или ориентированной текстурой («ходом») камня, которые в каждом данном карьере специалистам обычно известны.



Фиг. 6. Расколка небольшого блока при помощи клиньев

В последние годы начали получать широкое распространение различные методы огневого бурения камня, а иногда и огневой резки и обколки. В мягких породах (мраморы, известняки, туфы) возможно применение канатной выпилки, добыча врубовой и другими специальными машинами, выпиливающими строительные блоки непосредственно в забое.

Канатная добыча заключается в том, что в месторождении через продуктивную толщу, пользуясь специальными шурфами или траншеей, делается пропил канатной жилой, представляющей собой или крученый проволочный трос, или слабо скрученную ленту, направляемую специальными роликами. Пила может иметь длину километр и более. Перед входом в пропил канат поступает в абразивный ящик (обычный ящик с кварцевым песком), захватывает зерна абразива и, протаскивая их вдоль пропила, углубляет его. Вертикальный пропил обычно сопровождается подобным же горизонтальным пропилом или горизонтальным врубом. Такая распиловка экономически возможна только в малотрещиноватых и мягких породах.

Для выпиливания блоков из мягких пород, например из арктической туфоловы, можно пользоваться также врубовыми машинами разного типа, в особенности с зубьями, заправленными твердым сплавом.

В ряде случаев, например для получения блоков из известняка ракушника в крымских и молдавских карьерах, исполь-

зуются специальные машины типа дисковых пил, заправленных твердыми сплавами; таковы машины лауреата Государственной премии Столярова для выпилки камня в карьерах (фиг. 7, 8) или машина Галанина для подземной выпилки камня. Для выпиливания блоков за рубежом в последнее время получили широкое распространение алмазные дисковые пилы большого диаметра. Для разделки крупных блоков применяется метод гидравлических клиньев — разрыв камня густым маслом вводимым в клин под давлением до 50 ат.

Добыче облицовочных камней посвящено значительное число работ. Исчерпывающая сводка по этому вопросу содержится в богато иллюстрированной монографии М. М. Чеснокова (1958) — известного специалиста по добыче гранита, многие указания имеются в книгах М. П. Субботина (1935), И. Б. Шлайна (1949), М. Б. Григоровича (1970).

Во всех случаях камень получается в виде глыб или блоков различной величины (фиг. 9). Блоки могут быть использованы непосредственно после добычи или требуют дальнейшей обработки — колки или распиловки на доски и плиты, служащие облицовкой.

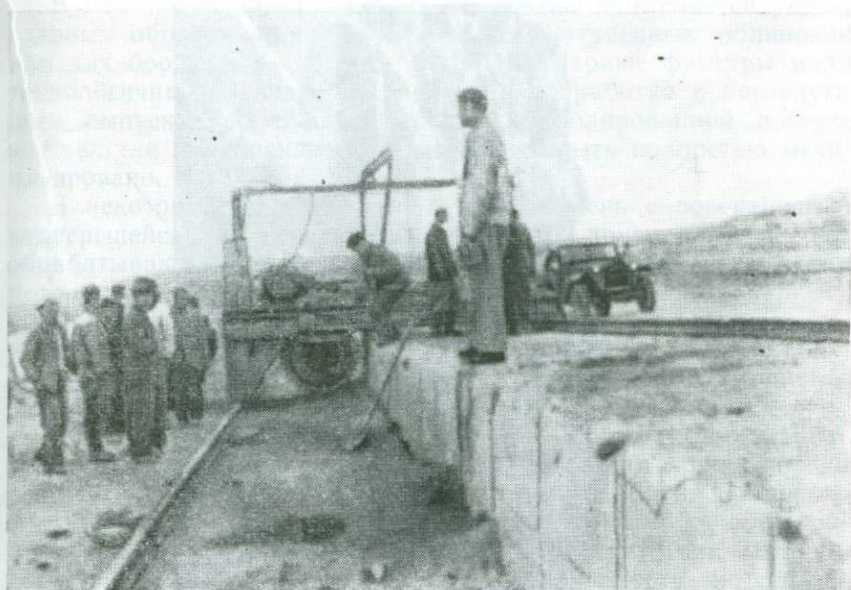
Для распиловки наиболее часто применяются маятниковые пилы — пилорамы, где в качестве режущего агрегата служат пластины мягкого железа («штрипсы»), а абразивом является кварцевый песок, стальмасса или корунд специальных марок. В некоторых случаях штрипсы заправляются твердыми сплавами или алмазами. Применяются также дисковые пилы достаточно большого диаметра, заправленные твердым сплавом или алмазом.

Полученные плиты могут применяться непосредственно после распиловки или подвергаться дальнейшей обработке — шлифовке и полировке.

После алмазной распиловки — шлифовки не требуется, так как распиленная поверхность получается достаточно гладкой.

Блок или плита, полученные клиновым расколом, при их использовании в качестве штучного камня обязательно подвергаются дальнейшей обработке — ударной или абразивной.

При помощи различного пневматического инструмента (фиг. 8) производится обработка поверхности изделия — ей придается разная «фактура». В зависимости от характера обработки фактура может быть весьма различной. «Фактура скалы» — это поверхность грубо околотога камня. «Крупнобугристая «шуба» или «мелкобугристая фактура» придают камню ударами по его поверхности зубилом или бучардой с соответственно крупными или мелкими зубьями (фиг. 8). «Рифленая», «бороздчатая», иногда «мелкоточечная фактура» получают подобной же обработкой, только при иной последовательности работы.



2264
Фиг. 7. Работа машины Столярова на Арктическом карьере туфолавы, Армения



Фиг. 8. Механическая обработка поверхности гранитного блока бучардой

Армянская Республика
Министерство культуры
Архивная печать
1990



Фиг. 9. Общий вид гранитного карьера Старая Карань, близ Жданова
Хорошо видна пластовая отдельность гранита

В настоящее время ударная обработка применяется редко, главным образом для различных неотчетливых облицовок или для бордюрного камня, поскольку ударные фактуры мало технологичны. Развивается абразивная обработка с последующим выпуском облицовочных плит с полированной поверхностью, так как производство их может быть полностью механизировано.

В некоторых случаях, используют камень с поверхностью подвергшейся только грубой шлифовке. В других случаях его обрабатывают более тонким абразивом: получается лощеная поверхность.

При применении еще более тонких абразивов, полировальных порошков и специальной обработки суконками можно получить у твердых пород камня блестящую поверхность, обычно называемую зеркальной фактурой.

Способность камня принимать ту или иную фактуру зависит от структуры, состава камня, и далеко не всякая горная порода «принимает» полировку. Способность принимать полировку обязательна для плотных пород, применяемых в качестве облицовочного камня. Для пород слабых, таких, как песчаники, известняки, туфы и туфолавы полируемость не обязательна.

Характер использования камня зависит как от самой природы его, так и от архитектурного замысла, а в известной степени и от моды. В большинстве случаев полированные твердые породы типа кварцитов, гранитов, лабрадорита и габбро применяются во внешних облицовках. Мягкие породы — мрамор, ангидрит, конгломерат — в условиях средней полосы и севера предпочтительно применять для внутренних облицовочных работ.

В неполированных фактурах в качестве декоративной стеновой кладки может применяться большое число горных пород, в том числе известняки, туфолавы и песчаники. Таковы, например, известняковые облицовки или декоративные вставки из подмосковных известняков, определившие в свое время белокаменный облик Москвы.

В странах с мягким климатом возможно применение полированных мраморных плит и во внешней облицовке.

Скульптурные памятники из твердых пород (гранит, лабрадорит, габбро, диабаз, кварцит) стоят «вечно»; мраморные скульптуры в осенне-зимний период необходимо закрыть прозрачным покрытием от попадания влаги, иначе они теряют полировку, шелушатся, а в некоторых случаях и разрушаются.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАМНЯ

Своеобразие требований к камню приводит к необходимости совершенно особого цикла исследований месторождений облицовочного камня: наряду с обычными геологическими методами разведки сюда входят также исследования физико-механических свойств (особенно морозостойкости), определение блочности и изучение поведения камня в наружных облицовках, т. е. обследование датированных сооружений, облицовок зданий, памятников, надгробий и т. п.

Исследования физических свойств горных пород должны быть тесно связаны с изучением их геологии и петрографии — состава, структуры и истории формирования горных пород.

Требования к камню меняются и в зависимости от характера его применения в строительстве, от климатических условий и предполагаемой длительности службы. Однако можно указать ряд свойств, одинаково важных во всех случаях применения этого материала. Определение и учет этих свойств необходимы во всех случаях изучения камня как строительного материала. Относятся к таким свойствам в первую очередь:

- а) удельные и объемные веса;
- б) пористость и характер пор;
- в) отношение породы к насыщению водой;
- г) морозостойкость;
- д) прочностные свойства, выражаемые временным сопротивлением раздавливанию, изгибу, удару;
- е) потеря прочности от размокания и мороза;
- ж) твердость, сопротивление истиранию;
- з) упругие константы.

Ниже дается весьма сокращенное изложение методов определения физических и механических свойств горных пород так, как оно принято в лаборатории исследования физико-механических свойств горных пород ИГЕМ АН СССР (Беликов и др., 1964).

Методы определения удельного веса и пористости излагаются с большей подробностью, так как эти константы, столь простые на вид, точно определяются с большим трудом.

ОТБОР ПРОБ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Следует иметь в виду, что целесообразно испытание и исследование не случайных образцов породы, а тех проб, характеристика которых позволит ответить на ряд поставленных перед исследователем вопросов, т. е. представительных проб. Порядок отбора таких проб диктуется расположением разведочных сква-

жин и искусственных выработок в соответствии с проектом разведки и полученными в результате разведки выводами о строении месторождения.

Особенностью опробования месторождений облицовочного камня, отличающей его от других полезных ископаемых, является требование характеристики свежести (невыветрелости) породы.

В итоге разведки камень должен быть разграничен приблизительно на 3 группы: 1— пород выветрелых, 2— пород, затронутых выветриванием и 3— пород свежих. Опробование должно быть поставлено так, чтобы в результате испытаний можно было бы выделить эти группы для соответствующего подсчета запасов.

Часто это становится возможным только после микроскопического исследования и определения физико-механических свойств, таких, как пористость, прочность и упругость.

Характер выветривания может быть различным: это поверхностное выветривание от воды, замерзающей в порах в результате суточных колебаний температуры, химических и биологических факторов, выветривание по путям проникновения растворов по полостям нарушений. Следует иметь в виду, что всякое выветривание ведет к ухудшению физико-механических свойств. Пористость при выветривании обычно повышается, но это правило не универсальное — пористость выветривания может затем закрываться за счет гидратации некоторых минералов, выделения новообразований и других экзогенных процессов.

Глубины выветривания и зоны нарушенных пород могут фиксироваться также при бурении (по ходу бурового инструмента и характеру керна) и по характеру трещиноватости пород. Выветривание обязательно сопровождается увеличением частоты макро- и микротрещин, которая может быть зафиксирована в первом случае изучением трещиноватости, во втором — микроскопическим исследованием, а также методом окрашивания — опусканием изготовленных образцов в краситель. Для лучшего окрашивания пород употребляется обычно 4%-ный раствор нигрозина в спирте.

Стандартных методов проверки степени выветрелости горных пород не существует. Каждая группа пород изменяется по-своему в зависимости от минерального состава и местных условий, поэтому здесь могут быть даны лишь общие рекомендации. Наиболее действенный контроль — это микроскопические исследования с параллельным наблюдением изменения пористости и частоты трещиноватости, а также изучение механических свойств — прочности и упругости. При выветривании известняков происходит выщелачивание отдельных зерен, расширение швов между зернами и увеличение пор. В доломитизированных породах при общем возрастании пористости идет увеличение

числа микроскопических пор за счет субмикроскопических, т. е. идет расширение существующих пор. На краях таких пор наблюдается отложение железистых солей. Степень заполнения пор водой при насыщении (т. е. отношение свободного влагопоглощения к принудительному насыщению) меняется. Конечные продукты изменений карбонатных пород имеют мучнистый характер. В песчаниках обычно происходит выщелачивание цемента и последующее выпадение зерен. В изверженных породах в первую очередь изменяются оливин и слюды, затем полевые шпаты. Для них типичны помутнение, каолинизация,

Таблица 2

Влияние выветривания на физико-механические свойства крупнозернистых микроклиновых гранитов новоукраинского типа (месторождение Ореховские хутора)

Глубина взятия пробы, м	Объемный вес, г·см ⁻³	Эффективная пористость, т, об. %	Прочность на сжатие, кг·см ⁻² (R _{сж})	Понижение, %	Модули упругости 10 ⁵ кг·см ⁻²				Коэффициент Пуассона, σ
					E ₁	Понижение, %	E	Понижение, %	
0	2,56	3,07	1130	53	0,90	85	1,61	73	0,24
1,5	2,61	1,33	1450	39	2,34	60	2,94	51	0,40
3	2,69	1,07	1800	25	4,39	26	4,70	21	0,32
17	2,67	0,93	2390	0	4,92	17	5,14	14	0,26
49 (кern.)	2,61	0,63	2400	—	5,97	—	5,97	—	0,25

ржавые потеки и матовость на плоскостях спайности, расширение спайных швов. Биотит светлеет, вокруг него возникают ржавые пятна. Рудные минералы, особенно пирит, разлагаются и дают цветные потеки. Происходит выпадение некоторых зерен. Конечные продукты разложения имеют вид дресвы или каолиноподобны. Поверхность породы становится шероховатой, трещины увеличиваются в числе и расширяются. Цвет гранитов меняется: как красные, так и серые граниты желтеют, затем буреют, в конечном счете обесцвечиваются.

Как правило, крупнозернистые породы страдают от выветривания больше, чем мелкозернистые. Приходилось наблюдать, что граниты группы рапакви, отличающиеся, как известно, особенной крупнозернистостью, и другие, сходные с ними породы, показывают в буровых скважинах и карьерах следы выветривания на сравнительно большую глубину — до 20—25 м, т. е. много глубже, чем обычные среднезернистые граниты этих же районов, у которых зона выветривания редко превышает единицы метров. Физико-механические свойства выветрелых пород всегда понижены по сравнению со свежими; особенно резко

сказывается это на упругости, менее — на пределе прочности при сжатии, размокаемости и морозостойкости.

Ниже приводятся результаты испытаний крупнозернистого гранита, взятого с различных глубин в одном карьере (табл. 2). Модули упругости определялись здесь статическим методом, поэтому дается два их значения: E_1 — при первом нагружении (модуль деформируемости) и E — при последующих нагружениях (без остаточных деформаций — модуль упругости).

Данные табл. 2 показывают резкое изменение прочности и упругих свойств с ростом пористости выветривания: так, при возрастании пористости от 0,6 до 3% модуль упругости понижается от 6,0 до $1,6 \cdot 10^5$ кг·см⁻². Остаточные деформации, как это показывает сравнение E_1 с E , при росте пористости резко возрастают. Что касается коэффициента Пуассона, то его изменения в данном случае не показательны.

В случае первичной пористости колебания подобного же масштаба не влекут за собой столь резкого понижения свойств: так в эльджуртинском граните (Кавказ) колебания первичной пористости от 1,4 до 3,6% почти не отражаются на упругих свойствах. Причина понижения физико-механических свойств при выветривании заложена в необратимом расшатывании структуры камня и хорошо известна в строительном камневедении.

При отборе образцов для испытания из массивов следует пользоваться клиновым методом, не допуская взрывных работ. Пробы следует брать в достаточном удалении от взорванных шпуров.

Иногда образцы, взятые из взорванной массы, не показывают понижения прочности в сухом и насыщенном состояниях и лишь при замораживании начинают аномально разрушаться. Такой случай имел место, например, при исследовании базальтов из карьеров Польши, где не было возможности получить материал для испытаний вне зоны взрывов.

Породы, затронутые выветриванием, принимают полировку хуже пород свежих и в процессе службы в сооружениях быстрее разрушаются. Это особенно отчетливо выявляется при исследовании хорошо датированных памятников, работающих, как правило, в весьма жестком режиме.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС

Определение удельного веса должно производиться на аналитических весах с точностью 0,001.

Удельный вес — масса твердого вещества в единице объема материала или отношение массы частиц породы к их объему — зависит от минерального состава. Для определения удельного веса наиболее распространены два метода: пикнометрический и метод гидростатического взвешивания. В обоих случаях определение ведется в порошках: образец измельчается в агатовой или

яшмовой ступке до тех пор, пока не пройдет полностью через сито 0,25 мм.

Пикнометрический метод заключается в определении массы воды, соответствующей объему взятых частиц. Пикнометры емкостью 20—100 см³ тарируются — взвешиваются пустыми и заполненными до метки прокипяченной дистиллированной водой. В пикнометр засыпается порошок из средней пробы испытуемой породы в количестве 15—20 г, и все подсушивается в сушильном шкафу до постоянного веса. Пикнометр заливается на $\frac{1}{3}$ прокипяченной дистиллированной водой и помещается на песчаную баню, где кипятится 30—60 мин для удаления воздуха из порошка. Необходимо следить, чтобы не было разбрызгивания. Кипячение можно заменить вакуумированием; это обычно делается в тех случаях, когда в породе имеются какие-либо водорастворимые минералы или определение ведется не в воде, а в какой-нибудь другой нейтральной жидкости — керосине, спирте, четыреххлористом углероде и др. После кипячения пикнометр охлаждается до комнатной температуры (20° С), жидкость в нем доводится опять до метки, и пикнометр с навеской и водой взвешивается. Расчет удельного веса породы производится по формуле

$$\gamma = P_{\text{вж}} / (P_1 + P - P_2),$$

где γ — удельный вес в г·см⁻³; P — вес навески в г; $\gamma_{\text{ж}}$ — удельный вес жидкости в г·см⁻³; P_1 — вес пикнометра с водой в г; P_2 — вес пикнометра с навеской и водой в г.

Допустимое расхождение между параллельными пробами 0,02.

Метод гидростатического взвешивания более трудоемкий, но более точный. Он особенно рекомендуется для плотных пород, пористость которых менее 3%, так как при измерении удельного веса ошибка равна $\pm 0,001$, при пикнометрическом же методе $\pm 0,02$. Этот метод основан на определении потери веса тела в жидкости. Применяются различные жидкости, однако все они должны обладать хорошей смачиваемостью, причем нужно отметить, что чем выше удельный вес применяемой жидкости, тем меньше ошибка определения. Наиболее часто применяется хорошо смачивающий четыреххлористый углерод, удельный вес которого 1,6. Определения можно вести также в спирте-ректификате устойчивого удельного веса, чистом керосине и т. п.

Определение веса пикнометра с порошком в воздухе. Удельный вес определяется в стеклянных пикнометрах емкостью около 15 см³, куда насыпается порошок исследуемого материала приблизительно на $\frac{1}{3}$ объема. Пикнометр с порошком взвешивается в воздухе, вычисляется величина навески материала. В пикнометр с порошком наливается жидкость до половины его объема, после чего производится вакуумирование до прекращения выделения пузырьков воздуха из породы. После суточного отстаива-

ния пикнометр с навеской доливаётся до верха жидкостью и взвешивается: а) подвешенным на коромысле весов и б) погруженным в стакан. Необходимо следить за тем, чтобы на пикнометре или проволочке не оставалось приставших пузырьков воздуха.

Определяется вес тщательно промытого пикнометра в жидкости. Обязательно измеряется температура жидкости в стакане.

В обоих случаях гидростатического взвешивания необходимо следить за тем, чтобы уровень жидкости в стакане оставался постоянным (до метки).

Удельный вес породы, не приведенный к плотности при 4° С и без учета взвешивания в воздухе, вычисляется по формуле

$$\gamma = P_{\gamma_{ж}} / (P - P_{ж}).$$

Для получения исправленного, приведенного к плотности воды при 4° С удельного веса, вычисления ведутся по формуле

$$\gamma_{4^{\circ}}^t = \frac{P_{\gamma_{ж}} (Q_t - \lambda)}{P - P_{ж}} + \lambda,$$

где $\gamma_{4^{\circ}}^t$ — удельный вес породы при температуре t , приведенный к максимальной плотности, $г \cdot см^{-3}$; Q_t — плотность воды при 4° С; λ — вес 1 $см^3$ воздуха (0,0012 $г$); $Q_t - \lambda$ — поправка на разницу температуры; P — вес навески в воздухе, $г$; $P_{ж}$ — вес навески в жидкости, $г$; $\gamma_{ж}$ — удельный вес жидкости, $г \cdot см^{-3}$.

ОБЪЕМНЫЙ ВЕС

Объемный вес, или масса сухого материала, включая поры, определяется отношением массы сухого образца к его объему. Он зависит от минерального состава породы и ее пористости.

Метод обмера. Если образцы исследуемой породы имеют правильную геометрическую форму, то объем можно определить обмером штангенциркулем с точностью до 0,01 $см$. Объем образца получаем из 12 обмеров ребер куба, а для образцов цилиндрической формы из четырех обмеров диаметра и четырех — высоты. Образцы кубической формы с ребром, равным 5 $см$, можно измерять микрометром. Объем куба вычисляется как произведение площади основания на высоту. Объем цилиндра определяется по формуле $V = 0,785 d^2 h$.

Объемный вес образца получаем делением его веса в $г$ на объем в $см^3$.

Метод гидростатического взвешивания (для плотных пород). Образцы тщательно очищаются от прилипших частиц металлической или иной щеткой, высушиваются до постоянного веса, взвешиваются на технических или аналитических весах, насыщаются водой или керосином (в случае наличия в породе растворимых в воде минералов), взвешиваются влажными и затем гидростатическим методом в стакане с той же жидкостью,

которой насыщен образец. Пузырьки воздуха, прилипшие к нитке или к образцу, необходимо удалять мягкой кисточкой.

Расчет производится по формуле

$$\rho = P_{\gamma_{ж}} / (P_n - P_{ж}),$$

где $\gamma_{ж}$ — удельный вес жидкости, $г \cdot см^{-3}$; P — вес сухого образца, $г$; P_n — вес насыщенного образца, $г$; $P_{ж}$ — вес образца в жидкости, $г$; ρ — объемный вес, $г \cdot см^{-3}$.

В том случае, если исследуемый материал однороден, объемный вес вычисляется как среднее арифметическое из полученных трех определений. Для неоднородного материала нужно сделать не менее пяти определений. Точность определений по данному методу $\pm 0,02 г \cdot см^{-3}$.

Метод гидростатического взвешивания с предварительным парафинированием (для рыхлых, крошащихся пород и пород с естественной влажностью). Образцы объемом не менее $5 см^3$ высушиваются, приглаживаются напильником, очищаются и взвешиваются. Каждый образец покрывается парафиновой пленкой путем быстрого погружения в расплавленный парафин ($60-70^\circ$). Парафин необходимо разровнять по всей поверхности образца рукой или штапелем, чтобы под ним не осталось пузырьков воздуха и чтобы вся поверхность образца была покрыта равномерным слоем.

Остывшие запарафинированные образцы взвешиваются, помещаются в проволочную сеточку и вновь взвешиваются гидростатическим методом погруженными в стакан с жидкостью. Парафин рекомендуется брать чистый.

Расчет ведется по формуле

$$\rho = \frac{P}{P_p - P_{рж} - \frac{P_p - P}{\gamma_{п}}},$$

где P — вес сухого образца, $г$; P_p — вес запарафинированного образца в воздухе, $г$; $P_{рж}$ — вес запарафинированного образца в воде, $г$; $\gamma_{п}$ — удельный вес парафина ($0,93$), $г \cdot см^{-3}$.

ПОРИСТОСТЬ

Вопрос об определении пористости подробно разобран в целом ряде исследований (Кинд, Огороков, 1934; Энгельгарт, 1964; Залесский, Беликов, 1948; Ламтадзе, 1972, и др.).

Истинная или общая пористость. Объем всех пор (m), выраженный в процентах от взятого объема пробы породы, определяется по соотношению удельного ($\gamma_{п}$) и объемного веса (ρ). При равном удельном весе чем больше значение объемного веса, тем меньше пористость.

Расчет ведется по формуле

$$m = \frac{V_{\text{п}} - \rho}{V_{\text{п}}} 100 (\%).$$

Поры в горной породе могут быть открытыми или закрытыми. Если все поры открыты, т. е. сообщаются между собой, то величина такой открытой пористости будет очень близка к значениям истинной пористости.

Открытая пористость. Открытая или эффективная пористость определяется путем насыщения пород жидкостью (водой или керосином) при форвакуумном или принудительном поглощении. Образцы высушиваются, взвешиваются, насыщаются какой-либо жидкостью под вакуумом. Затем образцы взвешиваются влажными в воздухе и в жидкости, как при определении объемного веса. Отношение объема пор к объему образца дает величину открытой пористости.

Расчет по следующей формуле:

$$m_o = \frac{P_{\text{н}} - P}{P_{\text{н}} - P_{\text{ж}}} 100 (\%),$$

где m_o — пористость открытая, %; $P_{\text{н}}$ — вес насыщенного образца, г; P — вес сухого образца, г; $P_{\text{ж}}$ — вес образца в жидкости, г.

В породах с закрытыми порами, например пористых лавах, разница между указанными видами пористости весьма значительна.

Коэффициентом общей пористости называется отношение всего объема открытых и закрытых пор к общему объему породы; он зависит от структуры порового пространства.

Коэффициент открытой пористости характеризует отношение объема открытых пор образца к общему объему образца.

Дифференцированная пористость. Кроме описанных видов пористости, большую роль для объяснения некоторых физических констант (проницаемости, характера свободного водонасыщения) играет дифференцированная пористость, т. е. пористость, разделенная по размеру пор. Хотя к настоящему времени предложено несколько приборов для прямого определения дифференцированной пористости, методы эти еще недостаточно точны, поэтому рекомендуется пользоваться косвенными методами, например методом вдавливания ртути и адсорбционным методом.

Адсорбционный метод. Все встречающиеся поры можно разделять на несколько групп по их размерам: более 0,02 мм и более 0,002 мм. Обе эти группы пор определяются подсчетом под микроскопом; поры менее 0,0002 мм, определяемые методом капиллярной конденсации при адсорбции и десорбции; поры 0,002—0,0002 мм, определяемые по разности между суммой указанных выше трех групп пор и общей пористостью.

Этот метод позволяет, кроме того, определить полузамкнутые «бутылочные» поры по разности между адсорбцией и десорбцией (подробно см. Беликов, 1964).

ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЛАЖНОСТЬ

Для определения естественной влажности пробы образец парафинируется сразу же после взятия монолита.

Естественная влажность определяется как разность в весах влажного и сухого образцов, отнесенная к весу сухого образца и выраженная в процентах.

В лаборатории определение ведется следующим образом: парафин с образца счищается, из центральной части образца берутся два небольших кусочка, каждый из них быстро взвешивается. Затем в сушильном шкафу при температуре 105—110° С образцы высушиваются до постоянного веса и опять взвешиваются.

Расчет ведется по формуле

$$W = \frac{P_n - P}{P} 100 (\%),$$

где W — влажность, %; P_n — вес влажной породы, г; P — вес сухой породы, г.

ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ИЛИ СВОБОДНОЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЕ

Методы капельного насыщения образцов. Высушенные и взвешенные образцы помещают в сосуд на стеклянную дробь. На дно сосуда подводится трубка с краником. Подача воды производится по капле с такой скоростью, чтобы все образцы покрылись водой за 6 час. Далее образцы остаются в воде столько времени, сколько требуется для проводимого опыта: для 5-суточного водонасыщения необходимо еще 114; а для 45-суточного — 1074 час. Затем образцы вынимают из воды, обтирают влажным полотенцем и взвешивают. При 45-суточном насыщении взвешивание производится после первых, третьих, пятых, десятых, пятнадцатых, двадцатых, тридцатых и сорок пятых суток для анализа динамики водопоглощения. Способ водонасыщения в течение 45 суток дает максимальное заполнение пор при свободном насыщении, хотя многие горные породы прекращают насыщение уже на 10—15 сутки.

Принудительное (полное) водонасыщение.

Под вакуумом. Способ насыщения пород под вакуумом состоит в следующем: образцы помещают в вакуум-эксикатор и вакуумируют в течение 14 час при остаточном разрежении 0,1 мм рт. ст. Затем на дно вакуум-эксикатора (не снимая вакуума) по стеклянной трубке подается вода. После того как вода покроет образцы полностью, их выдерживают в вакууме до пре-

кращения выделения пузырьков воздуха. Перед взвешиванием необходимо выдержать образцы при атмосферном давлении одни сутки, после чего образцы взвешиваются обычным способом.

В котле Амслера. Образцы, свободные насыщенные водой, предварительно взвешенные, погружаются в котел Амслера, заливаются дистиллированной водой и выдерживаются под вакуумом в течение 4 час при остаточном разряжении 10 мм рт. ст.

Затем вакуум снимается и дается давление в 150 атм на 24 час, после чего давление снимается, образцы вынимаются из котла и снова взвешиваются.

В случае надобности вода может быть заменена другой жидкостью — обычно керосином.

Метод кипячения. Образцы, высушенные и взвешенные, помещаются в эмалированный бачок и заливаются дистиллированной водой постепенно в течение первого часа (можно применить капельный метод, только при более ускоренном падении капель). Затем бачок подогревают на горелке или плитке. Кипячение образцов ведется в течение 4 час, уровень воды при этом должен оставаться постоянным. Образцы охлаждаются до комнатной температуры и взвешиваются.

Последний способ не всегда применим, так как некоторые породы содержат выщелачивающиеся минералы, а выщелачивание будет особенно сказываться при кипячении.

Расчет водонасыщения и влажности. Расчет величины всех видов водонасыщения и естественной влажности производится по формуле

$$W = \frac{P_n - P}{P} 100 (\%),$$

где P_n — вес влажной породы, г; P — вес сухой породы, г; W — влажность, %.

Важным фактором для оценки водо- и морозостойкости является степень водонасыщения пород, т. е. количество пор, заполненных водой, в процентах по отношению к общей пористости.

Степень водонасыщения, или степень заполнения пор, вычисляется по формуле

$$W_3 = \frac{W_p}{m} 100 (\%),$$

где W — влажность, %; W_3 — степень заполнения пор, %; ρ — объемный вес, г·см⁻³; m — истинная пористость, %.

Наибольшая степень заполнения пор достигается при вакуумировании и принудительном насыщении (до 98—100%).

Меньшее заполнение получается при свободном насыщении в течение 45 суток (до 95%) и кипячении (до 90—95%).

Наименьшая степень заполнения пор получается при свободном насыщении в течение 5 суток (35—60%).

Поры в породах некоторых специфических структур (оолитовая, миндалекаменная) при насыщении полностью вообще не заполняются.

Как показывает опыт, при свободном насыщении основная масса воды впитывается породой в течение первых суток. Последующая часть воды поглощается более медленно. Исключение представляют некоторые измененные известняки и доломиты из зоны выветривания с хорошо разработанными (сообщающимися) порами, которые за 5 суток набирают до 100% влаги.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Проницаемостью называется свойство пористой среды пропускать через себя жидкости или газы при наличии перепада давления. Проницаемость зависит как от свойств породы, так и от свойств жидкости и газа. Различаются три вида проницаемости:

а) абсолютная или физическая проницаемость для гомогенного флюида;

б) эффективная или действительная, т. е. та, которая происходит в природе и зависит от объемного соотношения фаз (газа, нефти, воды) в фильтрующихся жидкостях;

в) относительная, выражающая отношение эффективной проницаемости к абсолютной (в %).

Измеряется проницаемость в единицах дарси или миллидарси. За единицу дарси принимается проницаемость, при которой через поперечное сечение в 1 см^2 и перепаде давления, равном 1 атм на 1 см длины, за 1 сек проходит 1 см^3 жидкости с вязкостью в 1 сантипуаз (снз).

Проницаемость подсчитывается по формуле

$$K = \frac{Q_{\mu l} \cdot 1000}{St (P_1^2 - P_2^2)},$$

где K — коэффициент проницаемости, мд ; Q — количество флюида, профильтровавшегося через образец за $1 \text{ сек}/\text{см}^3$; l — длина образца, см ; μ — вязкость флюида в снз при температуре опыта; S — площадь поперечного сечения образца, см^2 ; P_1 — давление перед образцом, атм ; P_2 — давление после образца, атм ; t — время, сек .

Для определения проницаемости существует несколько приборов (Товарова, Закса, ГК-5 и др.), сконструированных по одному и тому же принципу и имеющих между собой небольшие различия.

Принцип действия всех приборов основан на том, что через образец, зажатый с помощью резинового кольца в металлической обойме, пропускается под давлением какой-либо газ или жидкость. Замеряется давление перед образцом и после него время

проведения опыта и количество протекающего флюида с известной вязкостью.

Для более точного анализа необходимо также определять извилистость пор на специальном приборе.

Вопросы проницаемости подробно разобраны в ряде работ (Закс, 1941; Котяхов, 1956, Беликов и др., 1964).

Конечно, на величину фильтрации влияет не общее количество пор в породе, а только те из них, которые сообщаются между собой и по которым может идти циркуляция жидкости. В зависимости от условий этого движения, а также характера воды и породы поведение последней может быть различным.

В тех случаях, когда поступающая в поры вода достаточно чиста и свободна от растворенных веществ, некоторые породы, в частности карбонатные, могут растворяться в ней и тогда поры будут расширяться и движение воды в них значительно усилится. Возможен также случай, когда первоначальная фильтрация воды идет путем диффузии через стенки пор; чистая вода в этом случае также растворяет и разрушает эти стенки, замкнутые поры превращаются в открытые, и опять-таки как результат получается усиление фильтрации. Возможна и обратная картина: в тех случаях, когда циркулирующая по породе вода насыщена растворимыми веществами, в порах может происходить отложение растворенных веществ и поры будут суживаться, что приводит к замедлению фильтрации, а в некоторых случаях и к полному ее прекращению.

Вода, присутствующая в камне, сказывается на всем поведении горной породы в процессе ее службы как строительного камня, поэтому учет поведения воды в камне является важнейшей задачей исследователя. В каждой породе Б. В. Залесский и К. П. Флоренский (1955) различают пять видов воды.

1. Вода кристаллогидратов — вода, входящая в кристаллическую решетку минералов, — эта вода не имеет особого значения, поскольку кристалл ведет себя как единое целое и сама вода не участвует в изменениях породы. В тех случаях, когда кристалл претерпевает фазовые превращения, сопровождающиеся изменением водосодержания в его кристаллической решетке, эта вода должна учитывать. Такое явление может иметь место, например, в случае нахождения в породе различных кристаллогидратов сернистого магния, и эти изменения, в особенности изменения объема кристаллов, могут привести к разрушению породы.

2. Адсорбционная вода, образующая пленки размером до 10^{-6} мм, имеет весьма своеобразные свойства в силу того, что находится под влиянием сильнейшего поверхностного напряжения; имеющиеся данные позволяют говорить о том, что пленочная вода замерзает только при температурах около -70 — -80°C . Она значительно тяжелее гигроскопической воды и удаляется из образца с большим трудом только при нагреве его до температуры нескольких сот градусов.

3. Пленочная вода образует пленки большей мощности, чем адсорбционная вода, она способна передвигаться и выполнять отдельные поры целиком.

4. Вода углов пор; кроме пленочной воды можно различить воду, застаивающуюся в острых углах пор. Существование этой воды несколько сомнительно, но, по-видимому, она существует и даже играет большую роль, поскольку в породе оказываются отдельные участки, нацело выполненные водой.

5. Капиллярно связанная вода — вода, выполняющая капилляры породы и могущая циркулировать по этим капиллярам.

Вопросы движения воды в горных породах рассмотрены А. А. Пэком.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ГОРНЫХ ПОРОД

Предел прочности при сжатии. Испытанием на сжатие определяется прочность, т. е. способность тела противостоят раздавливающим усилиям. Она выражается сопротивлением раздавливанию в момент разрушения, когда сжимающее усилие становится больше предела прочности образца.

Предел прочности при сжатии измеряется в кг/см^2 ; он вычисляется как отношение нагрузки, разрушающей образец, к площади его поперечного сечения.

Испытание на сжатие производится на образцах цилиндрической или кубической формы. Размер образцов кубиков от 5 см в ребре для мелко- и среднезернистых пород до 10 см в ребре для крупнозернистых и крупнокавернозных пород. В образцах цилиндрической формы высота должна быть равной диаметру. Для пород очень слабых применяются образцы больших размеров — кубические не менее 10 см или цилиндры диаметром и высотой 10 см и более. Размеры образцов выбираются, таким образом, с учетом структурно-петрографических особенностей исследуемой горной породы. Необходимо увеличивать размеры образцов при крупно- и гигантозернистости породы. Уменьшение размеров образцов бывает целесообразным при наличии зон микротрещиноватости. Предлагаемые выше размеры являются оптимальными.

По опыту работ ряда лабораторий (Шапошников, Залесский, 1927), следует считать, что оптимальную прочность показывают образцы размером 5 см в ребре или диаметре. Этот же размер образцов дает наименьший коэффициент вариаций. Пересчет результатов испытаний других размеров на стандартные образцы не рекомендуется, так как вопрос о влиянии размера образца на прочность (масштабный фактор) горных пород разработан недостаточно. Одни породы дают понижение прочности при увеличении размера образца, другие — повышение, в третьем случае размер испытываемых образцов не оказывает влияния на прочность.

Работами Института горного дела показано, что для таких однородных пород, какими являются облицовочные материалы, размер образца мало влияет на получаемые цифры прочности.

Если испытания проводятся на цилиндрах, то в случае изверженных пород полученный результат умножается на 1,07, что дает переход к испытаниям на кубиках.

Число образцов при проведении испытаний должно быть не менее трех для каждого вида определений, при неоднородных породах рекомендуется довести число испытаний до пяти.

Образцы раздавливаются при помощи точных испытательных гидравлических прессов разных типов и мощности. Наиболее употребительные пресса мощностью в 100 т обеспечивают возможность испытания твердых пород почти всех видов. Между плитами пресса и испытуемым образцом должны помещаться прокладки из каленой стали толщиной 4—5 см. Применение более тонких прокладок не рекомендуется, так как это может привести в случае прочных пород к незаметным деформациям изгиба прокладки, которые заметно понизят цифры прочности. В случае, если пресс не имеет шарнирных устройств, необходимо использовать шарнирные прокладки, помещая их между плитой пресса и образцом.

Подробно этот вопрос рассмотрен Ю. Живным (Zivný, 1962).

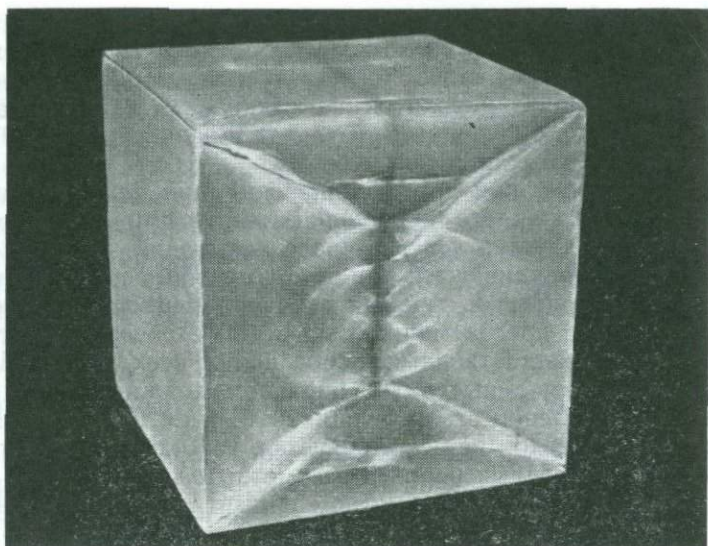
Нагрузка пресса на испытуемый образец должна увеличиваться равномерно, причем скорость подачи давления должна составлять в среднем $10-15 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2} \text{ в сек.}$

Прессы регулярно, не менее одного раза в год, должны проверяться месдозой или другими контрольными приборами. Отклонения не должны превышать одного процента.

Чрезвычайно важно, чтобы рабочие поверхности испытуемых образцов были бы параллельными и достаточно плоскими, для чего их необходимо доводить вручную на стеклянном круге и проверять лекальной линейкой и угольником. Несоблюдение этого условия может привести к понижению прочности до 50%, поэтому при испытании пород на сжатие это требование является важнейшим.

Необходимо также следить за состоянием рабочих поверхностей стальных прокладок, подстилающих и покрывающих испытуемый образец. Рабочие поверхности стальных прокладок подобно рабочим поверхностям испытуемого образца контролируются также лекальной линейкой и должны быть заматованы (тонко пришлифованы до получения матовой поверхности). В случае неудовлетворительного состояния поверхности (вмятины, царапины, полированность) прокладки должны быть пришлифованы на шлифовальном станке и доведены вручную на стеклянном круге.

Разрушение образца происходит по трещинам скалывания, возникающим примерно под углом 45° к направлению давления. Эти направления хорошо видны на фиг. 10. В результате полно-



Фиг. 10. Газганский мрамор. Полированный кубик после испытания на раз-
давливание до неполного разрушения.

Видны трещины скалывания, идущие под углом около 45° к направлению давления.

го разрушения образца по этим линиям он распадается на две пирамиды, обращенные вершинами одна к другой, а основанием к прокладкам пресса (см. фиг. 11).

При разрушении кубиков возникают обычно пирамиды, при испытании цилиндров — конусы. Углы пирамид и конусов с направлением давления обычно приближаются к 45° . В случае хрупких пород углы уменьшаются до 30° и менее: в особо хрупких, например стекловатых породах, обломки, образующиеся при испытании на сжатие, получают пластинчатый характер. Наличие в породе трещин или ярко выраженной слоистости, параллельной направлению давления, также изменяет характер разрушения.

Недостаточно правильная, нецентрированная установка образца также нарушает нормальный ход испытания — разлом получается неправильным, а результат — заниженным. Понижение прочности имеет место также при недостаточной смазке шарниров, при слишком большой разнице между размерами прокладок и образца, неправильной обработке рабочих плоскостей или непараллельности их.

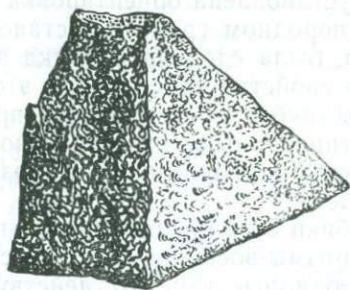
Если исключить трение между прессом и образцом путем смазки рабочих поверхностей пластилином или свинцовой прокладкой, то характер разрушения резко меняется, образец распадается на ряд призм. Величина временного сопротивления при

этом окажется заниженной в 2—4 раза. Полировка рабочих плоскостей образцов также не рекомендуется.

Теория разрушения образцов при сжатии, как указывалось выше, разработана недостаточно. Остается неясной и причина большой разницы в цифрах сопротивления сжатию и разрыву.

Можно предположить, что при испытании без смазки очень высокие значения прочности зависят от того, что трение между рабочей поверхностью образца и прокладкой играет роль дополнительного давления нормально к периметру, т. е. ставит образец как бы в положение трехосного сжатия ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$), при котором прочность, как известно, сильно возрастет.

Для выяснения оптимальной формы при испытании образцов на сжатие было проведено огромное число методических работ,



Фиг. 11. Характер разрушения кубического образца горной породы без применения смазки

касающихся главным образом размеров образцов и отношения высоты к ребру поперечного сечения (или диаметру в случае цилиндров). Результаты получались достаточно противоречивыми в отношении влияния размеров на прочность, однако большинство исследователей склоняется к кубикам 5 см в ребре или цилиндрам этого же размера. Увеличение отношения высоты к ширине основания всегда ведет к понижению прочности, кроме опытов со смазкой, где наблюдается обратная картина (Кузнецов, 1947).

Испытание на сжатие считается дефектным при разрушении образца по трещине, каверне, слабой прослойке или прожилку, если эти особенности не свойственны породе в целом. Дефектность испытаний и ее причины должны отмечаться в журнале испытаний в графе примечаний. В случае получения прочности более чем на 40% ниже средней, ее значение из расчета исключается.

Расчет производится по формуле $P_{сж} = P/S$, кг·см⁻², где P — разрушающая нагрузка, кг; S — площадь поперечного сечения образца, см².

При испытании ориентированных образцов, например, параллельно и перпендикулярно отдельности или слоистости каждая из этих групп испытывается отдельно, так как почти все горные породы анизотропны — показывают изменение прочности в зави-

симости от направления приложения силы. Эта анизотропия распространяется и на многие другие физические свойства пород, такие, как упругость, твердость, тепловые, электрические и магнитные.

Анизотропия горных пород связана с анизотропией породообразующих минералов так, что если в породе наблюдается преимущественная ориентировка какого-либо из минералов, в особенности сильно анизотропного (например слюды, кальцита), свойства меняются в зависимости от этой ориентировки.

Изучение влияния анизотропии на механические свойства пород проводилось неоднократно. Пожалуй, наиболее подробно она была произведена над гранитом Уллу-Камского (Северный Кавказ) месторождения (Беликов, 1948). По методу Зандера была установлена ориентировка биотита S во внешне совершенно однородном граните. Установив направление ориентировки слюды, была сделана попытка выяснить влияние ее на механические свойства породы. Для этого из пробного блока были вырезаны кубики, восьмерки и призмы со сторонами, правильно ориентированными относительно плоскости S . Как на тех, так и на других стрелками была указана ориентировка падения этой плоскости.

Кубики 5 см в ребре предназначались для испытания на сжатие, призмы-восьмерки — для испытания на разрыв. Испытания производились так, что действующее усилие (сжимающее или растягивающее) было направлено параллельно одной из осей a , b или c блока, где a — простирание, b — падение плоскости S , а c — нормаль к этой плоскости.

Диаграммы по Зандеру показывают, что:

1) в направлении, параллельном b , часть пластинок биотита располагается плоскостью спайности по (001), т. е. плоскостью наилучшего раскола параллельно оси;

2) в направлении, параллельном оси a , пластинок биотита, совпадающих с осью, значительно меньше, чем располагается под углом к оси;

3) направления a и c почти однозначны в отношении расположения биотита.

Для испытания на сжатие были вырезаны образцы параллельно всем трем осям.

Как известно, при испытании на сжатие без смазки под влиянием трения между поверхностями образца и досками пресса разрушение происходит в результате скальвающих напряжений в главных плоскостях скальвания, расположенных под углом, близким к 45° к направлению действующего усилия. При таком расположении плоскостей скальвания биотит лежит различно по отношению к ним:

1) при раздавливании кубиков давлением, направленным параллельно оси b , почти не имелось пластинок биотита, лежащих в плоскостях скальвания;

2) при раздавливании кубиков давлением, направленным параллельно осям *a* и *c*, многие пластинки биотита попадали в плоскости скалывания и тем облегчали разрушение, понижая временное сопротивление сжатию ($R_{сж}$).

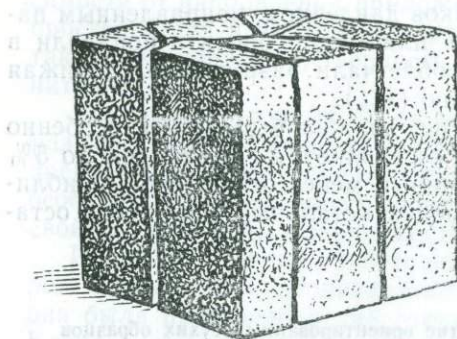
Разница в значениях $R_{сж}$ не должна была быть особенно значительной, так как биотит составляет в среднем около 5% породы. Мусковит, ориентированный менее отчетливо, — приблизительно столько же, ориентировка остальных минералов осталась невыясненной.

Таблица 3

Результаты испытаний на сжатие ориентированных сухих образцов Уллу-Камского гранита

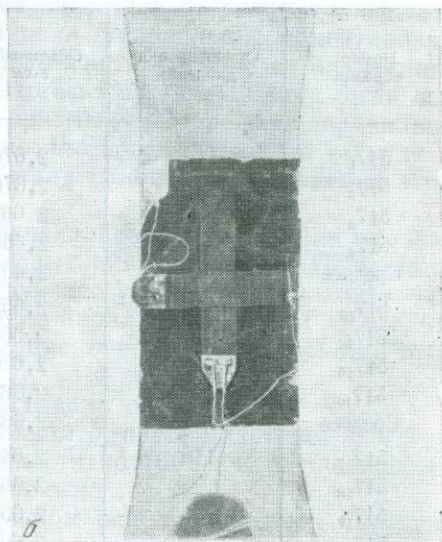
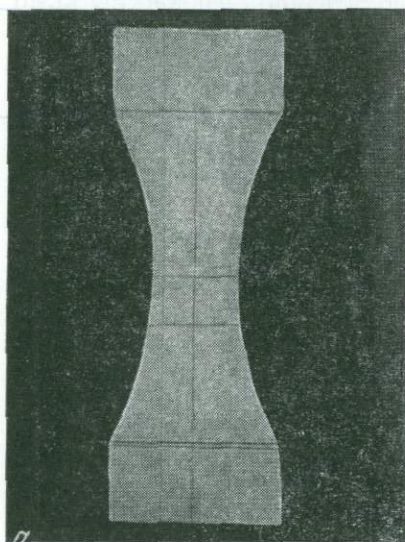
Номер образца	Ориентировка давления	Объемный вес г·см ⁻³	Временное сопротивление сжатию, кг·см ⁻²	Колесание, %
517 ₁	11c	2,670	2480	±4,2
517 ₂		2,670	2280	
517 ₃		2,667	2370	
517 ₄		2,661	2400	
Среднее		2,667	2380	
517 ₁₃	11b	2,663	2530	±3,2
517 ₁₄		2,660	2500	
517 ₁₅		2,666	2410	
517 ₁₆		2,663	2510	
Среднее		2,663	2490	
517 ₁₇	11a	2,663	2270	±3,4
517 ₁₈		2,663	2400	
517 ₁₉		2,659	2380	
517 ₂₀		2,661	2370	
Среднее		2,661	2360	
Среднее для породы		2,664	2420	

Как видно из табл. 3, наиболее высокие значения получились для кубиков, ориентированных параллельно оси *b* (2500 кг·см⁻²), соответственно параллельно осям *a* и *c* получаем почти одинаковые, несколько более низкие числа (2350, 2380 кг·см⁻²). Разница в 6% не представляется значительной, особенно при испытании на сжатие, но тенденция к изменению чисел с изменением направления выражена совершенно ясно. Обращает на себя внимание равенство получаемых цифр: почти нет выпадающих значений — это следует приписать правильной ориентировке кубиков. Для неориентированных образцов гранитов такие ровные цифры с колебаниями лишь в 3—4% никогда не получались.



Фиг. 12. Разлом образца с прокладками, снимающими трение между рабочими гранями образца и прессом

Фиг. 13. Форма образца горной породы для испытания на разрыв
 а — форма образца;
 б — установка электротензометров



Наблюдая влияние ориентировки слюды при испытании на сжатие при действии скальвающих напряжений, мы попытались повторить те же опыты для случая напряжений разрывных.

Для этого были произведены испытания на сжатие со смазкой и на разрыв. При первом виде испытания трение между кубиками и прессом снимается, кубик разрушается под влиянием растягивающих напряжений, направленных нормально к направлению действующего усилия (в стороны возможного расширения). Кубик разрушается не на два конуса, как в случае сжатия без смазки, а на систему столбиков, параллельных граням и действующему усилию (фиг. 12). В данном случае влияние слюды приобретает другое, противоположное предыдущему значение: при расположении действующего усилия параллельно ориентировке плоскости спайности (001) слюды разрушение происходит наиболее легко; при расположении той же плоскости слюды пер-

пендикулярно ему или косо к нему порода сопротивляется гораздо сильнее. Для производства этого испытания были взяты, так же как и в предыдущем случае, кубики, но лишь с двумя ориентировками — параллельно *b* и *c*. Параллельно *a* кубики не испытывались, учитывая приблизительную одинаковость положений *a* и *c*.

Как показывает табл. 4, разница в прочности для направлений параллельно *b* и *c* составляет около 20%.

Таблица 4

Результаты испытания гранита на сжатие с применением смазки пластилином

Номер образца	Ориентировка давления	$R_{сж}$, кг·см ⁻²	Колебания, %
517 ₂₅	Параллельно оси <i>b</i>	543	±22,6
517 ₂₆		413	
517 ₂₇		650	
517 ₂₈		550	
517 ₂₉		489	
		<u>530</u>	
517 ₃₁	Параллельно оси <i>c</i>	621	±16,6
517 ₃₂		759	
517 ₃₈		621	
517 ₄₄		67	
517 ₃₅		703	
517 ₃₆		546	
		<u>655</u>	
Среднее по породе		600	

Сама по себе смазка пластилином понижает прочность более чем в четыре раза.

Для испытания на разрыв были изготовлены ориентированные по трем осям призмы с выемками рабочего сечения 2,5 × 2,5 см, длиной около 12 см, причем испытывались сухие и насыщенные водой образцы.

Анизотропия горной породы, как это видно из табл. 5, сказалась на величине сопротивления разрыву совершенно определенно: при ориентировке действующего усилия параллельно спайности слюд прочность на 44 и 35% выше соответствующих цифр для перпендикулярного расположения. Насыщение водой понижает прочность этого гранита почти на 20%.

Влияние анизотропии на величину модуля Юнга (*E*) показано в табл. 6 и на фиг. 14. Разница в значениях *E* составляет около 4%. Меньшие деформации и, следовательно, большие значе-

Таблица 5

Результаты испытания ориентированных образцов на разрыв

Номер образца	Сухие		Насыщенные		
	Ориентировка давления	Временное сопротивление разрыву, $кг \cdot см^{-2}$	Номер образца	Ориентировка давления	Временное сопротивление разрыву, $кг \cdot см^{-2}$
517 ₁	Параллельно оси <i>b</i>	60	517 ₄	Параллельно оси <i>b</i>	47
517 ₂		65	517 ₅		49
517 ₃		69	517 ₆		52
Среднее		65	Среднее		49
517 ₇	Параллельно оси <i>c</i>	48	517 ₁₁	Параллельно оси <i>c</i>	42
517 ₈		47	517 ₁₁		31
517 ₉		39	517 ₁₂		34
Среднее		45	Среднее		36
517 ₁₃	Параллельно оси <i>a</i>	52	517 ₁₆	Параллельно оси <i>a</i>	40
517 ₁₄		53	517 ₁₇		33
517 ₁₅		31			37
Среднее		45			

Таблица 6

Влияние анизотропии породы на величину модуля Юнга

Номер образца	Ориентировка давления	E , $кг \cdot см^{-2}$	E среднее, $кг \cdot см^{-2}$
517 ₁	Параллельно оси <i>c</i>	477 600	431 400
517 ₂	То же	435 300	
517 ₃	Параллельно оси <i>b</i>	497 500	
517 ₄	То же	502 800	

ния E получились при давлении вдоль пластинок слюды (параллельно *b*).

Приведенные выше результаты испытания показывают, что ориентировка минералов, определяющая анизотропию, весьма заметно сказывается на механических свойствах породы. Даже в нашем случае для гранита без макроскопически видимой слоистости разница сопротивляемости гранита внешним усилиям в зависимости от расположения слюды может достигать десятков процентов. Наиболее чувствительным к влиянию анизотропии оказалось сопротивление разрыву.

Представляется также, что немаловажную роль может играть изучение анизотропии в некоторых случаях практического применения горных пород, например при изготовлении и установке облицовочных плит мрамора и гранита, а также при добы-

че их в карьерах, однако статистический метод определения анизотропии — метод Зандера — не получил пока должного развития ввиду большой его трудоемкости.

Для получения наименьшего разброса цифр при испытаниях, необходима одинаковая ориентировка образцов, причем наиболее простым приемом, ее обеспечивающим, является строгое соблюдение выбранной ориентировки блока при разрезке его как на плиты, так и на кубики или цилиндры, что может быть получено при маркировке стрелкой каждой, получаемой при распиловке части этого блока.

Если в породе видна слоистость, то стрелка ставится по падению слоистости, если слоистость макроскопически установить нельзя, то стрелка ставится произвольно, но затем строжайшим образом переносится на все изготовленные образцы для испытаний.

При испытании образца недопустимы применение картонных прокладок или смазка рабочих плоскостей испытываемых образцов, так как это совершенно меняет картину распределения напряжений и снижает среднее значение прочности в два-три раза.

Несмотря на то что определение прочности на сжатие является важнейшим видом испытания камня, теоретически оно обособно недостаточно, поэтому для сравнимости значений следует придерживаться определенных выработанных практикой стандартов. Для углубленного анализа результатов испытаний следует пользоваться литературой, которая весьма многочисленна. К числу таких работ могут быть отнесены: справочник Гиршвальда (Hirschwald, 1912); книги М. П. Субботина (1935); Б. Г. Скрамтаева и др. (1953), работы Б. В. Залесского и др. (1961), Б. П. Беликова и др. (1964), Л. И. Барона (1962), З. А. Ацагорцяна (1958), Г. Н. Кузнецова (1947), В. В. Ржевского и Г. Я. Новика (1964), К. В. Рупнейта (1956), А. М. Берона и др. (1973), Н. Н. Павловой (1970), В. Д. Ламтадзе (1972), Справочник (кадастр) под ред. акад. Мельникова и др. (1975).

В приводимых в конце статьи таблицах (приложение I) для всех пород даны результаты испытаний на сжатие, полученные в лаборатории исследования физико-механических свойств горных пород ИГЕМ АН СССР при строгом соблюдении методических указаний, приведенных выше, что позволило получить достаточно точные значения прочности.

Предел прочности при изгибе. Испытания на изгиб (излом) производятся на балочках размером $1 \times 1 \times 12$ см. Образец устанавливается на вращающихся опорах, располагающихся на расстоянии 20, 10 и 5 см друг от друга. Нагрузка прилагается сосредоточенно в середине длинной стороны балочки с помощью полукруглого ножа.

Наибольшее напряжение при изгибе равно отношению изгибающего момента к моменту сопротивления соответствующего сечения.

Целесообразно испытание на изгиб производить на прессе малой мощности.

Расчет производится по формуле

$$R_{\text{изг}} = 3Pl/2bh^2,$$

где $R_{\text{изг}}$ — предел прочности при изгибе, $\text{кг} \cdot \text{см}^{-2}$; P — нагрузка, кг ; l — расстояние между опорами, см ; b — ширина поперечного сечения призмы, см ; h — высота поперечного сечения призмы, см .

Иногда для испытания на изгиб применяются призмы размером до $5 \times 5 \times 50 \text{ см}$ (при крупно- или гигантозернистости породы).

Предел прочности при разрыве. Испытание на разрыв производится сравнительно редко главным образом вследствие трудности изготовления из камня фигурных образцов — восьмерок точной формы (фиг. 13).

Соппротивление горных пород разрыву во много раз ниже, чем сопротивление сжатию, и зависит от состава, структуры и характера связи зерен.

Отношение сопротивления сжатию к разрыву колеблется в следующих пределах:

Мраморы кристаллические	17	Кварциты	31
Мраморизованные известняки	22	Граниты щитов	42
Кварцитопесчаники	27	Граниты геосинклиналей	47

В то же время это соотношение у металлов составляет в среднем около 3.

Учитывая трудность изготовления образцов-восьмерок из горных пород, в последнее время было предложено несколько косвенных методов испытания на разрыв. Так, Карнейро (1949) разработал метод определения прочности бетона на разрыв в цилиндрических образцах, сжимаемых по образующей. В горных породах значения прочности, получаемые этим методом, оказываются более ровными и высокими, чем при разрыве восьмерок. Метод, однако, не вполне обоснован теоретически — остается неясным влияние скалывающих напряжений.

Применение получил также метод раскалывания пластин строго параллельными клиньями, метод вычисления из цифр сопротивления изгибу пластинок и др., однако все эти методы дают лишь сравнительные цифры прочности.

Как указывалось выше, вопрос о теории прочности для горных пород не достаточно ясен. Из нескольких предложенных теорий (подробнее — Кузнецов, 1947) наиболее отвечает наблюдениям теория Моора, позволяющая построить паспорта прочности пород — так называемые круги Моора. Эти построения, однако, недостаточно контрастны из-за слишком высокой разницы между прочностью на сжатие и разрыв в горных породах, применяемых в качестве облицовочного камня.

Хотя растяжение является более чистым видом нагружения, освобожденным от влияния трения опор, как это имеет место при испытаниях на сжатие и скалывание, тем не менее и здесь в опасном сечении всегда остается некоторая неравномерность динамического поля, и разрыв происходит не по наиболее тонкой части шейки образца. В связи с невозможностью осуществить идеальное касание захватов пресса в образце концентрируются местные напряжения, и разрыв наступает раньше, чем достигается истинная величина предела прочности при растяжении данного материала. Испытание на разрыв очень чувствительно к мелким дефектам материала (микротрещинам) и его неоднородностям (крупные зерна отдельных минералов).

Степень неравномерности динамического поля зависит как от конструкции зажимов (захватов), так и от формы образцов. Существует несколько форм образцов (Ю. Гиршвальда, Б. В. Залесского и Н. А. Шапошникова, ВИМС и др.) (фиг. 13). Изготовление этих форм встречает значительные затруднения, а при испытаниях на разрыв получается значительный разброс цифр предела прочности.

Испытание на разрыв может проводиться на любой горизонтальной или вертикальной испытательной машине мощностью от 200 до 5000 кг.

Некоторые данные по прочности горных пород на разрыв можно найти в прилагаемых в конце данной книги таблицах.

Ударное разрушение. Испытание горных пород на разрушение при ударе производится обычно на копре Педжа следующим образом: образец устанавливается на массивной подставке копра и подвергается серии ударов бабой, свободно падающей со все увеличивающейся высоты. Каждая последующая высота подъема бабы на 1 см больше предыдущей.

Характеристикой сопротивляемости образца удару, согласно этой методике, служит энергия, поглощенная образцом при этих ударах, отнесенная к единице объема образца.

Энергия каждого удара определяется из выражения $A = mgh = Ph$, где m — масса бабы; g — ускорение земного тяготения; h — высота падения бабы; P — вес бабы.

Если разрушение образца произошло при n -м ударе, то поглощенная образцом энергия будет равна

$$P \cdot 1 + P \cdot 2 + \dots + P \cdot n = P \frac{(n+1)n}{2} \text{ кг} \cdot \text{см},$$

а энергия на единицу объема (удельная) определится из выражения:

$$A_{\text{уд}} = \frac{P(n+1)n}{2V} \text{ кг} \cdot \text{см} \cdot \text{см}^{-3},$$

где V — объем образца.

Метод этот недостаточно физически обоснован и может быть применен лишь для сравнительной оценки так называемой ударной вязкости в горных породах или технических продуктах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ

Упругие параметры горных пород применяются при расчетах в строительстве, в геологии и геофизике. Методы определения их в лабораторных условиях могут быть разделены на статические и динамические.

Статические методы. Основаны эти методы на измерении деформаций образца при сжатии, реже — растяжении или изгибе, причем способы измерений деформаций различны: оптические — прибор Мартенса, электрические — датчики сопротивления, механические — струнные, стрелочные приборы и другие. Наибольшую точность дают прибор Мартенса и проволочные датчики электросопротивления (электротензометры).

Прибор Мартенса. Зеркало прибора Мартенса крепится на деформируемом образце при помощи ножей, которые при деформации образца изменяют его наклон. Величина наклона отсчитывается в телескопе по отраженной от зеркала шкале (фиг. 14). В стрелочном приборе эта же деформация двигает стрелку по сопряженной с ней шкале. Прибор Мартенса обладает большой точностью, но не позволяет измерять поперечных деформаций. Стрелочными приборами типа Гугенбергера и мессурами можно замерить продольные и поперечные деформации, но эти приборы недостаточно точны.

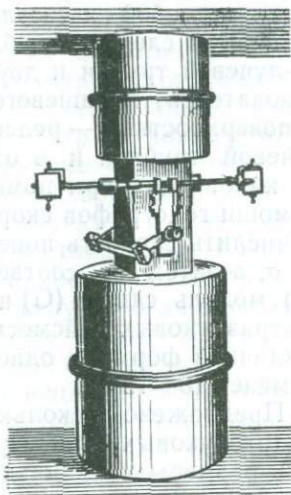
Электротензометры не имеют этого недостатка — при помощи их можно производить измерения в любых точках и в любых направлениях. Преимуществом этого метода является также достаточная точность.

Датчик представляет собой тонкую проволочку сечением около 0,02 мм из константана, наклеенную в виде петель специальным клеем на бумагу, которая служит изоляцией между проволокой и образцом. К концам ее припаиваются выводы из более толстой луженой проволоки для подключения к измерительной установке.

Принцип действия заключается в том, что электротензометр, будучи прочно приклеен к образцу, точно следует за его деформацией, т. е. так же, как образец, растягивается или сжимается. Вследствие этого изменяется длина и диаметр проволоки датчика и соответственно изменяется ее сопротивление. Изменение сопротивления фиксируется гальванометрами высокой чувствительности. По изменению сопротивления определяется величина деформации, по которой рассчитывают модуль Юнга (E) и коэффициент Пуассона.

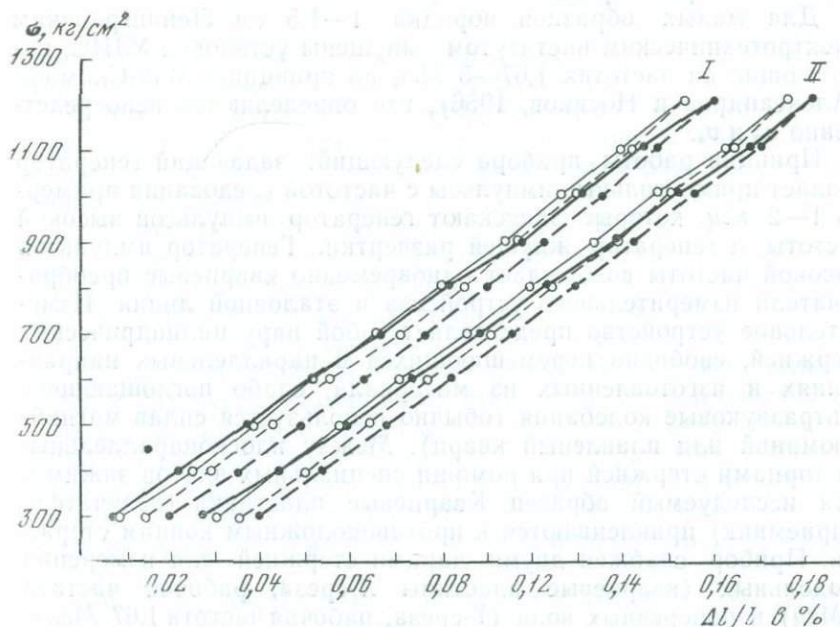
Все значения упругих свойств горных пород, приведенные в таблице, приложенной к настоящей работе, определены тензометрами или на приборе Мартенса. Измерения статическими методами весьма точны и хорошо фиксируют анизотропию породы (см. фиг. 15).

Фиг. 14. Крепление зеркал в приборе Мар-тенса на образце испытуемой горной породы



Фиг. 15. Кривые деформации гранита месторождения Ток, Украина

I — при сжатии при направлении давления перпендикулярно сланцеватости $E=7,2 \times 10^5$,
II — $E=7,19 \times 10^5$



Динамические методы. Из числа динамических методов наиболее часто применяются методы, базирующиеся на возбуждении в испытуемом образце волновых колебаний той или иной амплитуды и измерении времени их прохождения. Наиболее часто употребляются импульсные ультразвуковые сейсмографы, в которых упругие колебания ультразвуковой частоты возбуждаются в породе пьезоэлектрическим датчиком, а приемник также пред-

ставляет собой пьезоэлектрический датчик. Приборы состоят обычно из следующих блоков: генератора, усилителя, электронно-лучевой трубки и двух пьезоэлектрических датчиков (преобразователей) поршневого типа. Время прохождения продольных и поверхностных — релеевских — волн фиксируется электронно-лучевой трубкой и в ответственных случаях фотографируется на киноплёнку при помощи фотоприставки. Определённые при помощи годографов скорости v_p и v_R позволяют, зная плотность, вычислить скорость поперечных волн v_s и коэффициент Пуассона σ , а затем по соответствующим уравнениям модуль Юнга (E), модуль сдвига (G) и модуль всестороннего сжатия (K). Для ультразвуковых сейсмокопов пригодны изометричные образцы различной формы с одной шлифованной площадкой длиной не менее 10—12 см.

Предложено несколько приборов, основанных на применении ультразвуковых волн. При выборе типа прибора следует учитывать размеры имеющихся образцов и соотношение длин волн с поперечными размерами образцов. Следует учитывать также крупность зерна породы.

Для малых образцов порядка 1—1,5 см Ленинградским электротехническим институтом выпущены установки УЗИС, работающие на частотах 1,67—5 Мгц по принципу Мак-Скимина (Александров и Носиков, 1956), где определяются непосредственно v_p и v_s .

Принцип работы прибора следующий: задающий генератор создает прямоугольные импульсы с частотой следования примерно 1—2 кгц, которые запускают генератор импульсов высокой частоты и генератор ждущей развертки. Генератор импульсов высокой частоты возбуждает одновременно кварцевые преобразователи измерительного устройства и эталонной линии. Измерительное устройство представляет собой пару цилиндрических стержней, свободно перемещающихся в параллельных направлениях и изготовленных из материала, слабо поглощающего ультразвуковые колебания (обычно используется сплав магний-алюминий или плавный кварц). Между плоскопараллельными торцами стержней при помощи специальных винтов зажимается исследуемый образец. Кварцевые пластинки (излучатель и приемник) приклеиваются к противоположным концам стержней. Прибор снабжен двумя парами стержней для измерения продольных (кварцевые пластины X-среза, рабочая частота 5 Мгц) и поперечных волн (Y-среза, рабочая частота 1,67 Мгц). В эталонной линии (дважды дистиллированная вода — 300 см³ с 66 см³ абсолютного спирта) колебания возбуждаются и принимаются пластинками X-среза кварца. При измерениях скоростей продольных волн эти пластинки работают на третьей гармонике — 5 Мгц, при измерении поперечных волн — на основной частоте 1,67 Мгц. Начальное расстояние между кварцевыми пластинками и эталонной линией подобрано так, чтобы время про-

хождения импульсом этого расстояния было примерно равно времени прохождения импульса по стержням (без образца).

Расстояние между преобразователями в эталонной линии может увеличиваться с помощью микрометрического винта на 25 мм, величина этого столба жидкости ограничивает максимальный размер образца. Длительность ультразвуковых импульсов равна 2—10 мсек. Импульсы, прошедшие через измерительное устройство и жидкость, принимаются кварцевыми приемниками, усиливаются широкополосным усилителем и при помощи парафазного усилителя подаются на вертикальные пластины электронно-лучевой трубки. Питание прибора осуществляется от общего блока. Совмещение по фазе импульсов на экране осциллографа свидетельствует о том, что время, затраченное ультразвуком на прохождение обоих путей, одинаково.

Длина столба жидкости, соответствующая времени прохождения ультразвука через образец, получается как разность отсчетов микрометра эталонной линии при измерениях с образцом и без него. Скорость звука в образце вычисляется по формуле

$$v_{\text{обр}} = \frac{l}{n_2 - n_1} v_{\text{эт}},$$

где l — длина образца; n_1 и n_2 — отсчеты микрометра эталонной линии; $v_{\text{эт}}$ — скорость звука в эталонной линии.

Описанная методика применяется для изучения упругих свойств поликристаллических агрегатов — горных пород, а также для измерений упругих констант стекол, керамических материалов и ряда кристаллов.

В частности, К. С. Александровым и Т. В. Рыжовой этим методом определены упругие свойства большинства породообразующих минералов, что позволило рассчитывать упругость поликристаллических пород из минерального состава.

Переход от скоростей распространения упругих волн к упругим модулям (E , G , K) и обратно производится через соответствующие уравнения, исходя из констант Ламе λ и μ и плотности ρ .

Достаточная корреляция упругости с прочностью может иметь место только для пород одинакового минерального состава и структуры. В работе Беликова (1961) показано, что это отношение может изменяться в два и более раз в зависимости от принадлежности испытуемых пород к той или иной петрографической группе.

Константы, полученные статическим и динамическим методами для одних и тех же пород, иногда разнятся друг от друга. Обычно статические константы, полученные при давлениях до 1/3 прочности, несколько ниже динамических. Поскольку причина такой разницы пока не выяснена, при выборе метода испытания следует исходить из практических заданий; для решения строительных вопросов следует применять статические методы, для решения вопросов геофизических — динамические.

Все упругие параметры кристаллических пород могут быть рассчитаны по минеральному составу, так как упругие константы породообразующих минералов измерены. Методы расчетов изложены в монографии Б. П. Беликова, К. С. Александрова и Т. В. Рыжовой (1970). Измерение скоростей волн в массивах горных пород также производится сейсмическими методами [см. работы Голодковской и др. (1974); Савича и др. (1969), Шаумян (1972)].

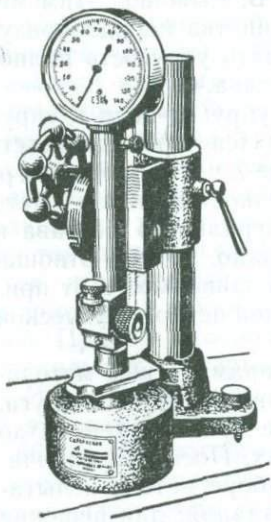
ТВЕРДОСТЬ

Под твердостью подразумевается сопротивление материала введению в него какого-либо твердого тела. Это определение достаточно условно, поэтому и сами методы измерения твердости основаны на стандартизации условий эксперимента и получении сравнительных данных. Результаты определений носят поэтому условный характер.

Методы испытания твердости, разработанные для металлов и руд, т. е. тел сравнительно вязких (методы Бринелля, Роквелла и др.), для таких хрупких тел, как горные породы, применимы с трудом. Здесь выработаны особые методы: склерометрический и склероскопический.

Склерометрический метод основан на измерении ширины черты, получаемой в результате царапания гладкой поверхности минерала или горной породы алмазным острием маятникового прибора, или на фиксировании первой заметной черты. Этот метод пригоден только для мономинеральных, очень тонкозернистых горных пород (мраморы, сланцы). Для пород полиминеральных, а также крупнозернистых или пористых метод мало пригоден и практически почти не применяется.

Склероскопический метод основан на определении твердости по высоте отскока алмазного бойка при падении его на горизонтальную гладкую поверхность горной породы. Из большого числа приборов для определения твердости этим методом наиболее удобным является склероскоп Шора (фиг. 16), где высота подскока бойка фиксируется прямо на шкале прибора. Разная твердость минералов полиминеральных пород усредняется большим числом испытаний благодаря быстрой отсчета. За стандарт принимается твердость определенной марки стали, эталонная пластинка которой прилагается к прибору. Результаты, полу-



Фиг. 16. Склероскоп Шора

ченные этим методом, однако, условны, так как характеризуют одновременно и твердость и упругость горной породы. В приводимых ниже таблицах твердость дана в единицах Шора.

ИСТИРАЕМОСТЬ

Испытанием на истирание определяется износ камня, предназначенного в виде плит для полов, ступеней и пр. Для определения сопротивления истиранию изготавливаются образцы кубической или призматической формы. Определение ведется на двух параллельных образцах. Образцы истираются на чугунном круге при стандартных условиях: под всегда определенной нагрузкой на образцы, с подсыпкой стандартного абразива в определенном количестве, при установленных длине пути и скорости.

Истираемость определяется по потере в весе в г на 1 см^2 истирающейся поверхности образца. Испытания производятся на одном и том же образце два или три раза до получения устойчивых средних результатов. В таблицах, приводимых ниже, даны цифры истираемости на круге Амслера-Дорри при нагрузке в $600 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$, длине пути 500 м, при расходе песка 500 г на одно испытание образца. В случае надобности испытания производятся с добавлением воды — 500 г на образец.

Износ в барабане. Для горных пород, употребляемых в качестве щебенки для балластирования железнодорожных путей, в дорожных покрытиях и в специальных бетонах, производится испытание камня на истирание во вращающемся барабане путем определения потери веса в стандартных условиях.

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

С характером воды, входящей в камень, и с характером его пористости теснейшим образом связано важнейшее техническое свойство строительного и облицовочного камня — его морозостойкость, т. е. способность сопротивляться разрушению в процессе неоднократного замораживания и оттаивания, как это имеет место в процессе внешней службы камня. При этом оказывается, что само образование льда (расширение на 9%) не влияет на камень в тех случаях, когда вода при свободном насыщении не выполняет всех пор. В тех же случаях, когда вода выполняет поры нацело, роль мороза значительно усиливается и породы, насыщенные полностью (на 100%), обычно не выдерживают многократного замораживания и оттаивания, что показано в работах С. А. Семенцова (1956) и Ю. А. Розанова (1956).

Влияние заполнения пор водой на характер поведения образца при замораживании видно очень хорошо и на поведении свежевыколотых образцов. Добываемая в карьере горная порода обычно полностью насыщена водой. В ней присутствует так назы-

ваемая горная влажность; в особенности полно насыщенными при этом оказываются мелкие капилляры породы. Если образец, обладающий горной влажностью, без высушивания подвергнуть замораживанию, то обычно он оказывается значительно менее стойким, чем образец этой же породы, который перед замораживанием был высушен, а затем снова насыщен водой. Это явление находит свое объяснение в том, что в случае образцов, сохранивших горную влажность, насыщение мелких пор значительно более совершенное, чем насыщение, полученное при лабораторном, даже принудительном, насыщении.

В лаборатории ИГЕМ принята следующая методика испытаний морозостойкости при медленном режиме замораживания. Образцы, насыщенные водой в течение 5 суток (а при особых требованиях в форвакуумной установке), с закрашенными тушью углами и ребрами для фиксации разрушений загружаются в камеру при положительной или нулевой температуре, которая затем снижается до -3°C и поддерживается на этом уровне в течение двух часов; в течение следующих двух часов температура снижается равномерно и постепенно с интервалами $3-5^{\circ}$ до $-15-22^{\circ}\text{C}$ и поддерживается на этом уровне в течение 1 час. Весь процесс замораживания длится 5 час. Оттаивание производится погружением образцов в воду комнатной температуры не менее чем на 2 час.

При обычных испытаниях камня производится 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания образцов. В некоторых случаях при предполагаемых для камня особо тяжелых условиях службы число циклов должно быть увеличено до 75, 100 и даже 200.

Образцы осматриваются после каждого цикла, и все происшедшие в них изменения (открашивание углов, ребер, выпадение кусков, разрушение по трещинам и т. п.) фиксируются.

Полностью разрушенные образцы не испытываются на сжатие; при вычислении средней прочности после мороза их прочность считают равной нулю. Образцы, частично разрушенные, испытываются на общих основаниях.

В некоторых случаях замораживание образца в холодильной машине заменяется пропитыванием его различными солями, расширяющимися при кристаллизации. Наиболее часто с этой целью используется сернокислый магний ($\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Считается при этом, что действие кристаллизующегося сернокислого магния аналогично действию замерзающей воды, что, однако, совершенно не отвечает действительности; на поведение горной породы, пропитываемой раствором сернокислого магния, затем кристаллизующегося, влияет, как показал Б. В. Залесский, не столько кристаллизационная сила, действующая в процессе роста кристаллов сернокислого магния, сколько полиморфные превращения вещества, происходящие в процессе изменения температуры среды увлажнения и высыхания кристаллов соли.

Различие поведения породы при замораживании и при воздействии раствора сернокислого магния состоит в том, что сернокислый магний воздействует не равномерно на весь образец породы (как это имеет место при замораживании), а влияет лишь на его поверхностные части, куда может проникнуть кристаллизующийся раствор. Это ведет при слабости породы не к общему ее разрушению, а к отслаиванию внешних частей. Поэтому, а также вследствие большой жесткости этого метода испытания лучше применять метод замораживания.

Расчет коэффициентов, характеризующих морозостойкость горной породы

Для оценки влияния насыщения и замораживания на изменение свойства камня принят ряд коэффициентов, из которых важнейшие коэффициенты — насыщения, размокания и морозостойкости.

Коэффициент насыщения (по Гиршвальду)

$$S = W_c / W_n,$$

где W_c — водопоглощение при свободном насыщении до 45 суток; W_n — водонасыщение — количество воды, которое может быть принудительно введено в поры камня.

Исходя из объемного расширения воды при переходе ее в твердое состояние, равного примерно 9%, следовало бы считать морозостойкими породы со значением коэффициента насыщения 0,9, однако, учитывая неравномерное распределение пор в теле камня и основываясь на многочисленных наблюдениях, принимают в качестве границы морозостойкости коэффициент равным 0,8. В породах с водонасыщением менее 0,5% определение морозостойкости следует считать необязательным.

Рассмотренные представления соответствуют понятию критической степени насыщения, при которой породы начинают обычно резко разрушаться от замораживания. Критическая степень насыщения для известняков и большинства пород в среднем составляет около 80%. При меньшем насыщении свободные от воды поры являются амортизаторами давления, и порода не испытывает опасных внутренних напряжений при переходе воды в лед.

Абсолютное значение пористости не является, таким образом, решающим фактором при оценке морозостойкости горных пород. Примером тому служит арктическая туфолава, которая при пористости 53% вполне морозостойка, а также некоторые пористые известняки московской синеклизы.

Коэффициент размокания (K_p) представляет собой отношение предела прочности при сжатии для насыщенных и сухих образцов и характеризует изменение прочности пород от размокания.

Иногда насыщению подвергают образцы, испытываемые на разрыв, однако определение коэффициента размокания при сжатии дает более надежные результаты, чем при разрыве.

Коэффициент морозостойкости. Морозостойкость — сопротивление совместному действию увлажнения и низкой температуры.

Коэффициент морозостойкости (K_m) представляет отношение предела прочности при сжатии образцов после замораживания к пределу прочности при сжатии сухих образцов и характеризует влияние мороза на прочность камня.

Ряд стандартов рекомендует определять потерю прочности от замораживания как отношение средней прочности образцов после замораживания к средней прочности водонасыщенных образцов. Использование этой рекомендации может, однако, привести к применению в строительстве явно непригодного камня, так как при нижних пределах потерь прочности от насыщения и замораживания, предусматриваемых ГОСТами, окажется допустимым слишком большое понижение прочности камня.

Все случаи значительного понижения прочности от насыщения и замораживания следует тщательно анализировать с применением петрографических методов.

СОХРАННОСТЬ КАМЕННЫХ ОБЛИЦОВОК

Для суждения о климатической устойчивости горных пород одних физико-механических испытаний недостаточно — здесь требуется суммирование данных целого комплекса исследований, включая обследование месторождений и карьеров, натурные наблюдения над датированными старинными постройками. Оценка морозостойкости представляет собою наиболее важную сторону исследования климатической стойкости строительных и облицовочных камней, поэтому ей посвящено значительное число работ таких, как монография Гиршвальда (Hirschwald, 1912) и новые работы: Б. В. Залесского и др. (1941, 1948, 1955), С. В. Николаева (1958), Ю. А. Розанова (1958), С. А. Глебова (1950), И. П. Тимченко (1964), З. А. Ацагорцяна (1958) и др.

Изучение долговечности предусматривает не только физико-механические исследования, но и натурные наблюдения поведения облицовочных камней в датированных древних и современных сооружениях и памятниках. Наиболее полные сведения по этим вопросам дает монография А. Кислингера (Kieslinger, 1932), некоторые сведения — статьи Д. С. Белянкина (1923), Б. В. Залесского, А. И. Корсунского и др. (1941), В. Я. Степанова и К. П. Флоренского (1952), В. В. Лапина (1940), журнал Reports of the Building Research Board.

В этих работах показано, что главным фактором разрушения каменных одежд, деталей сооружений и памятников является расширение воды, замерзающей в порах пород, при колебаниях температуры, и выщелачивающее ее действие.

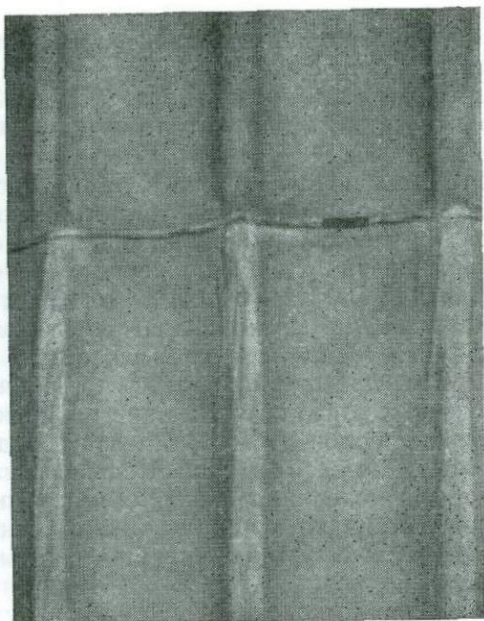
Алоиз Кислинггер различает три главных источника повреждения камня в процессе его службы: 1) свойства самих материалов — неморозостойкость; 2) внешние воздействия; 3) нарушение технологии строительства, когда материал попадает в неблагоприятные условия службы.

Что касается самих материалов, то устойчивость их против факторов выветривания определяется петрографическими и физико-механическими исследованиями не вообще, а с учетом районов будущего применения. Наиболее жесткие требования должны предъявляться для случая службы в северных районах, характеризующихся частыми переходами внешней температуры через 0°C , при которых вода в порах замерзает и расшатывает структуру камня при переходе в лед за счет увеличения объема. В южных безморозных районах требования менее жесткие: здесь возможно применение большего ассортимента пород, в том числе многих песчаников и всех мраморов. Большое значение имеет правильность добычи материала; недопустимость поставки камней, затронутых выветриванием или из зон повышенной трещиноватости карьеров. Поскольку такие случаи имеют место, следует остановиться на них подробнее.

Так, при обследовании колонн Пушкинского музея в Москве (шишимский доломитовый мрамор, Урал) было обнаружено (Беликов, 1960), что в колоннах, составленных из нескольких барабанов, находящихся в одинаковых условиях внешней службы, повреждения совершенно различны: одни барабаны почти не затронуты выветриванием, другие изменены заметно, в третьих разрушение прошло на значительную глубину, до 80—90 мм (фиг. 17, 18). Поскольку материал один и тот же, установка правильная и условия службы одинаковые, эта разница в поведении разных барабанов должна быть отнесена за счет некоторой первоначальной выветрелости самого материала. Это тем более вероятно, что в предреволюционное время, когда строился музей, карьер только начинал эксплуатироваться и в поставляемую партию мрамора могли попасть камни, затронутые выветриванием («верхняк»). Такая же картина наблюдается в цоколе здания Капитолия в Гаване, где часть гранитов дала корки отслаивания, хотя на Кубе не бывает отрицательных температур.

О морозостойкости и неморозостойкости камня в условиях средней полосы уже было сказано выше.

Высокую устойчивость с сохранностью полировки показывают свежие граниты, лабрадориты, габбро, диабазы, базальты и другие магматические породы. Прекрасно сохраняются кварциты. Известняки в виде стеновых и скульптурных камней служат много хуже, показывая разрушения через десятки лет, песчаники у нас в средней полосе почти не употребляются. В южной части ГДР, в дворцовых сооружениях двухсот-трехсотлетней давности прекрасно сохраняются скульптуры из эльбского песчаника, покрываясь лишь патиной в силу загрязненности дрезденского воздуха, что, однако, не уменьшает их декоративности.



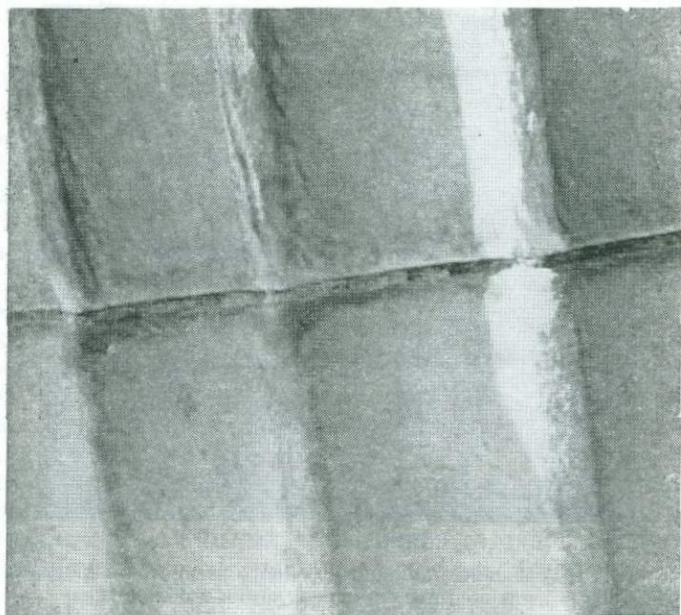
Фиг. 17. Выветрелая поверхность барабана 15-й колонны здания Музея изобразительных искусств им. Пушкина в Москве

Мраморы в условиях внешней службы быстро утрачивают полировку, получая «песчанистую» поверхность и теряя таким образом всю свою красоту. Внешние облицовки из мрамора в полированной фактуре поэтому не рекомендуются, а скульптурные памятники в осенне-зимний период должны быть изолированы от доступа влаги. Песчанистая поверхность мраморных деталей быстро чернеет от пыли и грязи, получая вид далеко не декоративный; выступающие детали отпадают.

Из внешних воздействий, как было уже сказано, наиболее агрессивный фактор — вода, замерзающая в порах, и соленосные растворы, поступающие в каменные детали сооружений, недостаточно изолированные от подсоса грунтовых вод. В результате отложения солей возникают выцветы и высолы в кладках и облицовках фундаментов, могущие в случае слабых материалов привести и к полному их разрушению.

Суточные колебания положительных температур в условиях влажности также могут привести к отслаиванию корок или дроблению в результате инсоляции.

Ветры приводят к более глубокому впитыванию воды, а в условиях пустыни к «выветриванию» за счет абразии движущимися песчанниками.



Фиг. 18. Значительные разрушения барабана одной из колонн Музея им. Пушкина в Москве

Немаловажными являются также факторы, сопутствующие урбанизации, например загазовывание атмосферы городов агрессивными газами (заводские трубы, автомобили, печные газы), что представляет значительную опасность для облицовок из мраморов, известняков и песчаников ввиду значительного содержания в газах SO_2 , переходящего при увлажнении в серную кислоту или образующего сернокислые соли, расширяющиеся при гидратации. Следует учитывать, кроме того, растворяющее влияние корней растений (в особенности лишайников) бактерий и помета птиц (особенно голубей, гнездящихся часто на выступающих деталях монументальных зданий). Из помета выделяются азотно- и фосфорнокислые соли, растворяющие камни и дающие, кроме того, потеки на облицовках.

Конструктивные недостатки весьма разнообразны; они зависят от неправильной установки камней и особенно часто встречаются на памятниках и облицовках. К числу их относится применение железных анкеров при креплении каменных плит облицовок или памятников, ведущие к разрушению в результате увеличения объема при переходе железа в железные окислы. Наблюдалось пропитывание мраморных изделий окрашенными железными и медными солями с образованием пятен (московский метрополитен).



Фиг. 19. Трещины в облицовке одного из мостов в Москве. Пример неправильной установки камня в облицовке

Слишком плотное закрепление крупных каменных блоков (без компенсационных швов) также ведет к разрушениям соседних деталей за счет термического расширения при солнечном нагреве. Имеет место отслаивание камня при недостаточной изоляции от влаги и при недоучете положения слоистости по отношению к поверхности стены в увлажняемых конструкциях; это касается главным образом цоколей сооружений.

Часто встречающаяся ошибка строителей, когда облицовка делается или может стать несущей конструкцией, сплошь и рядом приводит к ее повреждению. Это видно на фиг. 18, где заметно выкальвание на кромках барабанов колонны Пушкинского музея. Это же можно видеть и на облицовке колонн Большого театра в Москве, где вертикальные трещины, возникшие в результате нагрузки на облицовку колонн, проходят через несколько рядов известняковых колец облицовки. На многих облицовках наблюдаются обламывание кромок на плитах, трещины и отпадение отдельных плит.

Очень убедительным примером может служить один из московских мостов: на северо-западной лестнице левобережной части моста возникла вертикальная трещина, пересекающая несколько гранитных блоков кладки моста. Происхождение ее явно за счет усадки конструкции (фиг. 19).

На кладбищах в Гаване и Сантьяго-де Куба, несмотря на отсутствие замораживания, наблюдалось прогибание 10 см надгробных плит из карракского мрамора вплоть до полного их раз-

рушения. Вероятные причины: слишком большие расстояния между опорами (до 2 м) и последующее влияние суточных колебаний температуры.

Имеют место повреждения и за счет окраски каменных облицовок масляными или другими водонепроницаемыми красками. Не говоря уже о варварстве самого этого приема, следует учесть, что в случае мягких пород это может привести к коркообразованию под окрашенным слоем.

То же касается разрушений от вбивания в облицовку гвоздей, скоб и металлических букв на поверхность камня. Очень осторожно следует относиться к ударной обработке камня: при неосторожной обработке под бучарду на поверхности гранитов возникает раздробленный слой, который в дальнейшем обуславливает образование корок или вспучиваний и выпадение отдельных кристаллов. Эти случаи наблюдались на гранитах Мраморного дворца в Ленинграде, в пьедестале памятника Т. Шевченко в Киеве.

Очень внимательно следует относиться к совместимости разных горных пород с разной пористостью в одной кладке. Так, переслаивание более плотных известняков со слабыми пористыми песчаниками ведет к миграции соленосных растворов в слой песчаников и разрушению ряда, сложенного песчаниками, т. е. к разрушению кладки фундамента в целом. Такой случай разрушения ряда кладки из песчаника в фундаменте здания Парламента в Лондоне (как следствие поглощения сульфатных солей из соседних известняков) описан в докладе английской комиссии по изучению строительных камней за 1927 г. (Reports of the Building Research Board 1927). Очень большое число примеров повреждений каменных одежд и памятников Вены и Берлина, иллюстрируемое фотографиями и рисунками, приводится в цитированных выше работах Кислингера и Гиршвальда.

Конечным итогом воздействия агрессивных факторов являются повреждения или разрушения каменных деталей. Причины, приведшие к разрушению, установить, однако, не всегда просто хотя бы потому, что обычно действуют несколько факторов одновременно или попеременно. Это еще раз подтверждает необходимость весьма тщательных наблюдений за камнем, его петрографического, а подчас и химического анализов.

Совершенно очевидно, что при применении в архитектуре каменных деталей следует тщательно взвесить их возможности: здесь, с одной стороны, не должна иметь место перестраховка — применение только дорогих морозостойких камней, не позволяющих к тому же тонкой обработки, с другой стороны, должна соблюдаться осторожность в отношении камней мягких, для выветривания которых иногда достаточно одной влажности. Так, в Гаване мы наблюдали потерю полировки и шелушение на итальянском серпентините во внутренней облицовке Центрального зала Капитолия (постройка начала нашего столетия) и существенные

разрушения его же (отслаивание корок, потеря полировки, выпадение кусков) в деталях внутренней облицовки Кафедрального собора (XVII в.).

В Исаакиевском соборе в Ленинграде облицовку из белогорского мрамора (Карелия) пришлось реставрировать вскоре после постройки с заменой значительного числа плит. В настоящее время мраморная часть облицовки выглядит неряшливо (смещение плит разных месторождений), в то время как гранитные колонны (выборгское рапакиви) не показывают значительных следов разрушения, кроме механических (следы обстрелов). Такая же степень разрушения мрамора была констатирована В. В. Лапиным (1940) при обследовании Мраморного дворца в Ленинграде. К числу конструктивных повреждений могут быть отнесены также изгибания мраморных памятников и плит — явление, связанное с пластическими деформациями мрамора при малых, но очень длительных нагрузках, а также под влиянием суточных колебаний температуры. Изгибаются не только плиты, расположенные горизонтально, как упомянутые выше на гаванском кладбище, но и вертикальные — доски, закрепленные на стенах. Это явление наблюдалось только в мраморных изделиях и относится, вероятно, к необратимой внутрикristаллической трансляции кристаллов кальцита под влиянием малых, но длительных напряжений (сводка по литературе об изгибании мрамора — Ковельман, 1937).

Деформации скальных пород при заложении гидротехнических сооружений описаны в работах Дитриха и Пэха (Dietrich, Paech, 1962) и в сборнике Чехословацкой Академии наук под редакцией проф. Заруба (Záruba, 1963). Там же рассмотрены методические вопросы испытания горных пород.

Вопрос о сохранности каменных одежд зданий должен рассматриваться, таким образом, с двух позиций: 1) устойчивости материалов для внешней облицовки в данных климатических условиях; 2) сохранности конструктивных деталей облицовок и декоративных элементов сооружений.

О климатической устойчивости сказано выше, что же касается второго вопроса — поведения облицовок из мягких пород, таких, как мраморы, известняки, песчаники, в процессе службы и реставрации их, то здесь предстоит решить еще достаточное число вопросов. Это тем более затруднительно, что серьезных работ по натурным наблюдениям за поведением камней в облицовках у нас не ведется.

Для повышения климатической устойчивости искусственных камней (бетон, кирпич, штукатурка) предложено несколько химических препаратов, действие которых основано на придании поверхности камня гидрофобных свойств путем смачивания, пропитки, для добавления их в состав цемента. Что касается горных пород, то для них также рекомендуется гидрофобизация. Так, для известняков и песчаников Е. А. Ласская и др. (1968) рекомендуют

гидрофобизацию растворами кремнеорганических соединений, для мраморов — 5%-ным диметилдихлорсиланом, действие которых (для придания поверхности водоотталкивающих свойств) проверено лабораторными испытаниями. Наблюдения, проведенные ранее, показали, однако, что при уплотнении поверхности облицовки на ней могут образовываться корки и камень перестает «дышать».

Соли, откладывающиеся в камнях под влиянием подсоса грунтовых вод и из загрязненного воздуха городов, могут концентрироваться под этими корками, что приведет к отпадению их и нарушению таким образом поверхностей облицовки. Поскольку эти факты многолетними натурными наблюдениями пока не проверены, к гидрофобизации облицовок старинных зданий следует относиться с большой осторожностью.

Пожалуй, единственной мерой, которая может быть рекомендована, представляется тщательный уход за каменными конструкциями, находящимися в условиях внешней службы — своевременная очистка щетками или горячим паром и предохранение их от влаги, могущей проникнуть из-за неисправности покрытий или недостаточной изоляции от грунтовых вод. Могут быть рекомендованы также пластыри для удаления солей. Кардинальная же мера — правильная установка каменных деталей с учетом свойств используемой породы, в особенности климатической ее устойчивости. Для твердых пород очень полезна полировка.

Методы реставрации музейных экспонатов изложены в работе Г. Дж. Плендерлиса (1964).

При все увеличивающемся объеме потребления облицовочного камня и необходимости постоянной реставрации памятников старины вопрос этот — исследование климатической устойчивости каменных одежд — принимает первостепенную важность, однако литература вопроса на русском языке крайне скудна.

Доминирующее значение петрографических методов как в оценке качества, так и в вопросах анализа морозостойкости камня говорит о принадлежности этой научной области к петрологии, вернее к петрофизике.

Исследования физических свойств пород и наблюдения над изменениями их в процессе службы в одеждах сооружений проводятся на базе тщательного петрографического изучения этих явлений, причем петрографический метод временами становится ведущим при выяснении причин неморозостойкости камня.

Возвращаясь к этому вопросу, необходимо вспомнить работу Гиршвальда (1912), предложившего способ оценки службы камня в сооружениях на основе коэффициентов, полученных из наблюдений над каменными облицовками старинных датированных зданий Германии, и сравнения их со свежими породами карьеров. В оценочный коэффициент введены также петрографические данные: показатели состава, структуры и свежести породы.

Данные параллельных испытаний как работавших, так и свежих образцов позволили Гиршвальду предложить шкалу долговечности (в годах) главных облицовочных камней, применявшихся в Германии до XX в. Коэффициенты, выработанные им, не могут, однако, целиком быть перенесены на условия службы камня в настоящее время, в силу большей загрязненности атмосферы современных городов. Попытка предложения этого метода для анализа материалов некоторых месторождений СССР была сделана Б. В. Залесским и др. (1948), причем была составлена таблица долговечности некоторых облицовочных камней СССР, таких, как граниты, лабрадориты, кварциты, мраморы (табл. 7).

Таблица 7

Теоретическая долговечность некоторых облицовочных камней
(по Залесскому и др., 1948)

Месторождения	Класс погодоустойчивости	Теоретическая долговечность, лет		
		Начало разрушения: индекс 1—1	Угрожающее состояние: индекс 3—3	Окончательное разрушение: индекс 6—6
Граниты				
Янцевское, Украинский щит	I	220	675	1460
Сайдагубское, Балтийский щит	IC	350	1070	1625
Эльджурта, Кавказ	II	75	220	650
Уллу-Камское, Ак-Тюбе, Кавказ	II	135	400	1200
Кузнечное, Ленинградская обл., неиз-	IC	350	1070	1625
мененный				
» катализированный		135	400	1200
Лабрадориты				
Турчинское, Украина	I	220	675	1460
Кварциты				
Шокшинский	IA	650	1460	—

Следует подчеркнуть, что таблица носит сравнительный характер, так как расчетные коэффициенты приняты по Гиршвальду.

Характеристику долговечности мраморов мы не приводим, так как от применения полированных плит мрамора в условиях внешней службы в Москве и других северных городах лучше воздерживаться: они очень быстро теряют полировку и принимают неряшливый вид. Примеры: облицовка Исаакиевского собора и Мраморного дворца в Ленинграде (тивдийский мрамор, Карелия), памятники на кладбищах. В общем же кристаллические мелкозернистые мраморы более устойчивы, чем мраморизованные известняки.

Все изложенное о климатической устойчивости камня показывает, что вопрос этот чрезвычайно сложный и может решаться лишь путем обязательных полевых исследований, натурных наблюдений и лабораторных работ. Всякая попытка решать эти вопросы только по данным физико-механических испытаний без геологического обследования и петрографического изучения обречена на неудачу — заключения подобного рода не могут иметь никакой цены.

Второй вывод, который напрашивается при рассмотрении данного вопроса, — это важнейшая роль петрографии: совершенно ясно, что строительное камневедение, как иногда называется этот раздел геологической науки, является одним из разделов петрофизики.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ

Коэффициент линейного расширения является одной из необходимых констант строительного камня. Из многих предложенных способов его определения нами был применен метод Борда, основанный на сравнении коэффициентов расширения испытуемого образца и эталона.

Все измерения были выполнены на приборе фирмы «Цейс». Измерение возникающих при нагревании деформаций велось оптическим путем в температурном интервале 15—100°С. Опыты велись над образцами круглого или призматического сечения площадью 0,8 см² и длиной 50 мм.

Этим методом было произведено определение коэффициентов линейного расширения нескольких горных пород; результаты приводятся в табл. 8.

Таблица 8

Коэффициенты линейного расширения некоторых мраморов и гранитов

Порода и месторождение	Среднее значение коэффициента линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-7}$	Порода и месторождение	Среднее значение коэффициента линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-7}$
Граниты		Мраморы	
Гранит двуслюдяной; Бараньи лбы, Уллу-Кам, Северный Кавказ	73	Агверан, Армения	69
Ак-Тюбе, Уллу-Кам, Северный Кавказ	68	Хорвираб	48
Кушюя	76	Фоминское, Урал	144
Кушюя	81	Белогорское, Карелия	114
Рапакиви, Выборгский район	89	Каркадинское, Урал	18
		Давалу, Армения	45
		Кварцит, Шокшинский, Карелия	122

Коэффициенты линейного расширения у гранитов выше, чем у мраморов. Исключение составляет белогорский мрамор (доломит), что связано, вероятно, с наличием в нем кварца, и фоминский, имеющий повышенный коэффициент, вероятно, за счет присутствия железных пленок вокруг зерен кальцита.

Интересную работу по тепловому расширению кристаллических известняков провела Ирена Дудкова в Праге (Dudková, 1966), причем к эксперименту она подошла с позиции петрофизики. Ею были составлены петроструктурные диаграммы ориентированных образцов нескольких кристаллических известняков и произведены измерения в пределах температур от +20 до +80°С параллельно осям a , b , c ориентировки кальцита. Полученные ею коэффициенты расширения кальцитовых мраморов различны в зависимости от ориентировки кристаллов кальцита. Поскольку для кальцита максимальная константа $\alpha_{\parallel c} = 23,58 \times 10^{-6}$ лежит в направлении, параллельном c , а минимальная $\alpha_{\perp c} = 5,22 \times 10^{-6}$ — перпендикулярно c (Rosenholtz, Smith, 1951), то полученные И. Дудковой значения легли для всех сечений между названными константами. Ею же предложен метод теоретического расчета теплового расширения по данным микроструктурного анализа.

ВЫХОД ПЛИТ ПРИ РАСПИЛОВКЕ БЛОКОВ

Одной из важнейших качественных характеристик облицовочных камней является их способность распиливаться на плиты. Этот показатель определяется путем пробной распиловки блоков и зависит от физико-механических свойств, трещиноватости, свежести породы. Зависит выход плит отчасти и от оборудования завода. Выход плит при распиловке блоков измеряется достаточно точно — количеством плит стандартного размера и толщины (в квадратных метрах), полученных из кубометра распиленного камня. Толщина плит обычно для гранитов — 50 мм, для мраморов — 25 мм.

В настоящее время внедрены в практику облицовочных работ более тонкие мраморные плиты — до 10 мм толщиной (Попова, 1971, 1973); такие плиты наклеиваются на керамзитобетонное основание. Выход их из блока, конечно, будет более высоким по сравнению с выходом стандартных плит. Ход пробной распиловки протоколируется на заводе, а результат (в виде справки) помещается в отчет о разведке месторождения.

Примерные показатели выхода плит из кубометра камня приведены в табл. 9, составленной А. М. Орловым (личное сообщение) по данным завода Метростроя.

Полировка плит выявляет, кроме того, и дефекты камня, такие, как неоднородность, кавернозность, микротрещиноватость, наличие пятен от выветривания отдельных минералов и интенсивность окраски.

Таблица 9

Выход плит из 1 м³ блоков (по ориентировочным данным А. М. Орлова)

Порода и месторождение	Толщина плит, мм	Выход окантованных, полированных плит, м ²
Мраморы		
Коелга, Урал	20	27,5
	40	19,9
Уфалей, Урал	20	22,6
Буровщина, Забайкалье	40	17,3
Газган, УзССР	20	17,2
Мраморовидные известняки		
Салиэти, ГССР	20	12,6
Молита	40	9,8
Шроша	50	10,3
Горовское, АзССР	40	10,0
	50	10,0
Граниты		
Возрождение, Ленингр. область	40	10,2
Трикатнинское, УССР	60	8,7
Янцевский	80	7,6
Савосайский, УзССР	40	8,3
Черкасарский, ТаджССР	50	8,4
Лабрадорит, УССР	40	8,3
Габбро	50	8,4

ЦВЕТ КАМНЯ

Цвет и рисунок облицовочного камня — весьма важное его качество; от цвета и текстуры примененной облицовки в значительной мере зависит монументальность сооружения, поэтому они должны характеризоваться весьма объективно. Цветовая характеристика облицовочного камня Украины была произведена О. О. Литвиновым, для чего им был сконструирован специальный прибор, основанный на применении катушки Максвелла. Результаты изучения цветовой палитры облицовочных камней Украины даны в работе О. О. Литвинова и И. С. Солонинко (1950).

Обычно достаточно, однако, словесной характеристики цвета и описания узора. Очень помогает цветная фотография, поэтому весьма желательно приложение цветных фотографий к отчетам о разведке месторождений камня.

Две главные группы облицовочного камня — гранитов габбро и мраморов — различаются по декоративности и цветовой характеристике (см. вклейку).

Палитра гранитов ограничена красным и серым цветами. Принято считать, что серые граниты более монументальны, чем красные. Цвет несколько меняется от характера обработки — в полированной фактуре породы несколько темнеют, но зато проявляется их настоящая красота. Полированные детали цоколя легко моются водой. С другой стороны, полировка выявляет такую отрицательную особенность некоторых древнейших гранитов, как слоистость, которая при недостаточно правильной подборке плит в облицовке цоколей может дать некрасивый рисунок и испортить внешний вид, доступный обзору с близкого расстояния.

Лабрадориты занимают совершенно особое место в группе прочных пород; ирризирующие кристаллы плагиоклаза на общем сером или черном фоне дают совершенно неповторимый рисунок, не снижая при этом монументальности.

Что касается мраморов, то расцветки камней разных месторождений мира дают все цвета спектра, практически здесь могут быть подобраны любые расцветки и большое разнообразие узоров. Палитра мраморов дополняется рисунками мраморизованных известняков, очень разнообразных по тону и окраске.

Обычно мраморы, относящиеся к группе регионально метаморфизованных пород, характеризуются большой выдержанностью и однородностью окраски, у мраморов же контактного происхождения окраска быстро меняется с удалением от контакта. Также влияет примесь граната в гранитах (жежелевское и другие месторождения Украины).

В случае применения щелочных базальтов следует убедиться в отсутствии явления *Sonnenbrand* — «солнечного загара», или «оспенности», которое может привести к полному разрушению камня в условиях внешней службы. Причина разрушения лежит в минералогических превращениях, вызывающих увеличение объема. Это явление легко устанавливается при обследовании выветрелых обнажений в карьерах базальта или пробой в 10%-ном растворе КОН. Явление солнечного загара широко распространено в базальтах южной части ГДР и в третичных базальтах Румынии.

При выборе горной породы как облицовочного материала особое внимание следует обращать на его структуру. Для учета структурных особенностей породы полезно бывает ее петротектоническое изучение. Нежелательна для строительного камня резко выраженная слоистость. Из-за присутствия резко выраженной слоистости непригодны для облицовки многие гнейсы, глинистые и другие сланцы. Конечно, последнее замечание не относится к тем случаям, когда используемое в строительстве изделие выкальвается по слоистости (например, кровельный сланец, тротуарный и другой плитняк и пр.). Тогда слоистость камня является его преимуществом. Структурные особенности



Гранит красный типа рапакви, Емельяновка, Украинский щит



Гранит аметистовый, месторождение Осовый мост, Украинский щит



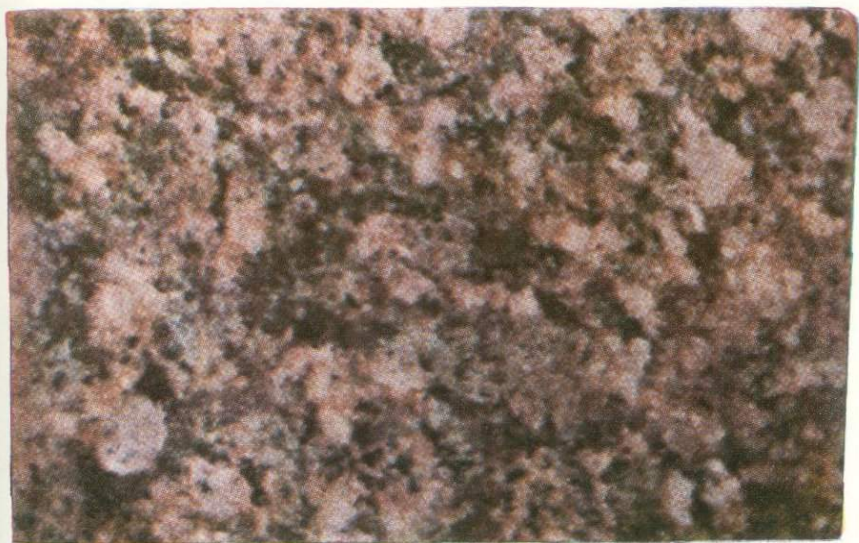
Гранит, месторождение Капустинка, Украинский щит



Мраморизованный известняк, месторождение Новоселица, Карпаты



Гранит, Моголтау, Таджикская ССР



Гранит, месторождение Кузнечное, Ленинградская область



Гранит, месторождение Корнин, Украинский щит



Гранит, Ольшаница, Украинский щит

камня должны учитываться и при изучении механических свойств породы, например прочности на различно ориентированных образцах.

Что касается крупности и формы зерен, слагающих породу минералов, то влияние их различно: изометрическая форма зерен с округленными контактами между ними ведет к понижению таких свойств, как прочность и морозостойкость; более прочны породы с зазубренными очертаниями зерен.

ПОЛИРУЕМОСТЬ КАМНЯ

Камень по-разному принимает полировку, некоторые камни (мрамор, гранит и т. д.) легко полируются до зеркального блеска, другие (некоторые базальты, травертины, песчанистые мраморы) не могут быть доведены до зеркального блеска. До сих пор полируемость обычно характеризуется качественно (хорошо, плохо!), что нельзя признать рациональным. В настоящее время от качественной характеристики переходят к количественным показателям. Первый опыт такого рода проведен в Армении, где для оценки полируемости применяется соответствующий прибор — блескомер, сконструированный в НИИКС (Ереван) Э. Г. Шмавоняном.

С помощью этого прибора измеряется отражательная способность полированной поверхности, характеризуемая коэффициентом отражения. Шкала прибора имеет 200 условных единиц.

Лучшие сорта мраморов и гранитов дают 190—200 делений шкалы; например, по данным Ацагорцяна и Шмавоняна (1971) и Шмавоняна (личное сообщение):

Мрамор месторождения Коелга, Урал	185—190
» » Газган, Узбекистан	180
» » Лопота, Грузия	162
Мраморизованный известняк, Хорвирап, Армения	145
» » Иждеван, Армения	158
Гранит, Янцево, Украина	130
» Ток »	135
» Памбак, Армения	145
Габбро, Головино, Украина	145
Лабрадорит, » »	165
Мрамор, Перла-дель-Карибе, Куба	182
Мраморизованный известняк, Аманасер, Куба	187
Серпентинит, Пело-Мало, Куба	155

Способность камня принимать ту или иную полировку — чрезвычайно важный показатель, так как только после полировки выявляется настоящая красота камня, ставящая его выше любого из искусственных материалов.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МРАМОРОВ

Мраморы, применяемые в качестве щитов для электросетей, должны отвечать требованиям, предъявленным к их изоляционным свойствам. Последние определяются при помощи специальной аппаратуры, поэтому, считая необходимым охарактеризовать и эту сторону их применения, мы приводим таблицу электросопротивления мраморов некоторых месторождений СССР, по данным Московского электротехнического института.

Константы электросопротивления мраморов взяты из монографии Ю. А. Розанова, Д. В. Соловьева и Д. Я. Терскова (1941) (табл. 10).

Таблица 10

Электросопротивление мраморов разных месторождений

Месторождение	Условия опыта	Удельное объемное сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}^{-3}$	Удельное поверхностное сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}^{-2}$	Электрическая прочность, $\text{кв}\cdot\text{см}^{-1}$
Белогорское, Карельская АССР	Сухие	10^{12}	10^{13}	14
Каракубское, Украина	Насыщенные	10^6	10^7	—
	Сухие	10^{13}	10^{13}	14
Мраморское, Урал	»	10^{12}	10^{12}	37
	Насыщенные	10^7	10^{11}	—
Полевское, Урал	»	10^7	10^8	—
Уфалейское, Урал	»	10^7	10^8	—
	Сухие	10^{10}	10^{11}	40
Маукское, Урал	Насыщенные	10^7	10^8	—
	Сухие	10^{11}	10^{11}	42
Прохорово-Баландинское, Урал	Насыщенные	10^8	10^9	—
	Сухие	10^{12}	10^{12}	31
Коелгинское, Урал	Насыщенные	10^7	10^8	—
	Сухие	10^{12}	10^{12}	37
Сализтиское, Грузия	Насыщенные	Мало	Мало	—
	Сухие	10^{11}	10^{11}	—
Шрошинское, Грузия	Насыщенные	10^6	10^6	—
	Сухие	10^{13}	10^{13}	50
Новая Шроша, Грузия	Насыщенные	10^6	10^7	—
	»	10^6	10^7	—
Садахлинское, Грузия	Сухие	10^{13}	10^{13}	20
	Насыщенные	10^9	10^9	—
Агверанское, Армения	Сухие	10^{11}	10^{11}	20
	Насыщенные	10^7	10^7	—
Давалинское, Армения	Сухие	10^{13}	10^{13}	—
	Насыщенные	10^7	10^8	—
Газганское, Узбекистан	Сухие	10^{11}	10^{11}	—
	Насыщенные	10^7	10^8	—

Определялись удельное объемное электрическое сопротивление и удельное поверхностное сопротивление в двух состояниях: после трехсуточного пребывания в условиях 97%-ной относительной влажности и после 48 час. сушки при 120°C. Кроме того, определялась электрическая прочность.

Как видно из табл. 10, наилучшими диэлектрическими свойствами обладают чистые кристаллические мраморы. Примеси, в особенности проводящих минералов, прожилки, заполненные окислами металлов, понижают диэлектрические свойства, поэтому цветные мраморизованные известняки мало пригодны для изготовления щитов и других электротехнических деталей.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Минеральный состав пород, используемых в качестве строительного материала, является важной промышленной характеристикой. Только породы определенного состава и структуры могут служить облицовочным камнем. Примеси играют двойную роль: с одной стороны, они, находясь в тончайше распыленном состоянии, обуславливают необходимую окраску пород, например розовую окраску мраморов (окислы железа и марганца), с другой — могут нанести вред: так, в породе не должно содержаться минералов, легко подвергающихся разрушению или растворению, таких, как минеральные соли или сульфиды металлов.

Присутствие пирита вредно не только потому, что при разрушении он выщелачивается, образуя поры и каверны и тем самым ослабляя породы, но также и тем, что на его месте образуется некоторое количество серной кислоты, действующей на соседние участки породы с образованием сернокислых минералов, частично растворяющихся в воде, циркулирующей по камню, и вызывающих его разрушение. Кроме того, разрушение пирита ведет к образованию бурых окислов железа, дающих некрасивые бурые потеки на поверхности облицовочного камня.

Вредной примесью являются и углистые частицы, также выветривающиеся (окисляющиеся) и портящие внешность камня. В случае присутствия в породе слабых минералов (хлорит, каолинизированные полевые шпаты), последние выпадают из породы легче, чем другие, более устойчивые минералы, и если такой камень использован в облицовке, то на нем появляются нежелательные пустоты, могущие к тому же стать причиной дальнейшего разрушения камня.

В мраморах частой примесью бывает кварц. Не влияя на декоративные свойства мрамора, он является, однако, вредной

примесью, так как затрудняет процесс полировки из-за неодинаковой твердости и полируемости кварца и кальцита (например, белогорская группа в Карелии).

Крупность зерна в обычных пределах ее колебаний сказывается на прочности мало (Залесский, Беликов, 1953), однако гигантозернистые структуры некоторых мраморов и гранитов, например гранитов рапакиви, не желательны: разные коэффициенты термического расширения крупных кристаллов породообразующих минералов, действующие как фактор, расшатывающий структуру, могут привести к разрушению породы. Вероятно, такое явление имеет место в Александровской колонне в Ленинграде (гранит рапакиви), которая дала вертикальную трещину и потребовала реставрации.

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И БЛОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Трещиноватость пород, определяющая их блочность, является одним из важнейших свойств облицовочного и штучного камня, поэтому на методах изучения этого свойства камня в скале следует остановиться более подробно, тем более что литература по этому вопросу почти отсутствует. В 1953 г. одним из авторов была предложена оригинальная методика оценки блочности и трещиноватости камня, которая оказалась достаточно эффективной и широко применялась на практике. Ниже в несколько измененном виде излагается именно эта методика, причем широко используются примеры, приводившиеся в ранее изданном руководстве (Беликов, 1953).

Кроме размеров блоков, их выхода и формы, что является следствием частоты, направления и взаимного расположения трещин, при разработке камня необходимо знать положение плоскостей слоистости, если порода обладает таковой, а если не обладает, то всех элементов сланцеватости и направления наилучшего раскола камня.

Для полного познания особенностей блочности и обрабатываемости камня существуют три самостоятельных пути.

1. Изучение расположения трещин в массиве, на основе массовых замеров трещиноватости проведенных равномерно по изучаемой площади геологически целесообразно. Наилучшие результаты получаются при изучении искусственных выработок или обнажений.

2. Анализ кернового материала при разведке месторождений. При этом определяются: процент выхода керна, длина получае-

мых плашек, характеристика трещин, разбивающих керны, изменение характера слоистости в кернах. Отсюда вытекает необходимость особенно тщательного производства бурения при поисках и изучении камня и документации кернового материала.

3. Заложение пробных карьеров для оценки камня, причем карьер должен быть заложен глубже выветрелой зоны. При наличии действующего предприятия наблюдение за выходом блоков из горной массы с обязательным обмером объема вынутой горной массы и всех получаемых блоков до и после пассировки. Проводится расчет процента выхода пассированных блоков из горной массы. В последнее время, кроме того, начинают применяться геофизические методы оценки трещиноватости пород, о чем будет сказано ниже.

На стадии поисковых работ возможно только изучение положения трещин, последующие два метода могут быть использованы при детальных разведочных работах, причем все три пути оценки блочности дополняют друг друга. В настоящем руководстве рассматривается только первый путь, который позволяет установить:

а) форму естественных блоков, определяемую расположением трещин и слоистостью массива;

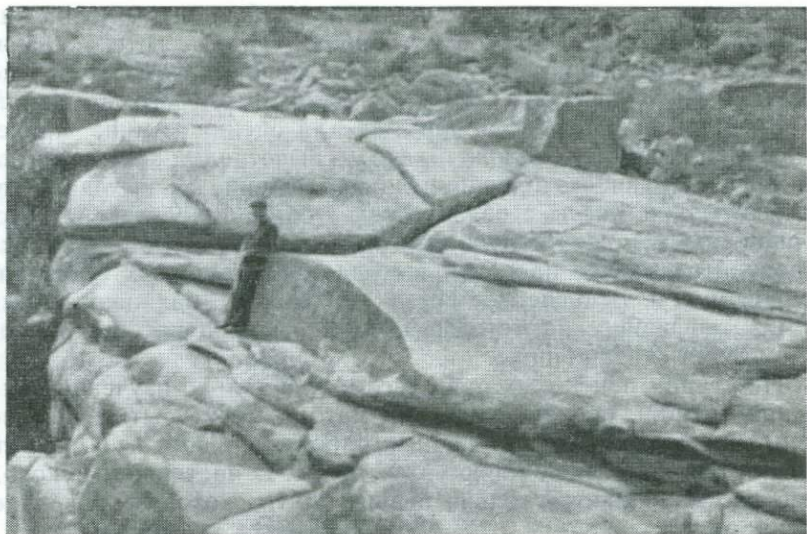
б) размер возможных блоков, определяемый частотой трещин, т. е. длиной интервалов между ними;

в) характер изменения расположения трещин с глубиной. Анализ генезиса трещин желателен, но в рассматриваемом случае не всегда возможен.

Исследования А. А. Полканова, Г. Клооса, Н. А. Елисеева и других показали, что в каждом интрузивном массиве в процессе его остывания и позднее образуются закономерно ориентированные системы трещин отдельности (см. фиг. 20, 21). Эти трещины развиваются, начиная с оболочки затвердевшего интрузивного массива, и возникают в результате: а) сокращения объема интрузии при остывании (эндогенная трещиноватость); б) внутренней кинематики, обусловленной движениями, продолжающимися во внутренних, еще не затвердевших частях интрузий и приводящими к напряжениям в застывших участках (эндокинетическая трещиноватость); в) активных движений пород рамы (эндокинетическая первичная трещиноватость) и, наконец, г) последующих движений интрузии совместно с породами рамы (наложенная экзокинетическая трещиноватость).

В обнажениях возникают, кроме того, трещины выветривания, не образующие, однако, по наблюдениям авторов, особых закономерных систем. Обычно они развиваются по уже существующим направлениям тех или иных систем трещин, лишь усложняя их общий план и давая более частую сетку.

В послепостинтрузивный этап контакт интрузивных и вмещающих пород уже не представляет собой поверхности раздела жидкой и твердой фаз, как это имело место до затвердевания интрузии,



Фиг. 20. Матрацевидная отдельность гранита, карьер Водопад, Ток, Украина



Фиг. 21. Блочность уманского гранита, Украина, карьер Старые Бабаны
В глыбе в центре фотографии видна серия зарубок, подготавливающих ее для клин-ового раскола

и трещины могут закономерно возникать не только в затвердевшей части интрузии, но одновременно и во вмещающих породах.

В группе первичных трещин отдельности для горизонтально залегающих массивов возможно различать следующие ряды.

Поперечные трещины (трещины Q-Клооса). Расположены перпендикулярно к линейности породы и к удлинению оси массива. Возникновение их связывается с растяжением при удлинении массива, поэтому по своему положению они должны отвечать трещинам разрыва. В некоторых массивах Клоосу удалось наблюдать в этих трещинах признаки разрыва: шероховатую поверхность трещин, отсутствие перемещений одной стенки относительно другой, прямолинейность и частое заполнение аплитовыми или пегматитовыми жилами.

Во многих случаях, однако, часть этих признаков отсутствует; сохраняя прямолинейность и большую протяженность в качестве основных своих признаков, они вместе с тем закрыты и наряду с трещинами других типов часто несут следы дифференциальных перемещений (царапины, зеркала скольжения). Преимущественное заполнение их жилами также не обязательно. Можно предположить, что закрытие этих трещин и появление некоторых других признаков — закономерное явление, связанное с дальнейшей жизнью интрузива.

В некоторых случаях характерной особенностью поперечных трещин отдельности является веерообразное расположение их в разрезах и радиальное — в плане. Эта структурная особенность указывает на тесную связь развития поперечных трещин с формированием свода интрузивного массива.

Продольные трещины (S). Обычно имеют крутое падение и простираются параллельно элементам направленного строения интрузии. Эти трещины также являются прямолинейными и закрытыми, но протяженность их относительно невелика; вдоль них также иногда развиваются аплитовые, пегматитовые и более поздние жильные породы, а также кварцевые жилы.

Диагональные трещины (D). Развиваются примерно под углом 45° к простираанию элементов линейной ориентировки интрузии и имеют обычно крутое падение. Морфологически эти трещины представляют собой типичные трещины скалывания. В связи с ними встречаются жильные породы и особенно часто кварцевые рудные жилы. Диагональные трещины особенно часто несут следы скольжения и нередко сопровождаются системой частых расколов, направленной к ним под острым углом. Это так называемые трещины оперения, или перистые трещины, которые иногда заполнены жильными образованиями и нередко рудоносны.

Трещины пластовой отдельности (L). Обычно располагаются параллельно своду интрузии и в случае горизонтальной ориентировки план-параллельных структур имеют пологое до горизонтального падение в апикальной части интрузии и

более крутое на ее боковых контактах. Они ориентированы перпендикулярно к ребру пересечения продольных и поперечных трещин, в комбинации с которыми образуют матрацевидную и параллелепипедальную отдельность в гранитах. Параллельно этим трещинам или под острым углом к ним развивается десквамационная пластовая отдельность вторичного происхождения, грубо отражающая рельеф земной поверхности. Вопрос о генезисе пологопадающих трещин подробно рассмотрен Лжугнером (Ljugner, 1927). С пологопадающими трещинами иногда связаны аплитовые тела.

Трещиноватость и другие структурные особенности интрузивных массивов лучше всего изучать в каменоломнях и других искусственных выработках, поэтому для структурного анализа последние необходимо обследовать особенно тщательно. Для отбойки монолитов в каменоломнях широко пользуются трещинами, но еще шире — различной способностью камня к расколу, зависящей от направления и степени ориентированности породы. Последняя обусловлена двумя причинами: 1) ориентировкой микротрещиноватости, 2) ориентировкой минералов и шпир.

Минералы, особенно пластинчатые, например слюды, могут давать плоскостную ориентировку, которая близко совпадает с плоскостью «S» Зандера. Игольчатые минералы, такие, как роговая обманка, наиболее часто сообщают породе волокнистость (линейность, *Strekung* Клооса) — линейную ориентировку в определенном направлении. Обычно различают (и в каждой каменоломне знают это):

а) направления наихудшего раскола («голова», «торец», «поперек хода»), параллельное направлению трещин Q-Клооса; они обозначаются символом «k»;

б) направления наиболее легкого и ровного раскола («ход камня»), обозначаемые «s»;

в) направления, близкие к пологим трещинам («подошве»), обозначаемые «e».

Эти направления не всегда точно совпадают с положением соответствующих трещин.

Такие соотношения закономерны для участков массивов с горизонтально ориентированными плоско-параллельными структурами. В других случаях, например при вертикальной ориентировке, соотношения меняются: наихудший раскол может оказаться горизонтальным.

Главные системы трещин наиболее распространены в интрузивных массивах. Кроме них, иногда встречаются трещины, с которыми связаны краевые надвиги и пологопадающие сбросы, приуроченные к границам интрузий.

Представления Клооса подтверждаются только для массивов с горизонтальной или слабонаклонной ориентировкой линейности и плоскостного параллелизма, распространенных преимущественно на платформах. Для массивов с вертикально ориентиро-



Фиг. 22. Характер трещиноватости мрамора на месторождении Деловое.
Фото И. С. Солонинко

ванными структурами соотношения меняются и схема Клооса себя не оправдывает, что часто вызывает разочарование в этом методе. В таких случаях следует разобраться в генезисе трещин по их морфологическим признакам и соотношению с текстурами течения. Нередко, особенно в породах кристаллических щитов, имеет место залечивание первичных трещин; о системе их в таких случаях можно лишь строить предположения, основываясь на пространственном размещении разновозрастных с интрузией пегматитовых и других жил. Породы оказываются разбитыми новой системой трещин отдельности, возникшей в результате постмагматической тектоники, которая, естественно, уже не увязывается со структурами течения. Трещины этой системы секут, мало меняя свои направления, как породы интрузивов, так и породы вмещающей рамы. Частота их изменяется в зависимости от физико-механических свойств пород. Анализ такой системы является довольно трудным и возможен только при правильном представлении о плане деформации, основанном на сопоставлении материалов по большому региону.

Для более четкого представления о пространственных соотношениях всех замеренных элементов (линейного и плоскостного параллелизма, шлиров, системы жил, системы трещин) для каждого отдельного участка изучаемой интрузии рекомендуется

составить блок-диаграмму. Этот весьма наглядный метод изображения получил, по предложению Н. А. Елисеева, название структурного блока. Сторонами структурного блока служат обычно главные системы трещин, поэтому в случае изменения их направления положение структурного блока для разных участков массива может изменяться.

Для метаморфических пород анализ трещиноватости упрощается тем, что, кроме пластовой отдельности, которая иногда в них сохраняется, остальные трещины имеют тектоническое происхождение и разделяются по генезису на трещины разрыва и скалывания (фиг. 22). При наличии волокнистости трещины могут классифицироваться в согласии с изложенной выше системой Клооса.

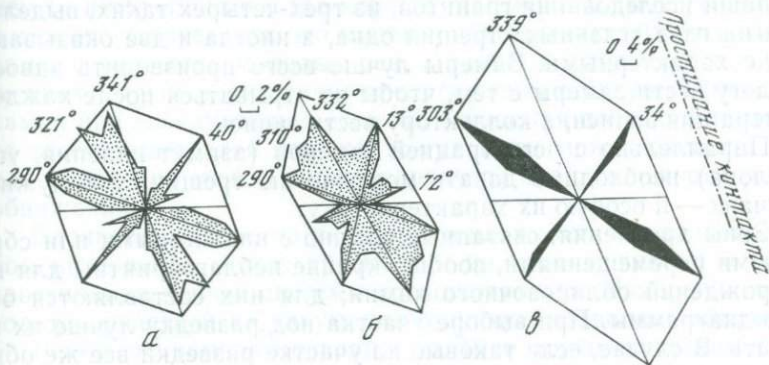
В осадочных породах основой всегда являются трещины напластования. Остальные могут быть диагенетическими и тектоническими: первые не выходят обычно за границу пласта, вторые пересекают всю пачку. Таким образом, перед началом исследования трещиноватости и блочности желательно иметь представление о генезисе их, если это представляется возможным.

При изучении трещиноватости интрузивных массивов, месторождений рудных или нерудных полезных ископаемых и особенно карьеров строительного камня применяются статистические методы, основанные на измерении большого числа (200—300) трещин для каждой геологически самостоятельной части массива или месторождения. Это позволяет дать их объективную характеристику — выделить действительно важнейшие системы трещин, которые при визуальном выделении «главнейших» систем могут быть упущены.

Измерение трещин производится в нескольких наиболее важных естественных или искусственных обнажениях, различно ориентированных в пространстве; для каждого обнажения производится до ста замеров. Помимо массовых замеров трещин, в каждом обнажении необходимо определить элементы прототектоники (линейный и плоскостной параллелизм, ориентировка ксенолитов и шпир).

Обработка собранного статистического материала производится обычно графическим путем. Для этой цели применяется составление роз-диаграмм, круговых диаграмм, вариационных кривых и др. Не вдаваясь в детальный разбор всех этих методов, укажем только, что для общего случая, когда, кроме вертикальных и горизонтальных, имеются и наклонные трещины, наиболее удобны круговые диаграммы, основанные на использовании стереографических проекций. Они дают возможность отобразить все нужные элементы: азимут и угол падения и частоту трещин. На них же могут быть нанесены и элементы прототектоники, шпир и жилы. Круговые диаграммы особенно удобны для изображения трещиноватости месторождений и карьеров и сравнение их с диаграммами микроструктурной ориентировки. Неудоб-

ство круговых диаграмм заключается в малой наглядности при нанесении их на геологические карты в виде кружков с максимумами. Недостаточно искусственным в чтении круговых диаграмм геологам более понятны линейные изображения. Розы-диаграммы показывают, однако, только азимут падения и число измерений; угол падения на них не указывается (для этого нужна вторая диаграмма), поэтому они допустимы лишь для тех случаев,



Фиг. 23. Роза-диаграмма трещиноватости

когда все углы близки к вертикальным (трещины пластовой отдельности при этом также не учитываются). При соблюдении последнего условия — близости углов падения главных систем трещин к вертикальным — розы-диаграммы более удобны для нанесения на геологические карты, чем круговые диаграммы, так как их лучи нагляднее отражают преобладающие азимуты простирания (фиг. 23).

Работа по составлению диаграмм трещиноватости проводится после тщательного геологического изучения месторождения и его района и состоит из двух этапов: полевых исследований и составления диаграмм.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первый вопрос, который возникает обычно перед начинающим заниматься трещинной тектоникой — это методы изучения трещин в поле и необходимое число замеров. То и другое зависит от: 1) степени обнаженности местности; 2) однородности расположения трещин; 3) геологического строения месторождений. В складчатых областях число замеров должно быть большим, чем в ненарушенных пластах или в интрузиях.

Можно рекомендовать следующий общий порядок работ по изучению и измерению трещин в обнажениях. Установив положение

ние слоистости (или волокнистости¹) породы (мрамора, кварцита, гранита) и выбрав ряд обнажений, в которых можно произвести наибольшее число замеров (100—200 в каждом), замерять подряд все трещины (кроме искусственных, полученных при добыче камня или взрывах). Необходимость такого статистического подхода к изучению трещиноватости вытекает из трудности глазомерного определения главных систем трещин. Как показали наши исследования гранитов, из трех-четырех таких, выделенных на глаз «главных» трещин одна, а иногда и две оказываются не характерными. Замеры лучше всего производить вдвоем: геологу вести замеры с тем, чтобы не отрываться после каждого замера для записи, а коллектору вести запись.

Параллельно с регистрацией замеров (азимут падения, угол наклона) необходимо давать морфологию трещин, а в нужных случаях — и особую их характеристику.

Зоны дробления, связанные обычно с надвиговыми или сбросовыми перемещениями, вообще крайне неблагоприятны для месторождений облицовочного камня; для них составляются особые диаграммы. При выборе участка под разведку лучше их избегать. В случае, если таковые на участке разведки все же обнаружатся, необходимо их оконтурить и из подсчета запасов исключить.

При производстве замеров нужно стремиться к тому, чтобы все системы трещин были замерены с одинаковой степенью подробности, для чего необходимо пользоваться различно ориентированными обнажениями, а в некоторых случаях производить их расчистку. Наибольшие затруднения возникают при этом обычно с горизонтальными или пологопадающими трещинами. Для составления диаграммы желательно иметь около 200 замеров трещин, но это требование не обязательное (число замеров может быть большим или меньшим), важнее следить за тем, чтобы в одну диаграмму не попадали трещины участков разного геологического значения: разные крылья складок, слишком удаленные друг от друга районы, разновозрастные интрузии и т. д. Такое совмещение в одной диаграмме разных в геологическом отношении участков, допускаемое иногда геологами в погоне за большим числом замеров, приводит в лучшем случае к появлению размытых максимумов, в худшем — к полной неопределенности диаграммы (тип «звездного неба»).

Чтобы получить более точные результаты для одного сложного участка, лучше составить несколько диаграмм и, только убедившись в идентичности их, соединить все частные диаграммы в одну. Никакого универсального рецепта для выделения участков предложено быть не может: в районах развития дислоцированных осадочных и метаморфических пород расположение трещин

¹ Под «волокнистостью» (Streckung) Клоос понимает преобладающее направление вытянутости некоторых игольчатых или пластических минералов.

меняется очень капризно — диаграммы получаются различными на расстоянии нескольких сот и даже десятков метров друг от друга, а в слабодислоцированных известняках платформ или в гранитах щитов, например на Украинском кристаллическом массиве, трещинная тектоника остается одинаковой на протяжении десятков километров.

После обмера трещин производится измерение расстояний между ними. Если порода хорошо обнажена и выветрелый слой почти отсутствует, как это имеем в обнажениях, обтертых ледниками, в тальвегах молодых рек, а также в искусственных обнажениях, то измерения дадут представление о будущей блочности камня при эксплуатации, если же изучаемая поверхность покрыта слоем выветрелой породы, то суждение может служить лишь для сравнения между собою характера трещиноватости разных обнажений.

Блочность камня, по нашему предложению, оценивается числом интервалов между трещинами на протяжении 10 м вкрест простирания данной системы трещиноватости. Измерения производятся рулеткой на такую длину, какую позволяет обнажение.

Результат замера приводится к 10 м арифметическим расчетом. При измерении расстояний между трещинами особо отмечается число интервалов больше одного метра. Обе полученные цифры — количество интервалов на 10 м (первый коэффициент) и число интервалов больше одного метра (назовем их «коэффициентами частоты трещин») — записываются на диаграмму при соответствующих максимумах, причем второй коэффициент ставится в скобках.

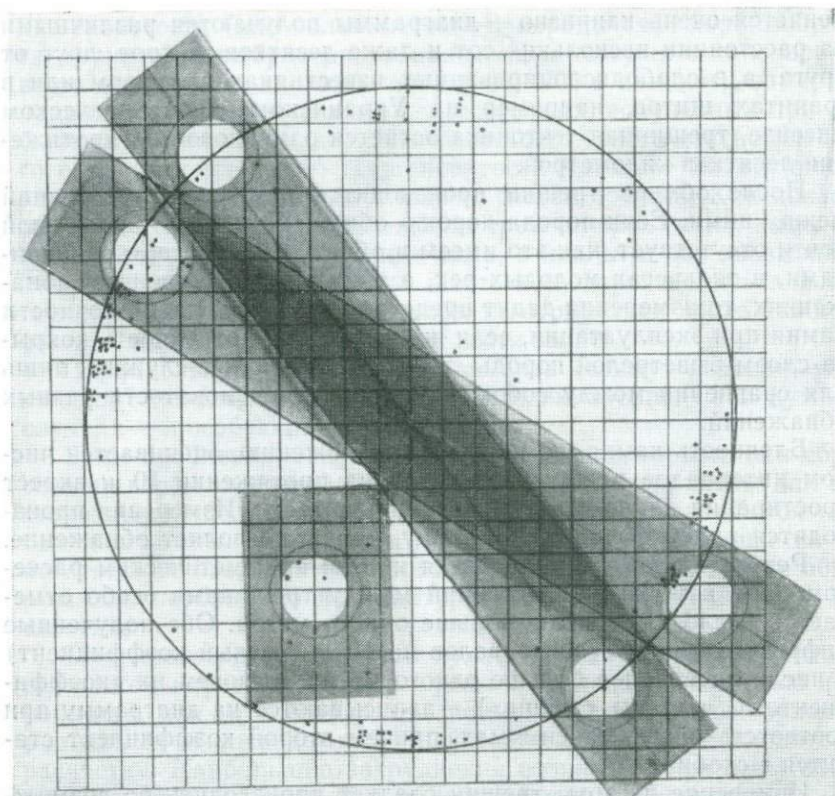
Измерение частоты трещин следует производить по возможности для трех систем, близких к взаимной перпендикулярности. Особенно важно следить за тем, чтобы при измерении частоты горизонтальных и близких к ним трещин была исключена выветрелая зона.

Произведя измерение трещин, желательно тут же в поле произвести графическую обработку — составление диаграмм.

ГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАМЕРОВ ТРЕЩИН

Для наших целей наиболее удобны диаграммы, основанные на использовании равноплощадной сетки, так называемой сетки Вальтер-Шмидта, представляющей собой проекцию Ламберта верхней полусферы на экваториальную плоскость. В этой диаграмме положение каждой плоскости, в том числе и трещин, выражается полюсом нормали к ней, выходящей на верхнюю полусферу, проектируемым затем на экваториальную плоскую сетку в виде точки.

Методика построения следующая: сетку Вальтер-Шмидта (диаметром 200 мм), служащую транспарантом, наклеивают на фанеру или плотный картон, вставив в центре сетки металличе-



Фиг. 24. Точечная диаграмма замеров трещин Соколовогорского гранитного карьера

Диаграмма составлена на кальке и наложена на квадратный транспарант. С помощью лекал ведется подсчет числа точек, приходящихся на каждый узел транспаранта, для получения цифровой диаграммы

ский штифт (кнопку, вставленную с обратной стороны). Восковку того же диаметра, что и сетка, накальвают на штифт и в верхней части окружности ставят штрих, отвечающий 0° и обозначаемый буквой «С» (север).

Для нанесения на диаграмму точки-полюса трещины нулевой штрих поворачивается до деления на внешней шкале сетки, отвечающего замеренному азимуту падения. Угол падения отсчитывается по верхней части вертикального диаметра и ставится точка, которая и будет полюсом наносимой трещины. Полюсы вертикальных трещин при этом попадут на окружность, горизонтальных — в центр, а наклонных будут расположены внутри круга.

Если какой-либо замер повторяется настолько часто, что все точки в одном месте не умещаются (больше шести раз), то вместо них у точки можно поставить цифру, отвечающую числу трещин с этим элементом залегания.

Таким способом наносятся все замеры — получается точечная диаграмма. Подобная точечная диаграмма, составленная по замерам, приведенным в табл. 11, представлена на фиг. 24.

Кроме того, наблюдаются и наносятся на диаграмму:

- 1) плоскостной параллелизм (в данном случае с координатами $198^\circ \angle 15^\circ$);
- 2) волокнистость (лежит в этой плоскости с падением 20° на запад);
- 3) плоскость наилучшего раскола ($190^\circ \angle 80^\circ$);
- 4) вытянутые шпирьы ($230^\circ \angle 20^\circ$);
- 5) пегматитовые жилы (замерено 12 направлений).

Уже по точечной диаграмме видно, есть или нет какая-либо закономерность в распределении трещин.

Для более точного выявления ориентировки трещин на диаграмме необходимо провести изолинии плотностей. Для этого точечную диаграмму накладывают на квадратную сетку (с квадратом 1 см) так, чтобы центр диаграммы совпал с центром сетки, а «север» с вертикальным диаметром. Подсчет плотности попадания точек лучше всего проводить по шаблону-кружку в 0,01 площади диаграммы (диаметром 20 мм) (см. фиг. 24). Шаблон накладывается последовательно на каждый из узлов транспаранта так, чтобы узел попал в центр кружка (на окружность последнего лягут тогда четыре ближайших узла транспаранта). Затем подсчитывается число точек, попавших в кружок шаблона, и полученная цифра записывается над узлом транспаранта. Понятно, что некоторые точки попадают при этом в кружок при 3—4 его положениях — все такие точки должны быть подсчитаны в каждом из положений. Точки, попавшие на окружности шаблона, считаются две за одну. Шаблон с кружком передвигается последовательно по горизонтальным рядам узлов транспаранта так, чтобы охватить все узлы, кроме периферийных.

Для узлов, лежащих на окружности транспаранта, при установке на которые половина поля кружка шаблона попадает за пределы диаграммы, применяется особый, так называемый периферический шаблон с двумя кружками, имеющими расстояние между центрами, равное 200 мм. Этот шаблон с вырезом по середине для движения по штифту ставится так, чтобы оба узла транспаранта, расположенные на противоположных концах диаметра, совпали с центрами кружков. В сумме оба участка диаграммы, захватываемые кружками, будут почти равны площади одного кружка шаблона. Сумма точек, попавших в оба кружка, проставляется в центрах последних. На противоположных концах диаметра будут, таким образом, одинаковые цифры. Если узел транспаранта лежит не на самой окружности, а немного

Таблица 11

Замеры трещин (в градусах) Соколовгорского гранитного карьера
в Житомирской области УССР (произвела М. И. Павлова-Глушкова)*

I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
145	15	115	85	185	82	196	87	225	88
110	85	5	85	280	85	285	83	225	88
185	80	115	88	190	88	Горизонтально		20	87
100	85	30	45	85	85	298	98	110	89
360	87	40	45	300	10	185	77	215	22
100	83	120	88	320	85	175	85	260	5
40	88	115	88	250	6	180	83	190	85
15	88	30	65	140	88	290	88	95	87
105	87	100	70	115	88	180	75	100	88
105	88	125	75	220	80	275	88	105	88
110	88	125	85	40	50	180	65	10	85
105	87	330	25	100	88	175	82	110	85
125	83	300	85	190	5	105	87	110	80
110	88	300	85	185	84	10	83	20	33
100	88	135	80	210	8	233	78	240	15
115	82	110	88	Горизонтально		190	90	220	85
5	88	Со следами горизонтального скольжения		280	83	190	80	150	80
				280	88				
5	88	110	87	115	35	170	85	135	55
115	88	180	15	283	75	165	88	355	87
50	85	105	88	230	87	115	88	95	87
30	88	200	60	175	82	285	80	105	88
10	88	110	87	275	80	290	82	95	85
110	88	125	85	175	81	100	83	5	80
360	87	360	88	287	88	210	10	105	75
100	88	120	88	288	85	280	88	360	87
350	88	285	88	285	86	215	25	105	85
105	88	285	88	285	86	105	85	165	80
353	88	288	85	285	86			260	30
				Горизонтально				7	89
100	88	288	85	115	85	10	80	150	70
330	68	288	85	195	80	180	80	Горизонтально	
118	80	355	88	120	88	300	85	95	88
Горизонтально		10	65	120	83	300	85	100	88
95	88	5	80	140	88	200	15	100	88
10	85	270	88	135	88	190	10	5	85
295	20	270	88	260	15	Горизонтально		100	88
290	88	340	85	360	85	100	80	10	85

* I — азимут падения; II — угол падения.

внутри или вне ее, то шаблон несколько смещается по штифту вдоль имеющейся в нем прорези. Подсчет ведется тогда отдельно для каждого из узлов на противоположных концах транспаранта, и цифры обычно не совпадают. На фиг. 25 пояснен этот метод подсчета.

Цифры могут ставиться как на точечную диаграмму, так и на чистый бланк; в последнем случае необходимо иметь два транспаранта.

В полученной цифровой диаграмме (фиг. 25) проводятся изолинии плотностей таким же способом, как это делается для горизонталей при топосъемке, для чего производится следующий расчет. Если, как в нашем случае, имеется 190 замеров, то 10% плотности будет соответствовать 19 точке, 8%-ной — 15, 6%-ной — 11, 4%-ной — 8, 2%-ной — 4, 1%-ной — 2 точки. Этот расчет приведен на фиг. 26 в левом нижнем углу.

Через полученные цифры (19, 15, 11, 8, 4, 2) и проводим изолинии плотности.

При проведении изолиний внутри диаграммы получаем замкнутые кривые. Часть изолиний, однако, пересекает окружность диаграммы (это полюсы всех вертикальных и крутонаклонных трещин) — продолжение их находится на противоположном конце диаметра. Перенесение продолжения изолинии осуществляется при помощи линейки, проходящей через центр на противоположную сторону окружности диаграммы.

После проведения изолиний промежутки могут быть заштрихованы разной штриховкой, максимальные же сгущения (более 10%) обычно заливаются тушью. Если на диаграмме обнаружатся минимумы, их обозначают значком тире. Подобные случаи бывают иногда в диаграммах со сложным расположением трещин (см. фиг. 30).

Максимумы обозначаются буквами или нумеруются. Используется и система буквенных обозначений Клооса — Q, S, L, D.

Эта система обозначений оправдывает себя только в тех случаях, когда в поле ясно определяется волокнистость или слоистость. Во многих случаях построение по Клоосу себя не оправдывает: элементы прототектоники (плоскостной и линейный параллелизм) не увязываются с трещинной тектоникой.

В практике наших исследований на Украине выявилось, что прототектоника является элементом неустойчивым, а трещинная тектоника характеризуется выдержанностью на большом протяжении. Классификация трещин Клооса в таком случае теряет смысл. Если волокнистость не установлена, лучше от этих буквенных обозначений, имеющих совершенно определенный геологический смысл, воздержаться, заменив их цифровыми обозначениями. Цифрам следует придавать по возможности постоянный смысл — трещины, близкие к слоистости, независимо от положения их на диаграмме обозначать, например, всегда цифрой III и т. д.

Коэффициенты частоты трещин, о которых говорилось выше, ставятся на диаграмме в виде цифр рядом с номерами соответствующих им максимумов.

Полученная указанным выше способом диаграмма (фиг. 26) говорит о характере расположения трещин в горной породе, а индексы при максимумах показывают ориентировочно расстояния между ними.

На эту же диаграмму могут быть нанесены также следующие, характеризующие месторождение, обозначения.

1. Слоистость, или плоскостной параллелизм. Ее лучше всего показать в виде дуги большого круга, прочерчиваемой по меридиану равноплощадной сетки, отстоящему на 90° от ее полюса, при установке последнего на горизонтальный диаметр (см. фиг. 27).

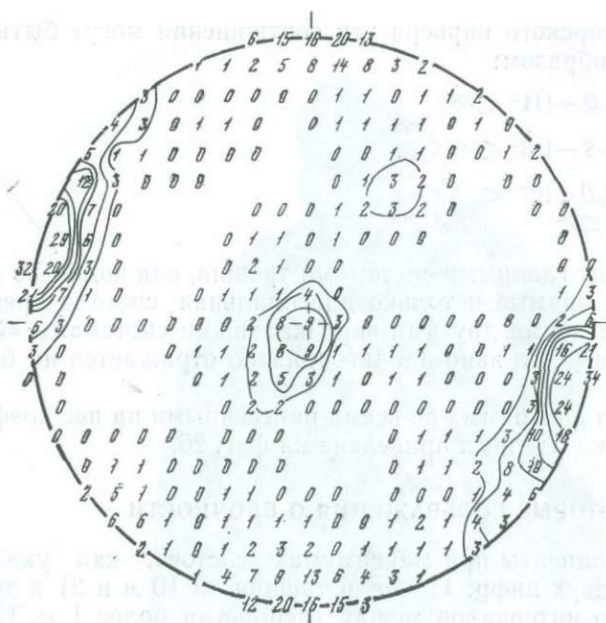
2. Волокнистость, т. е. линейная вытянутость игольчатых минералов для интрузивных пород. Она лежит, как правило, в плоскости слоистости, поэтому ее лучше всего показать в виде ромбика на дуге, обозначающей слоистость. В случае, если определена волокнистость, система трещин приобретает геологический смысл и может быть обозначена как продольная, поперечная или диагональная.

3. Ориентировка пегматитовых, аплитовых и лампрофировых жил, шпир и ксенолитов в виде разных значков, обозначающих полюсы этих плоскостей.

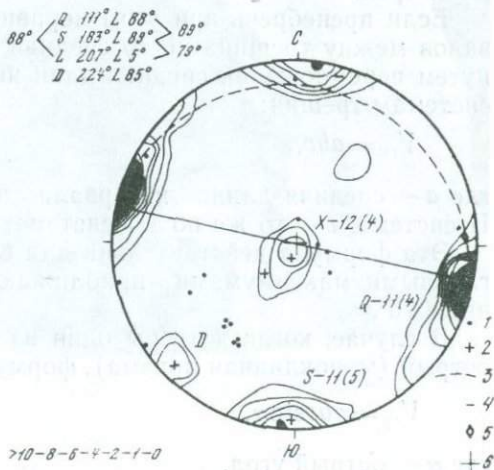
4. В случае интрузивных пород, особенно гранитов, на диаграмме может быть показана также плоскость наилучшего раскола (делимость) — она хорошо известна гранитикам под названием «хода камня», «бида» и др. Последняя, по теории, должна совпадать или с плоскостной ориентировкой минералов, или с ориентировкой преобладающей микротрещиноватости; на практике же не всегда возможно ею пользоваться; например, при наклонном расположении плоскостного параллелизма гранита раскол производится все же по вертикальной плоскости, так как колоть камень в карьере по наклонным плоскостям неудобно.

Угловые расстояния между максимумами весьма важны с точки зрения характеристики блочности: они определяют форму естественных блоков, которые могут быть получены в данном обнажении.

Некоторые системы трещин используются при добыче камня, поэтому угловые расстояния между ними имеют большое значение и должны быть показаны на диаграмме. Особенно важны эти показатели для проектирования карьеров. Угловые расстояния между максимумами измеряются на сетке путем приведения на одну дугу меридиана последовательно каждой пары центров максимумов. Обычно измеряются углы между тремя главными максимумами. Результаты измерений наносятся на восковку диаграммы в левом верхнем углу. В приведенном выше случае



Фиг. 25. Цифровая диаграмма трещин с демонстрацией метода нанесения изолиний (190 замеров) Соколовогорского гранитного карьера, Украина

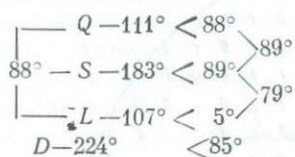


Фиг. 26. Диаграмма в изолиниях трещиноватости гранита Соколовогорского карьера Житомирской области (190 замеров)

- 1 — пегматитовые жилы;
- 2 — шлиры;
- 3 — плоскостной параллелизм;
- 4 — плоскость наилучшего раскола;
- 5 — полюс волокнистости;
- 6 — центр максимума

>10-8-6-4-2-1-0

Соколовогорского карьера эти соотношения могут быть показаны таким образом:



Углы между главными системами трещин, как видим из диаграммы, почти прямые и только диагональная система трещин «D» образует с двумя другими вертикальными системами «Q» и «S» острые углы, что явно неблагоприятно отражается на блочности гранита.

Полная диаграмма со всеми нанесенными на нее коэффициентами и показателями приведена на фиг. 26.

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О БЛОЧНОСТИ

Коэффициенты при максимумах состоят, как указывалось выше, из двух цифр: 1) число трещин на 10 м и 2) в том числе количество интервалов между трещинами более 1 м. Очевидно, желательно, чтобы первый коэффициент был возможно меньшим, а второй — возможно большим.

Суждение о среднем размере блоков возможно в тех случаях, когда верхняя выветрелая часть обнажения снята.

Расчет ориентировочного среднего размера блоков имеет смысл лишь тогда, когда число главных максимумов не превышает трех.

Если пренебречь при этом неравномерностью в длине интервалов между трещинами, то средний размер блока получится путем перемножения средних длин интервалов по трем главным системам трещин:

$$V_{cp} = abc,$$

где a — средняя длина интервала по I системе; b — то же по II системе; c — то же по III системе; V_{cp} — средний объем блока.

Эта формула действительна для случая, когда углы между главными максимумами приближаются к прямым, не падая ниже 75° .

В случае, когда хотя бы один из углов между максимумами острый (моноклинная призма), формула принимает вид

$$V_{cp} = abcs \sin \alpha,$$

где α — острый угол.

Объем блока даже с одним острым углом при одинаковых коэффициентах частоты будет меньше объема прямоугольного блока.



Фиг. 27. Памятник Карлу Марксу в Москве

Блок гранита для этого памятника был добыт на Кудашевском карьере на Украине и имел первоначальный объем около 200 м³

Косоугольные блоки не могут, однако, идти в производство, а должны быть пассированы, т. е. приводиться к прямоугольной форме, вследствие чего объем конечного блока будет еще меньше. Для разбираемого случая моноклинной призмы от нее необходимо будет отрезать две треугольных призмы и объем конечного прямоугольного блока выразится формулой

$$\begin{aligned} V_{\text{пас}} &= a(b - a \cos \alpha) c \sin \alpha = abc \sin \alpha - a^2 c \sin \alpha \cos \alpha = \\ &= abc \sin \alpha - \frac{a^2 c}{2} \sin 2\alpha. \end{aligned}$$

В случае, если все три угла между максимумами косые, формула еще более усложнится.

Пример. Допустим, что средние расстояния между трещинами по I системе $a = 1,0$ м, по II системе $b = 1,20$ м, по III системе $c = 0,83$ м и что трещины других систем развиты слабо.

В случае, когда углы между максимумами прямые, объем будет равен $V_{\text{ср}} = abc = 0,996 \text{ м}^3 \approx 1,0 \text{ м}^3$.

Если угол между I и II системой окажется равным $\alpha = 75^\circ$, то получим объем блока

$$V_{\text{ср}} = abc \sin \alpha = 1,0 \sin 75^\circ = 1,0 \cdot 0,94 = 0,94,$$

а после пассировки

$$\begin{aligned} V_{\text{пас}} &= abc \sin \alpha - \frac{a^2 c}{2} \sin 2\alpha = 1,0 \sin 75^\circ - 0,42 \sin 150^\circ = \\ &= 1,0 \cdot 0,94 - 0,42 \cdot 0,50 = 0,94 - 0,21 = 0,73 \text{ м}^3, \end{aligned}$$

т. е. при скашивании одного угла лишь на 15° блок меньше прямоугольного на 27%.

При определении блочности облицовочных камней следует иметь в виду, что для разных групп пород она различна — размер и процент выхода блоков из горной массы зависит от следующих факторов: 1) петрографической принадлежности; 2) геологического положения (щиты, платформы, геосинклинали); 3) степени свежести (глубины выработки).

Наибольшую блочность при прочих равных условиях имеют граниты: здесь в единичных случаях можно получить блоки без трещин до 30 м длиной, а блоки в 6—8 м не являются редкостью. Особенно известны по крупности блоков граниты рапакиви как из емельяновского карьера на Украине, так и из окрестностей Выборга. Монолиты из выборгского гранита послужили материалом для колонн Исаакиевского собора, Александровской колонны на Дворцовой площади, а также для многих других сооружений Ленинграда. В качестве более нового примера укажем на добытый в кудашевском карьере на Украине блок серого гранита для памятника К. Марксу в г. Москве, который имел первоначальный объем около 200 м^3 (фиг. 27). Процент выхода блоков из гранитов обычно высокий — при правильной механизирован-

ной системе разработки — не менее 30 и до 50% от объема вынутой горной массы. У габбро и лабрадоритов показатели несколько ниже, но в общем и у них блочность весьма высокая. Например, блок волынского лабрадорита на мавзолее В. И. Ленина имеет длину около 8 м.

Хорошую блочность показывают туфолавы Армении (Артик, Сарнахпур).

Блочность мраморов ниже, чем у гранитов, и максимальные размеры мраморных блоков из карьеров СССР редко превышают 2—3 м по наибольшему измерению. При углублении карьеров блочность мраморов увеличивается сильнее, чем это имеет место у гранитов. Процент выхода блоков из горной массы в месторождениях мраморов СССР редко превышает 20—25%.

Кварциты еще менее блочны, чем мраморы, и опыта эксплуатации их в качестве облицовочного камня почти не имеется. Шокшинское месторождение красного кварцита в Карелии дает выход блоков 1—3% от горной массы, поэтому на облицовочный камень не разрабатывается. Отсюда добыты единичные крупные камни для памятников. В силу своей высокой твердости кварциты с трудом распиливаются на плиты.

Блочность известняков зависит в основном от мощности разрабатываемого пласта.

Это не значит, что области развития тектоники бесперспективны в отношении крупных месторождений блочного камня. Между участками, подвергшимися дроблению, где частая трещиноватость не позволяет получить крупных блоков, встречаются отдельные поля, характеризующиеся ненарушенностью или слабой нарушенностью пород. Классическим примером может служить район гор Кампинья на о-ве Куба, где рядом с измятыми и собранными в складки породами района Санта-Клара и складчатым массивом Эскамбрай залегает пологая мульда Кампинья, в ядре которой породы (красные мраморизованные известняки верхнего мела — маастрихта) лежит на поверхности равнины субгоризонтально и почти не нарушены альпийской складчатостью. Трещины здесь настолько редки, что, несмотря на хорошую обнаженность пробными карьерами, нам не представилось возможным набрать достаточное число замеров для составления круговых диаграмм.

При площади в несколько квадратных километров, хорошей доступности, высоким физико-механическим и декоративным свойствам и, как сказано, исключительной блочности месторождение это заслуживает самого пристального внимания. Это одно из важных минеральных богатств Кубы.

В эту же категорию, пожалуй, может быть отнесено уникальное, эксплуатирующееся более двух тысячелетий каррарское месторождение в Италии, представляющее собою мало нарушенное крыло антиклинальной складки в Апуанских Альпах. Здесь получают блоки белого просвечивающего мрамора любых

размеров, пригодного для облицовочных и статуарных работ. Благодаря своей монолитности и благородному цвету этот мрамор является основным скульптурным камнем в мировой практике. В этом же районе ведутся разработки цветных мраморов.

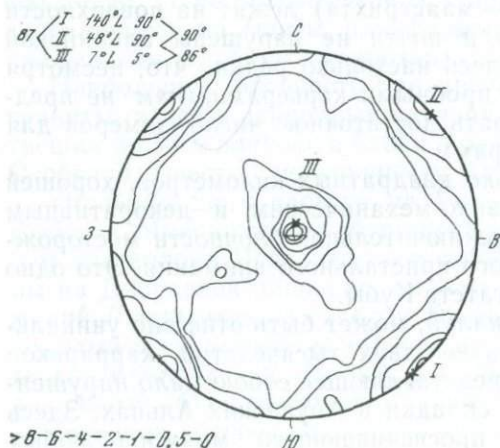
Опыта разработки песчаника для получения облицовочного камня у нас почти не имеется — разрабатываемые месторождения большей частью дают бутовый камень и щебень.

СВОДНЫЕ И СИНОПТИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ

Анализ диаграммы позволяет разобраться в характере трещиноватости отдельных карьеров или обнажений и сравнить их между собою. Если необходимо обобщить данные по нескольким близким по геологическому строению карьерам или месторождениям, то следует свести все данные в одну диаграмму, составив: 1) сводную или 2) синоптическую диаграмму. Первая составляется путем нанесения на одну диаграмму полюсов всех трещин, замеренных в большом районе, причем число замеров составляет иногда более тысячи. Примером может служить представленная на фиг. 28 диаграмма трещиноватости серых гранитов центральной части Украины, составленная нами.

Синоптическая диаграмма составляется путем сопоставления готовых диаграмм изучаемого района, причем за точки синоптической диаграммы принимаются центры максимумов частных диаграмм. Второй тип несколько нагляднее первого. Подобного вида диаграмма, составленная нами для центральной группы серых гранитов Украины, представлена на фиг. 29. Залитые тушью кружки показывают наиболее густые максимумы с плотностью выше 10%.

Анализ этой синоптической диаграммы дал очень интересные результаты: оказалось, что главные максимумы всех вошедших



Фиг. 28. Сводная диаграмма трещиноватости серых гранитов центральной части Украинского кристаллического массива (1900 замеров)

в нее частных диаграмм, снятых на довольно большом пространстве Украинского кристаллического массива, практически совпадают между собою, т. е. что трещины всех обследованных месторождений образовались под действием сил одного направления — одного плана деформации. Выяснилось отсутствие закономерностей в расположении пегматитовых и аплитовых жил, идентичность в расположении трещин свежих и выветрелых зон и другие особенности трещинной тектоники украинских гранитов.

ВЛИЯНИЕ ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ НА СВОЙСТВА ПОРОД

В процессе геологических исследований главных месторождений камня в СССР нами (Беликов, 1952) было замечено, что характер трещиноватости пород зависит от геологической позиции месторождений, причем выявилось два типа трещиноватости: трещиноватость камня месторождений щитов и платформ и трещиноватость подвижных зон. Эта закономерность не универсальна: в зонах тектонических подвижек в щитах встречаются породы с учащенной и беспорядочной трещиноватостью, и наоборот, в подвижных областях изредка встречаются отдельные участки пород с редкой трещиноватостью. В основном, однако, закономерность соблюдается: области щитов, в особенности Украинского щита, благоприятны для поисков крупноблочного камня (гранитов, габбро, лабрадоритов), в то время как в подвижных зонах крупная блочность появляется лишь эпизодически.

Не вдаваясь в вопросы генезиса трещиноватости и принимая ее в основном как тектоническую, попытаемся сравнить между собой морфологию диаграмм, отражающую степень тектонической нарушенности и, следовательно, в известной мере и степень изменения пород от влияния тектонических напряжений. Последнее сказывается, кроме того, в расшатывании структуры, следовательно, и в повышении пористости, а также понижении упругих и прочностных констант.

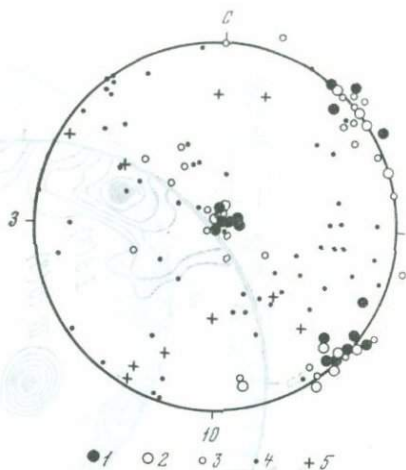
На фиг. 30 приводятся типичные круговые диаграммы трещиноватости горных пород нескольких месторождений гранитов Украинского щита. Диаграммы характеризуются высокой степенью упорядоченности — обычно в них не больше трех максимумов, очень плотных и расположенных под углами, близкими к 90° . Такая степень упорядоченности, неизвестная в других районах Советского Союза, определяет высокую блочность

Таблица 12
Зависимость свойств пород от истории их формирования

Порода	Щиты			Порода	Подвижные зоны		
	Регион	Пористость, %	Скорость волн, км сек ⁻¹		Регион	Пористость, %	Скорость волн v_D , км сек ⁻¹
Граниты докембрия	Балтийский щит	0,56	5,9	Огнейсованные гранитоиды докембрия Большого Кавказа	Южный склон	0,9	4,15
	Украинский щит	0,61	6,0	Граниты верхнего палеозоя (уллу-камский тип)	Северный склон	0,9	5,15
	Кристаллическое основание Добруджи (Румыния)	0,37	5,8	«Северные» крупнозернистые граниты верхнего палеозоя	Осева часть и северный склон Главного Кавказского хребта	1,0	5,0
Плагнограниты	Азовский выступ Украинского щита	0,39	6,2	Гранодиориты верхнего палеозоя	Северный Кавказ, Субгерцинская платформа	0,9	5,5
				Граниты верхнетретичные, неизмененные	Северный Кавказ, Эльджурта	2,6	5,2
Габбро	Балтийский щит	0,40	6,6	Габбро верхнего палеозоя	Северный Кавказ, Пятигорск	7,4	4,8
	Украинский щит	0,42	6,7		Моголтау, Таджикистан	0,94	6,1
Карбонатные породы верхнего палеозоя-мезозоя							
Покров Русской платформы (известняки, доломиты слабоаморфизованные)		14,69	4,6		Подвижные зоны (мраморы, мраморизованные известняки)	0,94	6,1

Фиг. 29. Синоптическая диаграмма серых гранитов центральной части Украинского кристаллического массива (по 15 карьерам).

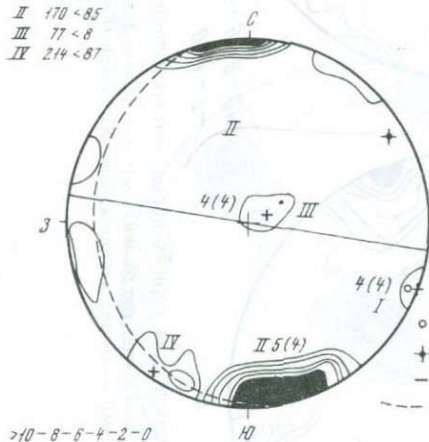
Центры максимумов: 1 — густых, 2 — размытых, 3 — второстепенных, 4 — пегматитовые жилы, 5 — шлиры



Фиг. 30. Типичные круговые диаграммы трещиноватости горных пород Украинского кристаллического щита

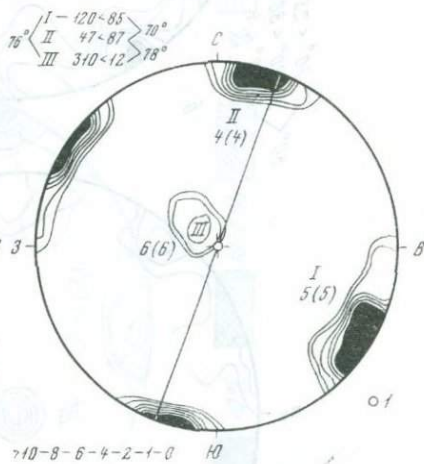
а — гранит карьера Ждилов (75 замеров): 1 — пегматитовые жилы, 2 — шлиры, 3 — плоскость наилучшего раскола, 4 — плоскостная ориентировка по биотиту; б — габбро Слипчицкого карьера (120 замеров): 1 — плоскость наилучшего раскола (совпадает с плоскостным параллелизмом), 2 — вертикальная делимость

I — 140 < 30
II 170 < 85
III 77 < 8
IV 214 < 87



а

I — 120 < 85
II 47 < 87
III 314 < 12

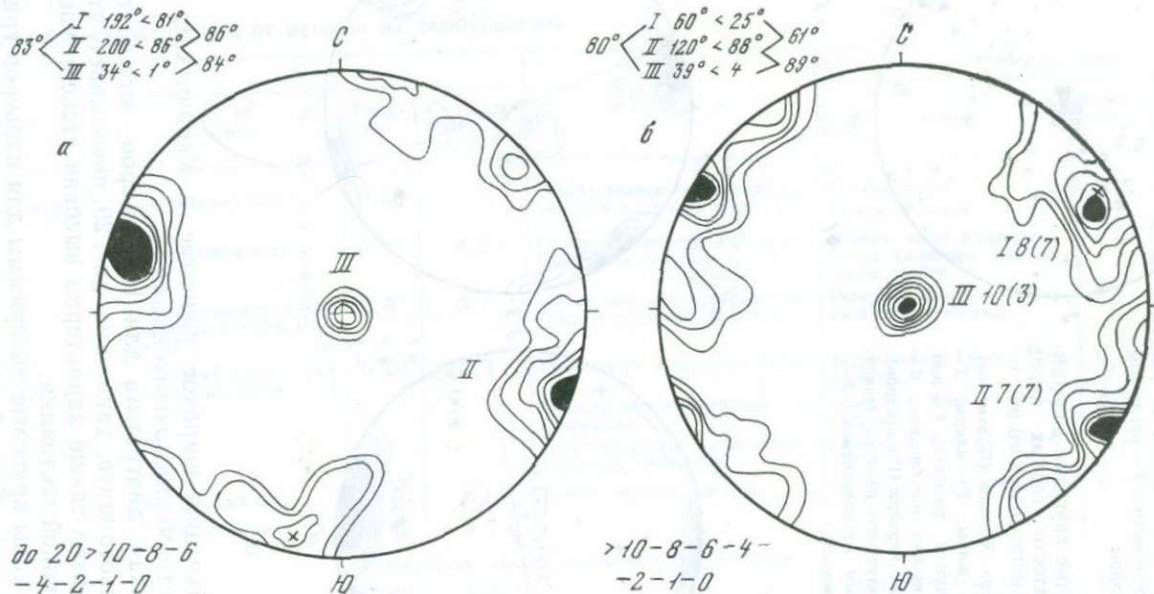


б

гранитов и объясняет широкое развитие в Украинском щите промышленности облицовочного камня.

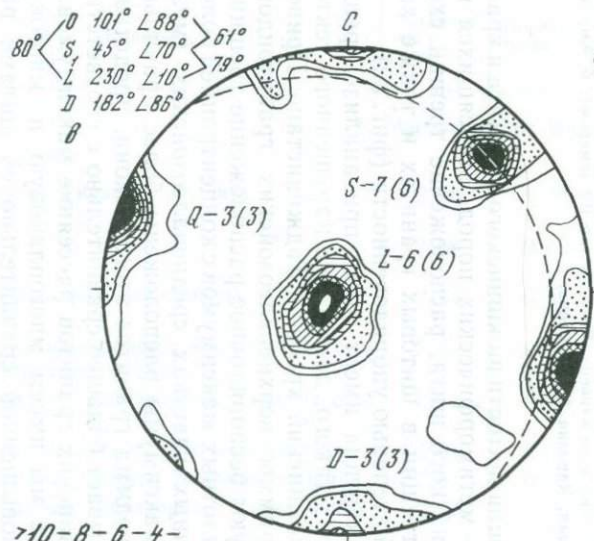
Синоптическая диаграмма для 15 карьеров юго-восточной части Украинского щита, данная на фиг. 29, показывает, что для всех этих гранитов также характерна высокая степень упорядоченности трещинной тектоники.

На фиг. 31 даны круговые диаграммы для карьеров гранитов юго-восточной части Балтийского щита, показывающие несколько меньшую, чем в Украинском щите, но все же довольно высокую степень упорядоченности в расположении трещин. На

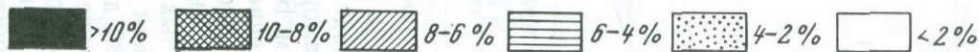
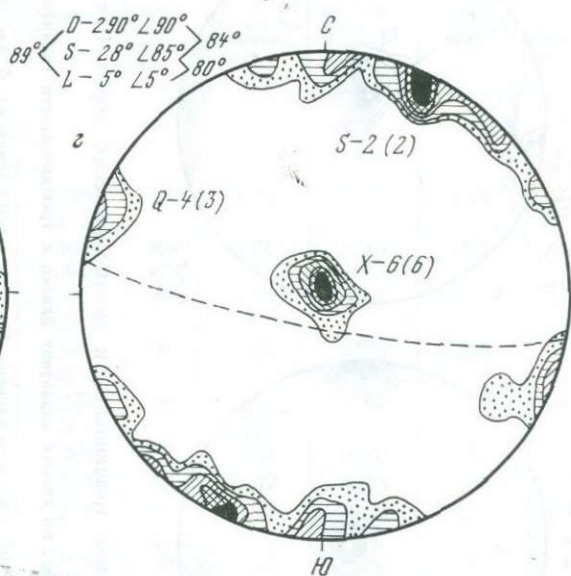


Фиг. 31. Диаграммы трещиноватости для горных пород юго-восточной части Балтийского щита

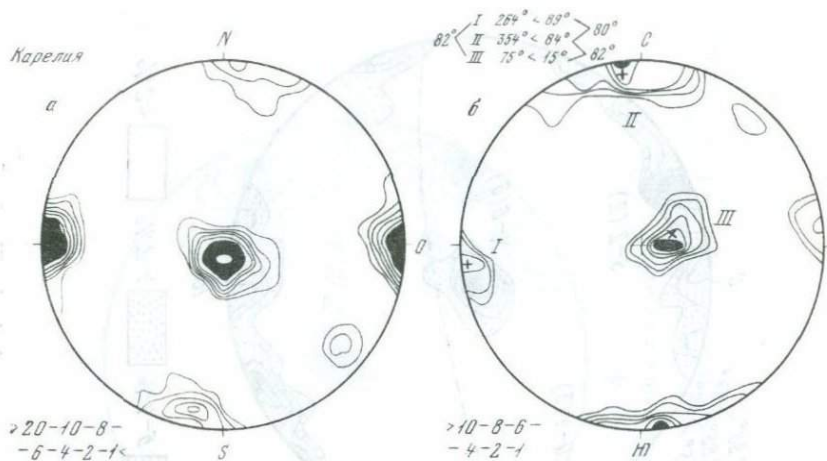
a — гранит, карьер на острове Тулолон-Саари (по 95 замерам); *б* — гранит, Зеленогорск (Антреа) (по 116 замерам); *в* — гранит, карьер Кашина Гора (по 170 замерам); *г* — гранит месторождения Кузнечное (Каралахти), забой № 2 (56 замеров, по Е. Н. Едовину)



>10-8-6-4-
 -2-1-0



Фиг. 31. (Окончание)



Фиг. 32. Диаграммы трещиноватости метаморфических пород Балтийского щита

Трещиноватость пород по своему характеру близка к трещиноватости гранитоидов того же района

а — кварцит Старого Шокшинского карьера, Карелия (по 102 замерам); б — мрамор Красногорского месторождения, Карелия (114 замеров)

диаграммах трещиноватости шокшинского кварцита и красногорского мрамора — метаморфических пород, относящихся к верхним слоям Балтийского щита, расположение трещин сходно с расположением трещин в щитовых гранитах и также характеризуется высокой степенью упорядоченности (фиг. 32).

Совершенно иная картина имеет место при анализе трещиноватости горных пород такого, достаточно нарушенного тектоникой региона, как Кураминский хребет в Таджикистане. Приводимые на фиг. 33 диаграммы верхнепалеозойских гранитоидов этой зоны характеризуют беспорядочное расположение трещин, почти не образующих плотных максимумов с концентрацией более 10%. Только в единичных участках среднепалеозойских (музбулакских) гранитов максимумы расположены более правильно. Синоптическая диаграмма гранитов этого района, представленная на фиг. 33, показывает большее сравнительно с соответствующей диаграммой украинских гранитов рассеяние максимумов. В Кураминском хребте мы имеем многоплановую и многократную деформацию с повышенной сравнительно со щитами раздробленностью гранитов.

В общем такую же картину представляют граниты Северного Кавказа и мраморы Грузии, Карпат и Крыма (фиг. 34).

Разная степень тектонической нарушенности пород, так наглядно иллюстрируемая приведенными диаграммами трещиноватости, очевидно должна сказаться и на физико-механических

Таблица 13

Усредненные физико-механические характеристики главных типов облицовочных камней СССР

Количество объектов	Породы	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость m , %	Прочность $R_{сж}$, кг·см ⁻²	Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-3}$, кг·см ⁻²	$E/R_{сж}$	Δ , % от среднего
I. Магматические породы									
1. Породы щитов									
17	Серые граниты Украинского щита	2,66	0,59	$\frac{1}{2680}$ $\frac{1}{2730}$	87	0,18	6,46	240	-6
3	Клёсовиты	2,66	0,40	$\frac{1}{3630}$ $\frac{1}{3620}$	94	0,20	8,14	225	-12
5	Красные мелкозернистые граниты	2,64	0,47	$\frac{1}{2810}$ $\frac{1}{2570}$	88	0,21	6,31	235	-9
8	Рапакиви и крупнозернистые трахитоидные граниты новоукраинского типа	2,65	0,81	$\frac{1}{2440}$ $\frac{1}{2470}$	90	0,18	6,03	245	-7
4	Среднезернистые гранодиориты Украинского щита	2,73	0,36	$\frac{1}{2650}$ $\frac{1}{2450}$	86	0,21	6,97	273	+7
5	Среднезернистые граниты Балтийского щита	2,67	0,41	2540	76	0,28	6,78	267	+7
2	Крупнозернистые граниты Балтийского щита	2,64	0,74	2270	88	0,13	6,73	297	+16
3	Крупнозернистые лабрадориты Украинского щита	2,77	0,40	2300	88	0,26	9,52	414	+13
5	Основные породы Украинского щита	2,92	0,32	$\frac{1}{3150}$ $\frac{1}{2610}$	89	0,43	10,56	367	0
5	Балтийского щита	3,22	0,35	3320	77	0,17	10,94	330	-10
2. Породы подвижных зон									
6	Палеозойские граниты Средней Азии	2,66	1,13	2460	82	0,28	6,43	262	+2
3	Верхнепалеозойские граниты Северного Кавказа	2,66	0,72	2040	65	0,20	4,19	206	-
3	Мезозойские граниты Закавказья	2,66	1,12	2330	85	0,31	6,14	264	+3

Таблица 13 (продолжение)

Классификация объектов	Породы	Объемный вес, ρ , г·см ⁻³	Пористость m , %	Прочность $R_{сж}$, кг·см ⁻²	Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга, $E \cdot 10^{-3}$, кг·см ⁻²	$E/R_{сж}$	Δ , % от среднего
I. Магматические породы									
2. Породы подвижных зон									
3	Третичные субинтрузивные гранитоиды Северного Кавказа	2,44	8,50	1830	69	0,20	4,49	245	-7
3	Третичные граниты Камчатки	2,69	0,77	2820	—	0,41	—	—	—
7	Монциты и гранодиориты Кавказа	2,79	0,84	2710	87	—	6,96	257	0
3	Основные и ультраосновные интрузивные породы Средней Азии	3,05	0,60	2830	79	—	10,08	356	-3
3. Эффузивные породы									
3	Андезиты Грузии	2,23	14,25	990	45	0,59	2,40	243	—
8	Туфы Кавказа	1,81	27,01	660	—	—	—	—	—
II. Осадочные и метаморфические породы									
1. Карбонатные породы									
12	Мраморы, окремненные, доломитовые, Балтийского щита	2,81	0,74	2720	50	0,97	8,74	321	—
24	Мраморы разных районов	2,72	0,52	1500	42	1,30	8,07	538	+6
3	Мраморизованные известняки палеозоя	2,70	1,10	1620	49	1,08	7,45	460	-10
9	Мраморизованные известняки мезозоя	2,68	1,03	1360	52	1,12	7,70	664	+11
20	Известняки покрова Русской платформы	2,33	11,72	1950 650	36	2,44	4,20	525	+3
3	Третичные пыльные известняки	1,83	29,85	280	22	4,58	1,29	461	-10

Таблица 13 (окончание)

Количество объектов	Породы	Объемный вес ρ , г/см ³	Пористость m , %	Прочность $R_{сж}$, кг/см ²	Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г/см ²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-3}$, кг/см ²	$E/R_{сж}$	Δ , % от среднего
II. Осадочные и метаморфические породы									
2. Кварцевые породы									
8	Кварциты докембрия	2,65	0,61	4050	92	0,23	7,64	189—	
3	Кварцито-песчаники	2,65	1,13	2510	85	0,22	6,73	268—	
2	Песчаники разных районов	2,10	14,58	640	—	—	—	—	

свойствах. Для иллюстрации этого положения приводим сравнительную таблицу средних физико-механических свойств пород щитов и подвижных зон, составленную по имеющимся в лаборатории материалам (табл. 12).

Определение упругих свойств, например скоростей, позволяет произвести сравнение горных пород одинакового минерального состава, но разной истории формирования.

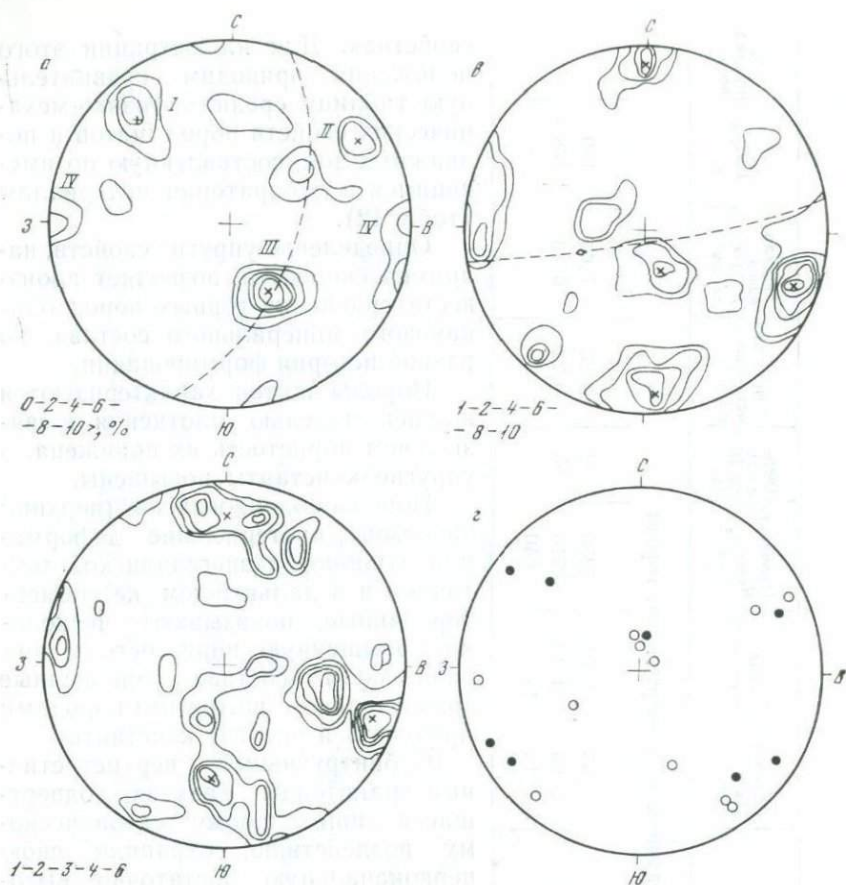
Породы щитов характеризуются высшей степенью уплотнения, в связи с чем пористость их понижена, а упругие константы повышены.

Породы подвижных зон (верхний палеозой), претерпевшие деформации в период познегерцинской тектоники и в дальнейшем не сцементированные, показывают несколько повышенную пористость и при одинаковом составе пониженные сравнительно с щитовыми породами прочность и упругие константы.

Субинтрузивные верхнетретичные гранитоиды Кавказа, подвергшиеся лишь слабому тектоническому воздействию, сохранили свою первоначальную достаточно высокую пористость, определяющую понижение их физико-механических свойств.

Сравнение карбонатных пород покрова Русской платформы, почти не подвергавшихся тектонике, с карбонатными же породами из подвижных зон показывает влияние истории формирования особенно выпукло: средняя пористость с 14,7% падает до 1%, соответственно скорости распространения упругих волн растут с 4,5 до 6,0 км/сек. Такие же соотношения показывают и параметры прочности на сжатие (см. табл. 13 и приложение I).

Количество примеров, иллюстрирующих влияние истории формиро-

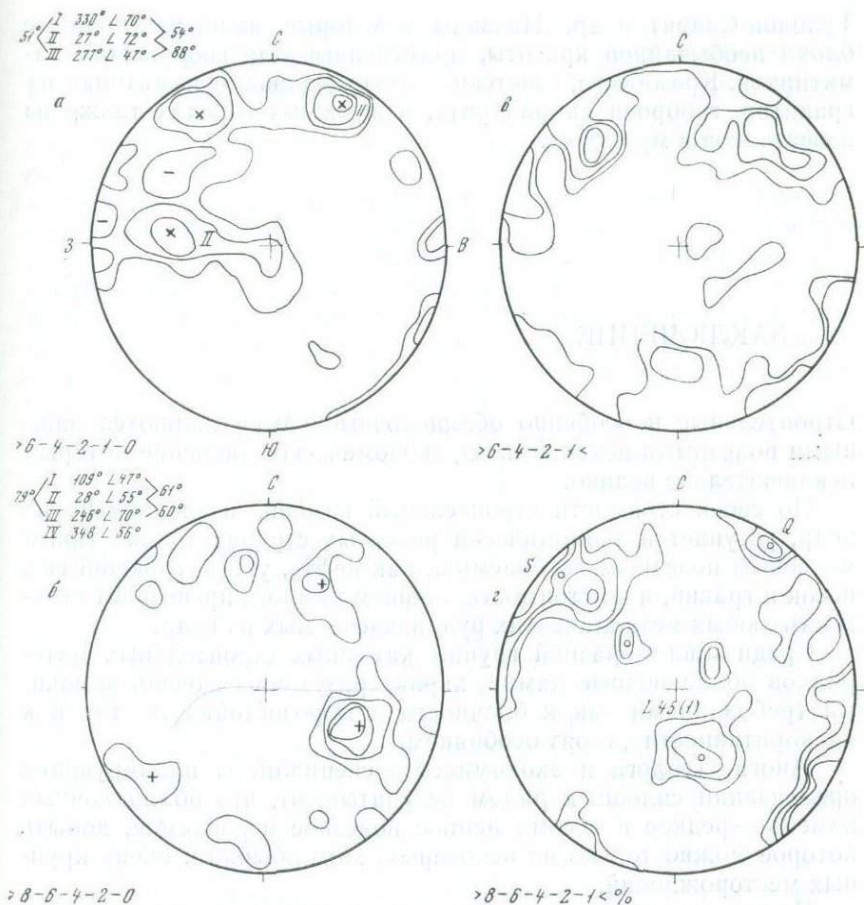


Фиг. 33. Диаграммы трещиноватости пород Кураминского хребта, Таджикистан

а — музбекский гранодиорит, карьер против Ленинабада (200 замеров); *б* — музбулакский гранит, восточный конец массива (226 замеров); *в* — гранодиорит кураминского типа, обнажение между Табшарам и Канджолом; *г* — синоптическая диаграмма по гранитам Чорух-Дайронской группы

вания региона на физико-механические свойства слагающих его пород, можно было бы умножить, но и приведенных материалов достаточно, чтобы показать важность учета общей геологии при оценке перспектив распространения месторождений облицовочного камня. Таким образом, при использовании пород в качестве облицовочного камня или при проектировании геологоразведочных работ должны учитываться геологические позиции месторождения, его тектоника и история его формирования.

Упорядоченная и редкая трещиноватость гранитов и габброидов Украинского и Балтийского щитов позволяет получать здесь



Фиг. 34. Диаграммы трещиноватости горных пород подвижных областей

а — гранит месторождения Гумишта (Абхазия); обнажение в 100 м ниже шоссе (208 замеров); минимум показан знаком «минус»; *б* — мрамор месторождения Лопота (Грузия), карьеры № 10 и 12 (190 замеров); *в* — мраморизованный известняк, Биук-Янкойское месторождение в Крыму (100 замеров). Выветрелая зона, правый карьер (по Ю. В. Семенову); *г* — мрамор месторождения Деловое (Требушаны), Закарпатье (по 184 замерам)

блоки весьма значительных размеров. Примером использования пород Украины могут служить мавзолей В. И. Ленина, памятник Карлу Марксу в Москве, памятник В. И. Ленину у завода Ильича, памятник молодогвардейцам в Краснодаре, памятники Ватутину и Щорсу в Киеве и др.

Из пород Балтийского щита сооружены в Ленинграде Александровская колонна и пьедестал памятника Медного всадника (рапакиви), атланты при входе в Эрмитаж (гранит острова

Туллон-Саари) и др. Названы некоторые наиболее крупные блоки необычайной красоты, примененные для сооружения памятников. Кроме того, советские города украшают памятники из гранитов, габбро и лабрадорита, а в южных городах также из известняков и мраморов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строительные и особенно облицовочные камни являются важными полезными ископаемыми, экономическое значение которых исключительно велико.

По своей стоимости строительный камень, извлекаемый из недр, уступает в экономически развитых странах только таким массовым полезным ископаемым, как нефть, уголь, горячий газ, песок и гравий, и по стоимости в общем намного превышает стоимость любых металлических руд, извлекаемых из недр.

Среди многообразной группы каменных строительных материалов облицовочные камни, характеризующиеся очень высокими требованиями как к блочности и морозостойкости, так и к «декоративности», стоят особняком.

Многие геологи и экономисты — специалисты планирующих организаций сплошь и рядом не учитывают, что облицовочный камень — редкое и весьма ценное полезное ископаемое, добыть которое можно только из некоторых, хотя обычно и очень крупных месторождений.

Между тем облицовочный камень, особенно камень высокой декоративности, является объектом широкой международной торговли, что в силу редкости его и высокой цены вполне оправдано.

Месторождения облицовочного камня — сырья, отвечающего целому ряду жестких условий и сравнительно редкого — требуют к себе весьма бережного отношения. Очень внимательно, в частности, следует относиться к сохранению монолитности камня в карьере; ни в коем случае не следует допускать возникновения дополнительной трещиноватости в массиве за счет взрывов, снижающей его монолитность. Один случайный или допущенный по незнанию массовый взрыв в карьере облицовочного камня, как показали опыты, портит месторождение на глубину многих метров, иначе говоря, полностью выводит из строя целый участок месторождения, поскольку последующая очистка — выемка такой массы камня безвзрывными методами — требует больших, совершенно непроизводительных расходов.

Отсутствием бережного отношения к карьерам облицовочного и штучного камня, видимо, в значительной мере и объясняются резкий дефицит кондиционных блоков и трудности организации их экспорта. Ресурсы облицовочного камня распространены на территории Советского Союза широко, но неравномерно: наиболее высококачественные граниты, габбро и анортозиты приурочены к докембрийским щитам, причем месторождения Украинского щита представляют наибольшую ценность по ассортименту расцветок, высоким декоративным свойствам и блочности. Последняя обусловлена очень правильно расположенной системой трещин с преобладанием трех направлений — двух вертикальных, под углом, близким к прямому, и одного горизонтального.

На втором месте стоит юго-восточная часть Балтийского щита (Карелия, Ленинградская область), где развиты породы того же в общем ассортимента, но с менее правильной системой трещин (см. фиг. 32). Некоторые месторождения разрабатываются и в интрузиях подвижных зон, таких как Урал, Кавказ и Казахстан.

К щитам приурочено небольшое число месторождений мраморов (обычно доломитовых).

Главные месторождения мраморов и мраморизованных известняков относятся к более молодым фанерозойским образованиям преимущественно подвижных зон — Уралу, Кавказу, Западной и Восточной Сибири. К палеозою приурочены главным образом кристаллические мраморы и мраморизованные известняки, к мезозою — мраморизованные известняки. Обе категории характеризуются обычно неупорядоченной трещиноватостью и значительно меньшей блочностью, чем породы щитов, но большим разнообразием расцветок.

Кварциты приурочены главным образом к верхним горизонтам щитов, песчаники — как к докембрию щитов, так и к фанерозою и до третичных отложений включительно.

К сожалению, две последние группы пород применяются редко: кварциты — ввиду трудности механизированной обработки, песчаники — ввиду недостаточной, во многих случаях, морозостойкости.

Мраморные породы и известняки в районах северной и средней полосы рекомендуются главным образом для внутренних облицовочных работ, для внешних же облицовок — они могут применяться лишь в южных городах.

С целью расширения ассортимента материалов для внутренних облицовок следует учитывать возможность применения мягких пород типа алебастрового и ангидритового камня, а также различных травертиновых и кальцитовых натеков. Опыт Западной Украины, в частности Львова, где во внешних облицовках зданий широко использован травертин, а во внутренних отделках многих общественных зданий применен естественный гипсовый камень с очень красивой полированной поверхностью, позво-

ляет обратить внимание на большую перспективность использования мягкого камня. Ресурсы этих материалов в Приуралье и на севере Европейской части СССР практически пока не изучены. Полезно также расширить применение некоторых армянских туфолов как облицовочного материала. Они весьма декоративны и достаточно погодоустойчивы, даже в условиях внешней службы в московских зданиях. Большим преимуществом их является способность принимать тонкую резьбу, чем охотно пользовались и пользуются армянские и грузинские мастера.

Менее устойчивые в климатическом отношении, чем туфолавы, вулканические туфы, также характеризующиеся разнообразием расцветок, развиты во многих районах Армении и Грузии, где из них сооружены старинные дворцы и храмы с тонкой резьбой по камню (Серебряков, 1974).

В последнее время, как указано выше, широкое распространение получило применение травертина. Это известковая порода палевого цвета с совершенно своеобразной «струйчатой» или ситовидной структурой дает весьма декоративные плиты при условии правильной вырезки блока и ориентировки «слоистости». Пока добывается и применяется травертин из Шахтахтинского месторождения в Азербайджане с пористостью 10—20% и прочностью до $480 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$. Материал этот средне морозостоек и, судя по данным испытаний, может применяться в некоторых открытых внешних облицовках.

В последнее время палитра советских облицовочных изделий пополнилась зеленым камнем — серпентинитом, пригодным для внутренних облицовок. Однако блочность его очень мала, и в этом отношении советские серпентиниты не могут соперничать с характеризующимися значительной блочностью серпентинитами Кубы (Петров и др., 1973).

В общем Советский Союз располагает огромными запасами облицовочных камней разнообразных расцветок и различной климатической устойчивости. Сравнительно недавно вышел в свет альбом облицовочных камней СССР, составленный Г. К. Митрофановым и И. А. Шпановым (1970), который, безусловно, будет полезен специалистам строителям. Многие месторождения облицовочного камня описаны в монографии Розанова, Соловьева и Терскова (1941), свойства даны в таблицах Беликова «Главнейшие месторождения декоративного камня в СССР» (1952), в отдельных сводках по регионам (Литвинов и Солонинко, 1950; Борисов, 1963), в книге М. Б. Григоровича (1970) в богато иллюстрированной монографии «Цветные камни Украины» (1974) и во многих других региональных описаниях.

Поиски новых месторождений облицовочного камня как высокой, так и малой климатической устойчивости потребуют больших геологических и лабораторных работ, причем в первую очередь необходимо оценивать трещиноватость и блочность камня, его пористость, прочность, твердость, истираемость. Выше мы

попытались кратко изложить методы, которыми следует пользоваться при определении этих свойств горных пород.

Отличительной особенностью исследования месторождений строительных и облицовочных камней является необходимость проведения физико-механических испытаний.

Последние дают цифровой материал временами противоречивый, поэтому требуют дополнительного анализа и микроскопического исследования особенностей пород, определяющих их технические свойства: микротрещиноватости, состояния породообразующих минералов, структуры и текстуры. В частности, большое значение имеет характер слоистости или сланцеватости. Планпараллельное расположение минералов, например слюды, определяет анизотропию физических свойств — разные показатели прочности и упругости в разных направлениях. Изменение прочности пород перпендикулярно и параллельно слоистости исследовалось неоднократно, причем прочность перпендикулярно слоистости оказывалась обычно выше, чем в других направлениях. Имеет, однако место и обратная зависимость, особенно в магматических породах, что объясняется анизотропией свойств минералов.

Видимая слоистость должна учитываться при добыче и особенно при распиловке блоков, так как рисунок полированного камня может получиться совершенно различным в зависимости от отношения плоскости разреза к слоистости. При службе камня в сооружениях слоистость также должна учитываться. Так, блоки осадочных пород, установленные слоистостью параллельно поверхности стены, часто имеют тенденцию к преждевременному шелушению и отслаиванию. При дроблении пород слоистость сказывается на форме щебенки — появляется «лещадность» (отход от изометрической формы), против чего должны приниматься специальные меры технологического характера.

Понятно, что во всех таких нестандартных случаях методика испытаний должна применяться особая — усложненная и более точная.

Предложенные выше методики и отвечают этим требованиям, но не всегда совпадают с методами, приводимыми в стандартах. Они характеризуются большей длительностью и полнотой цикла испытаний, поэтому дают более исчерпывающую характеристику свойств пород (см. пористость, влагонасыщение, проницаемость, упругость и др.), необходимую лишь в некоторых случаях для решения сложных геолого-технических и методических вопросов. В обычных случаях рекомендуется пользоваться стандартами на соответствующие виды испытаний, лишь дополняя их в случае надобности одним из предлагаемых методов.

Во всех случаях необходимо иметь в виду, что ответственным за предлагаемые на рассмотрение ГКЗ цифры испытаний в конечном счете является автор отчета о разведке, поэтому к

результатам испытаний, поступающим из лаборатории, он должен относиться критически.

С этих позиций интерес представляют предлагаемые таблицы физико-механических свойств горных пород, вынесенные в Приложение.

Они, безусловно, не охватывают все виды облицовочных камней Советского Союза, но дают достаточно полную характеристику типовых разностей из наиболее крупных регионов добычи камня.

Огромный цифровой материал, содержащийся в общих таблицах, трудно обозрим, поэтому в табл. 13 дается сводка усредненных значений параметров физико-механических свойств по петрографическим группам.

Эта таблица, содержащая средние характеристики свежих облицовочных камней, позволяет составить довольно точное представление о свойствах неизменной горной породы из петрографических данных: минерального состава, структурных особенностей и таких быстро определяемых констант, как пористость или объемный вес.

Из этой таблицы можно сделать некоторые методические выводы:

1. По-видимому, наиболее высокими показателями физико-механических свойств характеризуются интрузивные породы щитов (они же имеют и наивысшую блочность). Породы эти (граниты, габбро и лабрадориты, иногда кварциты) отличаются высокой морозостойкостью и декоративностью, поэтому наиболее перспективны как камни для внешних облицовочных работ.

2. Прочностные и упругие свойства связаны функционально с минеральным составом: при одинаковой пористости наиболее прочными являются породы, содержащие в значительном количестве кварц — кварциты, граниты; наиболее упругими (высокие модули Юнга) являются породы, содержащие темноцветные минералы (пироксены, оливины) — габбро, диабазы.

3. Повышение пористости, как правило, ведет к понижению как прочностных, так и упругих констант.

4. Имеет значение история формирования породы. Так, фанерозойские породы, пережившие особенно мощный тектогенез и не перекристаллизованные в дальнейшем, характеризуются резко пониженными механическими свойствами и не укладываются в рамки общих закономерностей, видимо, вследствие нарушения внутренней структуры как минералов, так и породы. Пример: верхнепалеозойские граниты Главного Кавказского хребта.

Следует остановиться на соотношениях констант. Поскольку в последнее время появились тенденции к замене определений трудоемких прочностных констант константами упругости, то в последней графе таблицы дан расчет их соотношений. Это отношение колеблется в довольно широких пределах, однако, подходя

с позиций петрографии, его можно уложить в достаточно определенные рамки.

Очевидно, это соотношение определяется свойствами минералов: а) большими значениями прочности и средними значениями модуля Юнга для кварца; б) малой прочностью и средним модулем Юнга для кальцита; в) высокими модулями Юнга для темноцветных минералов.

Поскольку соотношения упругости и прочности для одинаковых по составу пород близки между собой, представляется рациональным соединить их в группы. Полученные групповые значения E/σ (назовем их переводными коэффициентами):

Кварциты	190	Мраморы и известняки	510
Кварцитопесчаники	270	Гранитоиды	260
Окварцованные доломиты	320	Основные породы	370

Первые четыре цифры показывают рост переходного коэффициента от чисто кварцевых пород к чисто кальцитовым за счет уменьшения прочности с убыванием процента кварца. Две последние цифры позволяют сравнить кислые, богатые кварцем, и основные, богатые темноцветными породы: больший переводной коэффициент последней группы определяется высокими значениями модулей Юнга темноцветных минералов.

Приводимые коэффициенты, базирующиеся на разном числе испытанных пород, имеют разную, иногда невысокую достоверную ценность. На них можно опираться только для ориентировочных подсчетов прочности по имеющимся упругим константам.

Приведенные в таблицах данные по прочностным свойствам горных пород представляют большую ценность как параметры, полученные одними методами в одной лаборатории при соблюдении всех условий испытания, обуславливающих высокую точность измерения. Особое внимание обращалось на свежесть (невыветрелость) проб для испытания. Внимательно проверялась параллельность, ровность и тщательность подготовки рабочих плоскостей образцов, что позволило избежать занижения цифр прочности от неполного контакта с плитами пресса и получить минимальный разброс отдельных цифр.

Соблюдение последнего условия чрезвычайно важно. Заниженные цифры прочности пород на сжатие, получаемые обычно в отраслевых лабораториях, в значительной, если не в решающей степени объясняются именно недостаточной доводкой рабочих плоскостей как кубиков для испытания, так и прокладок. Доводка должна производиться вручную на свежепроточенных шлифовальных планшайбах или стеклянных пластинах.

То же касается и других констант, в частности, эффективной пористости, которая определялась путем полного принудительного влагонасыщения и контролировалась (в некоторых

случаях) истинной пористостью, получаемой из разности удельного и объемного весов. За исключением некоторых пород со специфическими структурами (мандельштейновой, оолитовой и др.) совпадение получалось достаточным, хотя истинная пористость обычно на несколько процентов выше эффективной. Упругие константы, поскольку они предназначаются для использования в строительных целях, определялись главным образом статическим методом, т. е. путем измерения деформаций при сжатии до $1/2$ прочности. Динамические константы не приводятся, они обычно на несколько процентов выше статических.

В заключение несколько слов о применении каменных облицовок.

Существующие представления о дороговизне каменных одежд зданий необходимо пересмотреть, ведь каменная облицовка, хорошо обработанная и правильно установленная служит долгие годы без капитального ремонта, что нельзя сказать об искусственных материалах.

Современная техника обработки, в особенности применение алмазного инструмента, позволяют в значительной степени механизировать добычу блоков и заводскую их обработку, что значительно удешевляет стоимость плит, а следовательно, и каменной одежды сооружений.

Уместно сослаться на мнение академика А. В. Сидоренко. В предисловии к альбому Г. К. Митрофанова и И. А. Шпанова (1970) он пишет: «При применении прогрессивной камнеобрабатывающей техники природный камень, несомненно, будет дешевым, массовым материалом, вполне конкурентоспособным с другими строительными материалами даже при современном сборном индустриальном строительстве».

Для этого нужны усилия как промышленных министерств, так и научных учреждений в направлении переоборудования карьеров и заводов современной техникой добычи и обработки камня.

Некоторые шаги в этом направлении уже сделаны. Так, следует обратить внимание на работы группы А. М. Орлова (А. М. Орлов, В. А. Осколков, Е. К. Попова и др.) по применению для облицовок тонких (6—10 мм) плит, армированных на бетонных панелях, на успехи И. С. Солонинко по внедрению в промышленность карпатских мраморов, работы группы З. А. Ацагорцяна по применению эффузивных пород Армении и др.

Необходимо также подумать о консервации и реставрации старинных каменных одежд сооружений в центральной части РСФСР (в районах так называемого белокаменного строительства), на Западной Украине, в Армении, Грузии, Узбекистане и многих других районах страны. Здесь мероприятия по охране памятников старины должны базироваться прежде всего на понимании петрографии камня, его физических свойств и учета

безопасности старения облицовочного материала. Важно не допустить такого состояния каменной облицовки, когда изменения камня станут необратимыми.

Необходимо, кроме того, перевооружение каменнодобывающей промышленности, увеличение производительности труда и расширение научных, исследовательских работ по изучению строительного и облицовочного камня.

При этих условиях природный камень, которым так богата наша необъятная родина, найдет более широкое применение как внутри страны, так и на международном рынке.

Предлагаемая вниманию читателей монография, разбирающая, в отличие от ранее опубликованных работ, все стороны исследования месторождений облицовочных камней является первым опытом такого рода и, вероятно, содержит ряд недостатков. Авторы будут благодарны за замечания и предложения читателей.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблицы физико-механических констант горных пород

В процессе многолетних работ по изучению и испытанию горных пород как строительных и облицовочных камней, в Лаборатории исследований физико-механических свойств горных пород ИГЕМ АН СССР собран огромный фактический материал. Образцы доставляли и испытывали в разное время сотрудники лаборатории (Б. В. Залесский, А. И. Корсунский, А. А. Флоренский, К. П. Флоренский, Е. К. Устиев, Г. Д. Афанасьев, В. Я. Степанов, Ю. А. Розанов, К. С. Гоциридзе, И. П. Тимченко, авторы настоящей работы и др.), однако руководство испытаниями бесценно находилось в руках профессора Б. В. Залесского.

Полученные данные, основанные на испытаниях, проведенных с максимальной тщательностью одними и теми же методами, в одной лаборатории представляют собой большую ценность. Материал в таблицах собран по геолого-петрографическому признаку, определяющему петрофизическое направление предлагаемой работы. Только с позиций геологии — истории формирования породы, приводящей к определенному составу и обусловившей определенную структуру породы, а следовательно, и структуру порового ее пространства — могут быть поняты многие особенности физико-механических свойств, таких, как пористость, упругость, прочность и др. Всякие сравнения свойств между собой и установление зависимостей так же, как и рассмотрение вопросов долговечности и климатической устойчивости, могут базироваться лишь на данных петрофизики, т. е. анализе механических свойств с позиций геологической истории их формирования и дальнейших изменений под влиянием диагенеза, тектоники, а иногда и магматизма. Все эти явления должны рассматриваться в совокупности, и сравнение их именно с петрографических позиций позволяет делать наиболее обоснованные выводы.

В приведенных таблицах петрографического описания пород не дается, но геология и петрография заложены в классификации и названиях пород, все определения которых сделаны на основе микроскопических исследований.

Данные таблиц могут быть использованы не только в материаловедении, но и в геофизике (плотность, упругость), и в инженерной геологии, например при составлении инженерно-геологических карт (Каменов, Иллев, 1963).

Расположение материала в таблицах подчинено геологии.

В таблицах даны объемный вес (ρ), эффективная пористость (m), полученная путем умножения принудительного влагонасыщения на объемный вес, сопротивление сжатию в трех состояниях для некоторых пород, в той же гра-

фе, также сопротивление изгибу и разрыву (в восьмерках), твердость по Шору (в единицах Шора), потеря при истирании на круге Дорри и статические упругие константы — модуль деформируемости (E_1) и модуль упругости (E). В случае близкого их совпадения приводится одна константа. Большинство упругих констант определено статическим методом при помощи электротензометров, реже зеркальным прибором Мартенса.

Некоторые породы испытаны перпендикулярно и параллельно слоистости, на что указывают соответствующие индексы (\perp , \parallel).

Не для всех пород дан одинаковый набор констант, что объясняется разновременностью и разной целенаправленностью испытаний.

Особенно много параметров было получено в итоге многолетней творческой работы лаборантов Е. А. Саниной, З. Г. Хаустовой и Е. Д. Боруновой, а также научных сотрудников Д. К. Спасской и Н. П. Розен. Параметры, приводимые в таблицах, представляют результат коллективного творчества сотрудников лаборатории ИГЕМ АН СССР, и им наравне со всеми товарищами, поделившимися с нами каменным материалом, считаем своим долгом выразить благодарность.

Порода	Модуль деформируемости E_1	Модуль упругости E	Твердость по Шору	Потеря при истирании на круге Дорри	Сопротивление изгибу и разрыву (в восьмерках)	Твердость по Шору	Потеря при истирании на круге Дорри	Сопротивление изгибу и разрыву (в восьмерках)	Модуль деформируемости E_1	Модуль упругости E	Твердость по Шору	Потеря при истирании на круге Дорри	Сопротивление изгибу и разрыву (в восьмерках)	Индекс		
														\perp	\parallel	
Сланец	15250	31850	3080	0,50	0,50	3080	0,50	0,50	15250	31850	3080	0,50	0,50	3080	0,50	0,50
Сланец	13130	28300	2930	0,45	0,45	2930	0,45	0,45	13130	28300	2930	0,45	0,45	2930	0,45	0,45
Сланец	11500	24500	2650	0,40	0,40	2650	0,40	0,40	11500	24500	2650	0,40	0,40	2650	0,40	0,40
Сланец	10500	22500	2550	0,35	0,35	2550	0,35	0,35	10500	22500	2550	0,35	0,35	2550	0,35	0,35
Сланец	9500	20500	2450	0,30	0,30	2450	0,30	0,30	9500	20500	2450	0,30	0,30	2450	0,30	0,30
Сланец	8500	18500	2350	0,25	0,25	2350	0,25	0,25	8500	18500	2350	0,25	0,25	2350	0,25	0,25
Сланец	7500	16500	2250	0,20	0,20	2250	0,20	0,20	7500	16500	2250	0,20	0,20	2250	0,20	0,20
Сланец	6500	14500	2150	0,15	0,15	2150	0,15	0,15	6500	14500	2150	0,15	0,15	2150	0,15	0,15
Сланец	5500	12500	2050	0,10	0,10	2050	0,10	0,10	5500	12500	2050	0,10	0,10	2050	0,10	0,10
Сланец	4500	10500	1950	0,05	0,05	1950	0,05	0,05	4500	10500	1950	0,05	0,05	1950	0,05	0,05
Сланец	3500	8500	1850	0,00	0,00	1850	0,00	0,00	3500	8500	1850	0,00	0,00	1850	0,00	0,00

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-3}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости

I. МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

A. Интрузивные породы

1. Щиты

а. Украинский щит

Гранитоиды

Обогащенный биотитом и гранатом огнейсованный гранит, Жежелевский карьер близ г. Винницы	2,740	0,31	\perp 2170 1940	1840	1780	80	0,28	6,94	0,85	0,82
Гранит светло-серый с гранатом, карьер близ г. Браилов	2,63	0,50	\perp 3120 3270	2820	2720	97	0,17	7,41	0,93	0,87
Чарнокит темно-серый, мелкозернистый, карьер Русановцы, близ г. Хмельницкого	2,669	0,20	3010	2630	2830	90	0,15	7,94	0,87	0,94
Гранит зеленовато-серый, мелкозернистый, карьер Крошня, близ г. Житомира	2,66	0,69	2840 Разрыв 121	2520	2690	91	0,20	6,67	6,89	0,95
Гранит светло-серый, карьер Новоромановка, восточнее г. Новоград-Вольнска	2,64	0,50	\perp 3040 3130	2620	2760	94	0,18	5,65	0,86	0,97
Гранит бурый, Александровский карьер	2,63	0,50	\perp 2780 2820 Разрыв 45	2690	2640	89	0,13	6,34	0,97	0,77

Гранит серый, карьер Каменная Могила, у с. Салтычая	2,68	0,64	2390	2150	1960	81	0,16	6,00	0,90	0,76
Гранит светло-серый, карьер г. Богуслав	2,630	0,73	\perp 2210 2150	2030	2010	86	0,25	E_{\perp} 6,67 $E_{ }$ 7,22	0,99	0,91
Гранит серый, среднезернистый, карьер Старые Бабаны, г. Умань	2,64	0,73	\perp 2540 2320	2120	2140	82	0,24	E_{\perp} 5,68 $E_{ }$ 5,92	0,83	0,84
Гранит серый, Янцевский карьер	2,64	0,45	3380 Изгиб 257 Разрыв 94 Скальвание 163	3220	3280	83	0,17	5,0 5,71	0,95	0,97
Гранит буроватый, Натальевский карьер близ г. Запорожья	2,633	0,67	\perp 3020 2880 Разрыв 51	2990	2630	89	0,14	6,71 5,33	0,92	0,87
Гранит порфиридный, Коростышевский карьер	2,650	0,72	2440 2410 Разрыв 61	2090	2080	85	0,15	E_{\perp} 5,84 $E_{ }$ 6,45 E_{\perp} 5,76	0,86	0,85
Гранит равномернозернистый, карьер Коростышевский	2,661	0,47	2730	2290	1700	89	0,17	6,98	0,84	0,62
Гранит порфиридный, серый, Подгороднянский карьер	2,633	0,44	\perp 2680 2770 Разрыв 89	2450	2440	82	0,14	E_{\perp} 5,10 $E_{ }$ 5,26 E_{\perp} 7,58 $E_{ }$ 7,86	0,91	0,91
Серый гранит с крупными вкрапленниками розового полевого шпата, карьер Корнин, близ г. Житомира	2,711	0,63	1990 Разрыв 44 2300	1650	1730	82	0,48	5,50	0,83	0,87
Гранит крупнозернистый, розово-серый, карьер Ольшаница, Киевская область	2,647	0,79	2410 Разрыв 55	1640	1990	92	0,23	E_{\perp} 6,03 $E_{ }$ 6,20	0,72	0,87

Таблица (продолжение)

112

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости
Гранит мелкозернистый, обогащенный кварцем (клёсовец, карьер Заверечье, восточнее г. Клёсова)	2,67	0,43	3770 3620	3590	3190	99	0,13	8,55	0,95	0,84
То же, Клёсовский (бывший Воинский) карьер № 1, у г. Клёсова	2,63	0,41	3410 3610	3370	3220	97	0,18	8,02	0,98	0,94
То же, Клёсовское месторождение	2,69	0,37	3720	3510	3340	85	0,29	7,85	0,94	0,90
Гранит розово-красный среднезернистый, Токовское месторождение, карьер № 3	2,641	0,65	2730 Изгиб 96 Разрыв 65	2570	2360	96	0,33	6,20	0,96	0,97
Гранит красный, карьер Яма, там же	2,633	0,46	3010 Разрыв 63	2650 73	2890	84	0,12	6,70	0,88	0,96
Гранит лилово-красный, карьер № 1, там же	2,636	0,53	2480 2600 Разрыв 77	2430 45	2500	84	0,21	5,95	0,93	0,96
Гранит красный, Лезниковский карьер	2,623	0,54	2700 Разрыв 52	2430	2510	87	0,21	\perp 6,17 \parallel 6,82	0,90	0,93
Гранит красный, севернее с. Перга (близ Олевска)	2,65	0,18	2810 2490	2310	2660	91	0,20	E_1 6,04 E 6,52	0,82	0,94
Гранит красный, крупнозернистый, карьер Ореховские Хутора	2,67	0,96	\perp 2530 \parallel 2730	2160	2390	90	0,07	E_1 5,08 E 5,26	0,85	0,94

113

То же, нижняя часть карьера	2,67	0,98	\parallel 2370 \perp 2390	2040	2350	90	0,08	$\parallel E_1$ 8,02 $\perp E_1$ 4,92 $\perp E$ 5,14	0,85	0,98
То же (керна), глубина 45—49 м	2,61	0,63	\perp 2400 \parallel 2500	2180	2050	84	0,07	5,97	0,91	0,85
Гранит, месторождение Капустинка, близ Ново-Украинки	2,68	1,22	\perp 2000 \parallel 1950	1470	1690	82	0,31	6,97	0,74	0,84
Гранит красно-серый, порфировидный, Ново-Даниловский карьер	2,626	0,77	\perp 2410 \parallel 2590 Разрыв 38	2200 47	2420	87	0,33	$\perp E_1$ 5,71 $\parallel E$ 5,99	0,91	0,83
Гранит красный, рапакиви-образный, Емельяновский карьер, близ г. Коростень	2,656	0,52	2410 Разрыв 53 Скальвание 46	2110 —	2200	94	0,22	6,06	0,88	0,91
Гранит рапакиви, темно-серый, карьер Копейчино, близ г. Смелы (Корсунь-Новомиргородский массив)	2,666	0,60	\parallel 2760	\parallel 1910	2140	98	0,18	6,41	0,69	0,77
Гранит рапакиви, карьер Пруднянка, близ г. Шполы	2,64	0,79	\perp 2340 \parallel 2360	2650	2220	91	0,12	6,76	1,00	0,94
Гранит-порфир серый, карьер Бехи, у разъезда 245 км, севернее г. Коростень	2,646	0,86	3010 Разрыв 60	2980	2740	94	0,26	6,02	0,99	0,91
Гранодиорит серый, карьер Ждилов, у г. Клёсова	2,732	0,34	2370 2550	2330	2200	79	0,23	7,55 7,02	0,91	0,86
Гранодиорит розовый, участок № 33, близ г. Виры	2,73	0,36	\perp 2360 \parallel 2320	2080	2370	88	0,19	5,90 6,00	0,88	1,00
Гранодиорит серый, карьер Селище, близ г. Виры	2,712	0,29	3030	2430	2400	92	0,25	6,90	0,80	0,98
Гранодиорит темно-серый, карьер Судилково, близ г. Шепетовки	2,74	0,47	\parallel 2680	\parallel 2380	2260	86	0,16	7,87	0,89	0,85

Таблица (продолжение)

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г.см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг.см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г.см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-8}$, кг.см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости
Роговообманковый гранодиорит, карьер у с. Осипенко, р. Берда (затронут выветриванием)	2,75	0,85	2660	2054	1710	92	0,38	5,10	0,84	0,64
Гранит розовый, среднезернистый, Старокаранское месторождение близ г. Мариуполя (измененный)	2,63	0,83	2290	2500	2290	86	0,19	3,47	1,00	1,00
То же	2,66	0,77	2290	1880	—	84	—	3,78	0,82	—
Основные породы										
Габбро черное, карьер Кисоричи, близ г. Клёсова	3,121	0,18	3500 2910	3240	3050	93	0,48	11,36	0,92	0,84
Габбро зеленовато-серое, Слипчицкий карьер, близ г. Житомира	2,961	0,46	2840 2320	2320	2580	84	0,42	10,31	0,82	0,90
Габбросиенит, Чардаклы, близ г. Жданова	2,72	0,19	3180	2780	—	91	—	—	0,87	—
Диабаз, карьер Рудня Старики, юго-восточнее г. Клёсова	2,89	0,43	3090	2750	2390	88	0,38	10,02	0,89	0,77
Лабрадорит серый, месторождение Турчинское	2,681	0,47	2430	2520	2230	88	0,26	8,77	>1,00	0,91
Лабрадорит черный, Головинский карьер, близ г. Житомира	2,88	0,46	1840 1880	1490	1570	79	0,32	9,06	0,81	0,85
Лабрадорит темно-серый, с. Лекарево, близ Новомиргорода	2,75	0,28	2620	2700	2290	96	0,21	10,75	1,00	0,87
6. Балтийский щит										
Гранитоиды										
Граниты буро-серые с крупными вкрапленниками полевого шпата, Ванжозеро, Карелия	2,71	0,49	2140	—	—	84	—	$E_1 6,71$ $E 7,14$	—	—
Гранит с лиловым кварцем, Чёбино, Карелия	2,63	0,38	2790	2610	2560	94	0,24	$E_1 6,11$ $E 6,40$	0,93	0,91
Граниты серые с заметной ориентировкой, месторождение Медвежья гора, Карелия	2,67	0,65	2590 2780	2350	2390	72	0,30	$E_1 6,25$ $E 6,70$	0,90	0,92
Граниты биотитовые, серые, мелкозернистые, месторождение Каменогорск	2,71	0,44	2340 2510	1950	1850	73	0,38	$E_1 6,38$ $E 6,86$	0,83	0,80
Гранит светлый, Сайда-Губа, близ Мурманска	2,622	0,09	2860	2850	2950	—	0,18	—	1,00	1,00
Граниты биотитовые, крупнозернистые, серо-красные, месторождение Кузнечное, Ленинградская область	2,66	0,52	2340	2100	2150	88	0,18	7,00	0,89	0,91
Гранит рапакиви, месторождение близ г. Выборга	2,62	0,95	2200	2110	2080	70	0,07	6,46	0,96	0,94
Основные породы										
Габбро-норит серый, о-в Большой Петик (Кандалакшский район, Карелия)	3,28	0,62	3100	2380	2300	66	0,32	10,48 10,78	0,77	0,74
Габбро (друзит), месторождение Черная Салма, Карелия	3,29	0,10	3340	3810	3890	—	0,17	—	1,00	1,00
Диабаз, Роп-ручей, Онежское озеро	3,09	0,32	3510	—	—	87	0,06	11,11	—	—

Таблица (продолжение)

116

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г.см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг.см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г.см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, кг.см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости

Ультраосновные породы

Пикрит, Листья губа, Онежское озеро	2,75	0,11	3270	2900	2860	—	0,06	—	0,89	0,87
Пикрит-порфирит оталькованный, Сегозеро	2,95	0,42	820	—	—	50	—	4,63	—	—

2. Породы подвижных зон

Гранитоиды верхнего палеозоя

Гранит серый, биотитовый, г. Краснодарск	2,695	1,27	2620	1940	2040	75	0,33	E_1 5,15	0,81	0,85
			2390					E 5,68		
			Изгиб 275					E_1 5,81		
								E 6,17		
Аляскитовый гранит, п-ов Уфра, близ Краснодарска	2,58	1,06	2820	2970	2220	—	0,16	5,92—6,09 5,86—6,22	>1,00	0,80
Гранит, Моголтау, Таджикистан	2,66	0,71	1970	1060	—	80	—	4,35	0,54	—
Гранодиорит чорухского типа, месторождение Чорух-Дайрон, брошенный строительный карьер	2,71	1,06	2950	—	—	90	—	8,02 7,92	—	—
Гранит-порфир, музбекского типа, Моголтау, около Ленинабада	2,635	1,09	2120	—	—	86	—	4,59 5,02	—	—
Гранит, Актау, горы Султан-Уиз-Даг	2,70	1,60	2530	1800	2050	77	0,36	E_1 6,81	0,71	0,81
			2500					E_2 6,62		
			Изгиб 224							
			Скальвание 214							

Гранит, месторождение Уллу-камское, Кубань, участок Ак-Тюбе	2,665	0,56	2350	2130	2060	74	0,20	4,48	0,94	0,87
Гранит, Бараньи Лбы, там же	2,657	0,89	1980	1580	1780	61	0,19	4,25	0,79	0,89
Гранит, Кушуя, там же	2,645	0,70	1800	1700	1570	60	0,20	3,84	0,94	0,87

Гранитоиды мезозоя

Сиенит, Бозикенд, Армения	2,64	1,21	1720	1590	1600	80	—	—	0,92	0,93
Гранит среднезернистый, светло-серый, биотит-роговообманковый, р. Восточная Гумиста, Абхазия	2,65	1,59	2800	1390	2450	91	0,31	6,14	0,85	0,86
			Изгиб 93	—						
			Разрыв 82	84						
Гранит серый, Ципа, Грузия	2,69	0,56	2480	1790	1940	—	—	—	0,72	0,78

Гранитоиды третичные

Гранит светло-серый, порфировидный, кавернозный, Эльджурта, Северный Кавказ	2,58	4,53	1940	1960	1740	57	0,33	E_1 3,92	1,00	0,90
			Изгиб 97	83				E 4,81		
			Разрыв 31	32						
			Скальвание 91							
Граносиенит-порфир желтый (бештаунит), гора Медовая, Пятигорск	2,33	10,89*	1980	1780	1800	77	0,15	4,30	0,90	0,91
Граносиенит-порфир белый, гора Бештау	2,42	10,07*	1580	1500	1570	74	0,11	4,97	0,95	0,99
			Изгиб 160	—						
			Разрыв 24	34						
Гранит, Камчатка	2,61	1,02	2520	2240	2220	—	0,43	—	0,89	0,88
Гранит, бухта Лиственничная, Камчатка	2,79	0,76	2950	3100	2810	—	—	—	1,00	0,95
Гранит, бухта Ахамтен, Камчатка	2,67	0,52	3000	2780	—	—	0,39	—	0,93	—

117

Таблица (продолжение)

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г.см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг.см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г.см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, кг.см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости
Монциты и диориты										
Кварцевый диорит, Памбак, Армения	2,81	0,36	2440	2180	2180	—	—	6,12	0,89	0,89
То же, Когес, Армения	2,82	1,12	3170	2550	—	—	—	6,72	0,80	—
То же, Арчис, Армения	2,76	0,33	2370	2230	2180	—	—	—	0,94	0,92
Монцит, Цихис-Дзири, Грузия	2,75	0,28	2090	2660	1930	—	—	—	1,00	0,92
Диорит (тешенит), с. Никорцинда, Грузия	2,80	0,06	3190	2360	—	—	—	—	0,74	—
Монцит серый, месторождение Чорух-Дайрон, Средняя Азия	2,81	0,82	3200	—	—	93	—	7,60	—	—
Диорит (партенит) зеленовато-серый, с. Фрунзенское, гора Аюдаг, Крым	2,81	2,76	2360	—	—	81	—	7,40	—	—
Основные интрузивные породы										
Габбро, хребт Моголтау, Таджикская ССР	3,17	0,83	2980	—	—	77	—	9,34 10,31	—	—
Горнблендит, там же	3,073	0,42	2440	—	—	80	—	9,62	—	—
То же	2,91	0,52	3140	—	—	81	—	E_1 10,00 E 10,31	—	—

Б. Эффузивные породы

Лавы										
Андезито-базальт, карьер Бакуриани, Грузия	2,03	21,86	900	—	—	45	—	2,40	—	—
Андезит, Цхрут, Грузия	2,37	6,40	Разрыв 46 1100	990	1020	—	—	—	0,90	0,93
Андезито-базальт, Квасатали, Южная Осетия	2,30	14,49	980	1020	970	—	0,59	—	>1,00	1,00
Базальт плотный, месторождение Берестовецкое, карьер Янова Долина, Украина	2,87	2,76	Изгиб 284 4270	3670	3620	79	0,46	8,10	0,86	0,87
Туфы										
Туфолава лиловая, Артик, Армения	1,14	53,9	90	80	85	22	—	1,68	0,78	0,94
Туфолава арктического типа, карьер Сарнахпур, верхний пласт («горбыль»)	1,19	54,41	83	71	—	17	—	—	0,85	—
То же, средний пласт	1,24	52,49	97	88	—	18	—	—	0,91	—
То же, нижний пласт	1,25	52,11	100	82	—	18	—	—	0,82	—
Зеленый туф, с. Акаурт, Грузия	2,11	19,06	780	520	100	—	—	—	0,67	0,18
Туф, Керлили, близ ст. Садахло, Армения	1,81	30,32	660	520	390	—	—	—	0,79	0,59
Туф, Каменское месторождение близ г. Нальчик	1,70	25,96	260	290	—	—	—	—	1,00	—
Туфоген, Борчалло, с. Гударехи	1,91	17,17	1150	700	1030	—	—	—	0,61	0,90
Зеленый туфоген, Борчалло, с. Айрум	2,05	12,89	1330	610	—	—	—	—	0,46	—
Липарит, Борчалло, г. Дашкескен	2,00	19,12	780	520	350	—	—	—	0,67	0,45
Туф, Ванати, Южная Осетия	1,76	37,66	200	64	85	—	—	—	—	—

— Таблица (продолжение)

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻³	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-9}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости

II. ОСАДОЧНЫЕ И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

1. Карбонатные породы щитов

Доломит, месторождение Белогорское	2,842	0,71	1980	1870	2050	38	0,37	9,50	0,95	0,69
Мрамор розовато-серый, месторождение Киви-Шурья	2,81	1,66	2720	2810	2430	52	1,35	$E_1 8,60$ $E 8,99$ └ $E_1 9,34$ $E 8,27$ }	1,00	0,89
Мрамор брекчиевидный, месторождение Киви-Шурья	2,797	0,58	3330	2790	2720	57	0,79	$E_1 8,42$ $E 9,09$ └ $E_1 7,77$ $E 8,60$ }	0,84	0,82
Мрамор розовый, месторождение Ким-Сайранда	2,764	0,47	└ 3230	2830	2540	52	1,25	$E_1 9,52$ $E 10,37$ }	0,88	0,79
Мрамор малиновый, неравнозернистый, месторождение Ким-Сайранда (среднее из двух пород)	2,86	0,46	2930	2500	2550	42	1,56	$E_1 8,13$ $E 8,65$ }	0,86	0,88
Мрамор плотный, серый, неравнозернистый, месторождение Спасская Губа	2,78	1,70	2610	2730	2720	50	0,56	$E_1 8,70$ $E 9,05$ }	1,00	1,00
Мрамор светло-серый, месторождение Мраморный Бор (среднее из двух пород)	2,81	0,53	2940	2620	2330	50	1,11	8,39 9,26	0,89	0,79

Мрамор доломитовый, полосчатый, сиреневый, месторождение Рай-Губа	2,802	0,61	└ 2680 2930 166	2430	2650	59	0,68	7,30	0,91	0,99
Мрамор мелкозернистый, желтовато-серый, месторождение Шайдомское	2,841	0,49	Изгиб 2660	2560	2550	47	1,23	9,10	0,96	0,96
Мрамор беловато-серый с розовым оттенком, крупнозернистый, плотный, месторождение Спасская Губа	2,781	0,48	3110	2880	2960	60	0,38	9,20	0,93	0,95
Мрамор серый с белыми прожилками, месторождение Пергуба	2,81	0,73	└ 2120	2130	2260	45	1,60	$E_1 7,27$ └ $E 8,11$ }	1,00	1,00
Мрамор полосчатый, месторождение Пергуба	2,829	0,52	2330	1940	2380	48	1,38	7,30	0,83	1,00

2. а. Мраморы подвижных зон (палеозой и протерозой)

Мрамор розовый, мелкозернистый, месторождение Газган, Узбекистан	2,72	0,16	1580 Изгиб 328 Разрыв 161 Скальвание 80	1570 395 120 —	1490 — — —	43	1,00	7,87	0,99	0,94
Мрамор серый, там же	2,72	0,22	1830 Изгиб 363 Скальвание 93	1830 — —	1800 — —	46	1,14	9,16	1,00	0,98
Мрамор розовый, там же	2,72	0,24	1700 Изгиб 365 Разрыв 87 Скальвание 114	1680 437 77 —	1660 — — —	46	1,59	9,22	0,99	0,98
Мрамор белый, там же	2,71	0,11	1810 Изгиб 324 Разрыв 115 Скальвание 76	1790 475 112 —	1780 — — —	36	1,45	9,60	1,00	1,00

Таблица (продолжение)

122

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости
Мрамор серый, Заркенд	2,680	0,16	1610 Изгиб 269 Разрыв 105	1690	1460	—	1,05		>1,00	0,94
Мрамор серый, полосчатый, месторождение Султан Уздаг, Джумуртау (среднее из двух пород)	2,68	0,72	1620 2260 Изгиб 187	1580	1670 1730	58	1,37	7,88	0,98	1,00
То же, месторождение Актау (среднее из двух пород)	2,70	0,28	Скальвание 159 1400 1240 Изгиб 171 Скальвание 137	1380	1330 1360	51	2,20	$E_2 6,64$ $E 7,32$	0,99	0,95
Урал										
Мрамор белый, плотный среднезернистый, карьер Прохорово-Баладино	2,714	0,46	1280 Изгиб 132 Разрыв 83 Скальвание 94	1190	1340	39	1,13	5,08 5,74	0,93	1,00
Мрамор, месторождение Коелга, Урал	2,703	1,24	1000 Изгиб 180 Разрыв 70	1090	960	—	1,92	—	>1,00	0,96
Мрамор, месторождение Нижний Тагил	2,703	0,28	1450 Изгиб 305 Разрыв 81 Скальвание 60	1520	1340	44	1,40	7,38	>1,00	0,89
Мрамор, месторождение Маук	2,714	1,03	1150 Изгиб 185	1220	1100	30	1,65	6,90	>1,00	0,67

123

Мрамор, месторождение Фоминское	2,704	0,77	Разрыв 124 Скальвание 64 780 Изгиб 203 Разрыв 47 Скальвание 68	83	660	580	42	1,98	6,27	0,85	0,81
Мрамор, месторождение Каркадинское	2,70	0,95	1120	1310	1330	45	1,29	9,96	>1,00	0,87	
Мрамор мелкозернистый, серый, полосчатый, месторождение Уфалей	2,71	0,60	1610 Изгиб 309 Разрыв 123	1520	1460	40	1,82	9,75	0,94	0,91	
Кавказ											
Мрамор белый, полосчатый, месторождение Лопота, Грузия	2,703	0,21	760 Изгиб 132 Разрыв 45	730	1030	35	0,17	—	0,97	1,00	
Мрамор, месторождение Агверан, Армения	2,738	1,10	1840	1640	1230	48	1,26	—	0,89	0,93	
Сибирь											
Мрамор белый, мелкозернистый, месторождение Кибик-Кордон, Западные Саяны	2,72	0,35	1160 Изгиб 254 Разрыв 58 Скальвание 79	1070	960	35	1,13	7,84	0,92	0,83	
Светло-розовый мрамор, там же	2,70	0,68	1250 Изгиб 250 Разрыв 43 Скальвание 63	1170	1190	38	1,20	—	0,94	0,95	
Розовый мрамор, там же	2,71	0,37	1550 Изгиб 372 Разрыв 79 Скальвание 75	1500	1490	40	0,94	—	0,97	0,96	

Таблица (продолжение)

124

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости
Розовый мрамор, там же	2,717	0,11	1970	1790	1460	58	1,32	8,00	0,91	0,67
То же	2,715	0,15	Изгиб 263	379	—	39	0,78	—	0,93	0,83
			Разрыв 118	79						
			Скальвание 119							
Мрамор, месторождение Ороктугой	2,707	0,76	1900	1770	1800	—	0,87	—	>1,00	0,64
			Изгиб 326	313						
			Разрыв 163	135						
Мрамор, месторождение Пуштулим, Алтай	2,711	1,21	Скальвание 116			—	1,56	—	1,00	0,92
			1190	1330	1200					
			Изгиб 276	47						
Мрамор, месторождение Воскресенское, Алтай	2,87	0,23	1530	1540	1410	—	—	—	0,94	0,95
			Изгиб 302	61						
			Разрыв 166	1770	1660					

б. Мраморизованные известняки подвижных зон

Палеозой

Известняк темно-серый, си-лурийский, Каменец-Подольск	2,68	0,80	1480	1440	1740	62	1,28	6,86	0,96	1,00
Мраморизованный серый известняк, месторождение Гидамское, Северный Кавказ, верхний девон	2,696	1,14	1910	1630	1560	47	1,14	6,80	0,89	0,82
			Изгиб 303	297						
			Разрыв 93	97						
			Скальвание 60							

Известняк мраморизованный, афанитовый, Хорвираб, Армения	2,70	1,21	1210	850	1020	47	1,55	6,54	0,70	0,84
			Изгиб 283							
			Разрыв 45	83						
			Скальвание 44							
Известняк мраморизованный, Давалу, Армения, девон	2,703	0,95	1740	1440	1470	54	0,55	9,00	0,83	0,86
			Изгиб 230							
			Разрыв 144	124						
			Скальвание 43							

Мезозой

Кавказ

Известняк мраморизованный, красный с белыми пятнами, Салиэти, Грузия, лейяс	2,67	0,87	1350	1180	1330	50	0,91	8,23	0,88	0,98
			Изгиб 241							
			Разрыв 83	50						
			Скальвание 49							
То же	2,69	1,16	1530	1380	1130	—	—	0,90	0,74	
Известняк мраморизованный, буро-красный с пятнами, Молита, Грузия, лейяс	2,69	1,34	1490	1330	1040	45	1,13	8,33	0,90	0,70
			Изгиб 283	295						
			Разрыв 40	27						
			Скальвание 57							
То же, красный, брекчиевидный, Шроша, Грузия, лейяс	2,69	0,78	1790	1710	1620	40	1,21	8,12	0,96	0,90
			Изгиб 226	200						
			Разрыв 86	76						
			Скальвание 57							

Украина

Известняк мраморизованный, розовый, брекчиевидный, Новоселица, Закарпатье, юра	2,677	1,69	1530	1280	—	55	—	7,69	0,80	—
			Изгиб 81							
			Разрыв 46							
То же	2,677	1,69	1540	1280	1450	55	1,84	7,35	0,84	0,95
			Изгиб 72							
			Разрыв 55							

125

Таблица (продолжение)

126

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости
Известняк мраморизованный, красный, Хоривское, Закарпатье, юра	2,69	0,59	↓ 1880	1630	1220	59	0,49	7,55	0,87	0,65
			Изгиб ↓ 126							
			Разрыв ↓ 179							
			1990							
Известняк мраморизованный, Горовское, Нагорный Карабах	2,66	0,35	134	1420	1270	—	0,84	7,47	0,71	0,64
			Разрыв 152							
			1210							
			Изгиб 156							
Разрыв 49	1030	1010	—	1,30	—	0,85	0,83			
<i>в. Известняки подвижных зон</i>										
<i>Мезозой</i>										
Доломит с крупными кавернами, г. Большой Балхан, близ г. Небит-Даг, Туркмения, юра	2,68	3,89	↓ 1820	1870	1780 2120	60	1,16	7,90	>1,00	0,97
Известняк, с. Годогани, близ Кутаиси, Грузия, верхн. мел	2,10	18,92	380	360	350	—	—	—	0,95	0,92
Доломит, Гизель-дон, 16 км, северная Осетия, верхняя юра, киммеридж (уд. вес 2,85)	2,63	7,24	↓ 1870 1560	1760 1410	1910 1580	51	1,33	4,04	0,94	1,00
Известняк, верхний мел, с. Гантиади, Грузия	2,64	3,92	Изгиб 193	2430	1880	1100	1,10	7,03	0,77	0,45
Светло-серый известняк, нижний мел, Гагры, Грузия	2,67	0,52	3000	2780	2100	—	0,39	—	0,93	0,70

Датский известняк, В. Гумиста, Грузия	2,21	16,33	430	360	530	—	—	6,71	0,84	>1,00
<i>Третичные пильные известняки</i>										
Известняк третичный Бодракское месторождение, Крым	1,80	32,71	160	130	75	—	4,32	—	0,80	0,46 (немфозосток)
Известняк пильный, карьер у г. Красноводска	1,65	33,0	200	190	110	20	4,58	1,29	—	—
Известняк, Приворотье, близ г. Каменец-Подольска	1,84	29,51	200	130	80	23	—	—	0,65	0,40
То же, из памятника	1,99	27,03	400	350	270	—	—	—	0,87	0,68

3. Известняки покрова платформы (верхний палеозой)

Московская синеклиза

Известняк детритусовый, Щурово (среднее из четырех блоков)	2,20	19,68	510	450	490	29	—	2,67	0,68	0,74	
			↓ 660					2,68			
Известняк органогенно-детритусовый, мелкозернистый, карьер Малеево	2,812	21,80	690	430	650	33	4,16	E_1 3,03 E 3,30	0,62	0,94	
Известняк органогенно-детритусовый, Малеево	2,17	20,4	310	200	200	30	2,21	2,68	0,59	0,58	
Известняк органогенно-обломочный, карьер Коробчево	2,39	11,0	950	690	680	33	2,56	3,31	0,73	0,72	
То же	2,50	8,1	1170	690	700	38	2,19	E_1 3,57	0,59	0,60	
То же	2,14	19,7	460	360	300	30	4,98	E_1 3,85 E 1,95	0,77	0,65	
То же, карьер Подольского известкового завода	1,97	30,0	↓ 210 200	190	—	Развалился после 4 циклов	23	1,06	1,46	0,90	—

127

Таблица (продолжение)

128

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г·см ⁻³	Пористость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг·см ⁻²			Твердость, ед. Шора	Потеря при истирании, г·см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-8}$, кг·см ⁻²	Коэффициенты		
			Сухие	Водонасыщенные	После замораживания				размокания	морозостойкости	
Известняк доломитизированный, карьер Воротынский	2,59	5,26	1750	1810	1720	45	2,03	7,62	0,99	0,91	
Известняк серый, карьер Васильевский	2,60	4,81	⊥ 1950	1400	1490	48	1,10	E ₁ 7,22 E 7,61	0,72	0,76	
Известняк, Мячково, пласт Могильник	2,02	25,43	⊥ 300 250	220	170	29	2,48		—	0,73	0,57
Известняк мячковский, из Московского Кремля	2,00	25,12	200	—	50	—	—	—	—	—	
Известняк желтовато-серый, Ново-Пятовское	2,51	6,83	860	600	570	—	—	—	0,70	—	
Известняк слабодолмитизированный, карьер Коробчево	2,05	22,7	440	340	—	28	2,70	2,25	0,77	—	
Известняк, Горенский, карьер Михайловский, Московская область	a) 2,40 б) 2,42	8,52 22,12	a) 1410 б) 410	1110 300	110	Развалился после 9 циклов	28	3,62	—	0,78	0,78
Известняк хемогенный, черный, стигмариновый с крупными кавернами, карьер Алексин	2,56	2,98	1220	790	1100						
Известняк шламовый, палевоый, карьер Коробчево (среднее из четырех пород)	2,27	16,54	⊥ 670 650	⊥ 360 440	⊥ 360 280	24	1,31	⊥ 1,96 1,84	⊥ 0,53 0,54	⊥ 0,53 0,43	

Кварцевые породы

Кварциты и кварцито-песчаники щитов

(докембрий)

Кварцит красный, Шокша, иотний, Карелия	2,66	0,53	3280	3090	3140	86	0,08	8,33	0,94	0,96
Кварцит белый, Кузнаволок, Паданский район, Карелия, карелий	2,66	0,37	⊥ 4210 Изгиб 317 Разрыв 110	4080	4230	94	0,24	6,80	0,97	1,00
Кварцит розовый, Толкачи, овручская свита, Украинский щит, иотний	2,66	0,04	5570	5570	—	100	—	10,60	1,00	—
То же	2,65	0,37	—	—	—	101	—	9,17 8,77	—	—
Кварцито-песчаник светло-серый со слюдястым цементом, из низов карельской свиты нижнего протерозоя, близ г. Паданы, Сегозеро, Карелия	2,67	0,53	2900 Изгиб 378 Разрыв 129	3060 — 104	2620	87	0,35	7,30	1,00	0,90
Кварцито-песчаник зеленый с хлорито-серицитовым цементом, там же	2,68	1,42	⊥ 1850 Изгиб 73 Разрыв 83	1700	1500	73	0,15	6,03	0,92	0,81
Кварцито-песчаник, карьер Белокоровичи, близ г. Овруч	2,612	1,45	2730	2350	2240	95	0,16	6,90	0,86	0,82

Кварциты и песчаники подвижных зон

Кварцит белый, г. Машак, близ Белоренка, Урал, докембрий	2,63	1,42	3020 Разрыв 73	3270 43	2790	81	0,52	4,68	1,00	0,92
Кварцит, розовая разность, там же	2,67	0,74	3570 Разрыв 68	3630 77	4330	95	0,18	7,64	1,00	1,00

129

Таблица (продолжение)

Название породы, месторождение	Объемный вес ρ , г.см ⁻³	Порис- тость	Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, кг.см ⁻²			Твер- дость, ед. Шора	Потеря при истирании, г.см ⁻²	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-4}$, кг.см ⁻²	Коэффициенты	
			Сухие	Водонасы- щенные	После замора- живания				размокания	морозо- стойкости
Кварцит светло-серый, там же	2,64	0,90	3350 Разрыв 37	3910 53	3800	85	0,18	6,29	1,00	1,00
Кварцит белый, там же	2,54	0,53	3840 Разрыв 111	2500	3020	93	0,18	—	0,65	0,79
Песчаник палевый, карьер Перебовль, близ Тернополя	2,28	14,16	1410	1240	1100	—	—	2,10	1,88	0,78
Песчаник красный, там же	2,29	15,21	1300	960	970	—	—	2,12	0,74	0,75
Песчаник, Косуцкое мес- торождение, Молдавия	2,185	16,50	750	600	540	—	—	—	0,80	0,72
Песчаник, Черепановский карьер, близ Борчало, Грузия	2,15	11,15	650	430	420	—	—	—	0,66	0,65
То же	2,06	18,02	630	490	440	—	—	—	0,78	0,75
III. РАЗНЫЕ ПОРОДЫ										
Алевролит красный, плот- ный, Яван, скв. 625, глу- бина 34—35 м, Средняя Азия	2,68	2,16	1310 Скалывание 19	630	—	57	—	2,74 3,28	0,48	—
Сланец кровельный, Ларс, Северный Кавказ, нижняя юра (?)	2,79	0,36	2290 1530	1580 850	—	56	—	14,86 11,03	0,69 0,55	—
Гипс, р. Северная Двина, д. Липовка	2,28	0,85	350	200	220	—	—	—	0,57	0,63
Гипс, Квезань, Грузия	2,23	—	240	210	240	—	—	—	0,88	1,00
Ангидрит, р. Северная Двина, д. Липовка	2,87	0,48	1180	1000	940	—	—	—	0,85	0,80
Талькохлорит, Листья губа, Онежское озеро	2,84	0,11	1740	1380	1450	—	0,24	—	0,83	0,79
Туфосланец, Вегорукский	2,91	0,50	2760	2750	2380	58	4,97	8,52	1,00	0,86
Плавленый диопсидит	2,84	—	4320	—	—	72	—	$E_1 7,50$ $E 7,67$	—	—
Брекчия, Соломенское, Карелия, докембрий	2,90	1,10	1790	—	—	—	—	$E_1 7,56$ $E 8,41$	—	—
Офиокальцит, Сатка, Урал	2,724	0,0	3450 Изгиб 718 Разрыв 188	3880	3390	—	0,60	—	1,00	0,97

ЛИТЕРАТУРА

- Агабабян Г. Г.** Применение естественных каменных материалов для строительства жилых и гражданских зданий в Армянской ССР.— В кн.: «Строительство из естественных каменных материалов». Стройиздат, 1951.
- Ажгирей Г. Д.** Структурная геология. МГУ, 1956.
- Александров К. С., Носиков О. В.** Прибор для измерения упругих модулей кристаллов.— «Акустика», 1956, № 31.
- Афанасьев Г. Д., Беликов Б. П., Дьяконова-Савельева Е. Н., Залесский Б. В., Корсунский А. И., Цветков А. И.** Механические и технические свойства горных пород Кузбасса. Изд-во АН СССР, 1935.
- Ацагорцян З. А.** Исследование некоторых факторов долговечности каменных материалов.— В кн.: «Строительство из естественных каменных материалов», 1958.
- Ацагорцян З. А.** Природные каменные материалы Армении. М., Стройиздат, 1967.
- Ацагорцян З. А., Шмавонян Э. Г.** Методы контроля полируемости облицовочного камня.— Техн. инф. ВНИИЭСМ, вып. 6, 1971.
- Барон Л. И.** Определение свойств горных пород. Госгортехиздат, 1962.
- Беликов Б. П.** Мраморы Грузии.— Труды ИГН АН СССР, вып. 34, 1938.
- Беликов Б. П.** Геолого-петрографические и физико-механические исследования улуу-камского гранита.— Труды ИГН АН СССР, вып. 89, 1948.
- Беликов Б. П.** Наблюдения над внешней облицовкой Пушкинского музея в Москве.— Труды ИГН АН СССР, вып. 122, 1950.
- Беликов Б. П.** Месторождения декоративного камня в СССР.— В кн.: «Справочник архитектора», т. XIV, 1952.
- Беликов Б. П.** О методе изучения трещинной тектоники месторождений строительного и облицовочного камня. Изд-во АН СССР, 1953.
- Беликов Б. П.** Упругие и прочностные свойства горных пород.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 43, 1961.
- Беликов Б. П., Залесский Б. В., Розанов Ю. А., Санина Е. А., Тимченко И. П.** Методы исследований физико-механических свойств горных пород.— В кн.: «Физико-механические свойства горных пород». ИГЕМ АН СССР. М., 1964.
- Беликов Б. П., Александров К. С., Рыжова Т. В.** Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. «Наука», 1970.
- Белянкин Д. С.** Наблюдения над выветриванием строительных камней на Лазаревском кладбище Александрово-Невской лавры. Кам. стройматериалы.— В сб.: 1 Матер. КЕПС АН СССР, 1923, вып. 41, 1923.
- Белянкин Д. С.** Граниты Олонцкого края.— Материалы КЕПС, РАИ, № 8, 1924.
- Белянкин Д. С., Залесский Б. В., Беликов Б. П.** О работах Академии наук в области строительного и облицовочного камня.— Труды ИГН АН СССР, вып. 89, 1948.
- Белянкин Ф. П.** Физико-механические характеристики камня Поділля и Волині. Ин-т будев. мех. ВУАН, 1935, № 11.
- Берон А. М., Ватолин Е. С., Койфман М. И., Кунтыш М. Ф., Мохначев М. П., Чирков С. Е.** Исследования прочности и деформируемости горных пород. «Наука», 1973.
- Болк Р.** Структурные особенности из-

- верженных горных пород. Госгеол-издат, 1946.
- Борзунов В. М.** Месторождения нерудных полезных ископаемых, их разведка и промышленная оценка. «Недра», 1969.
- Борзунов В. М., Шатрова Г. И.** Опробование месторождений каменных строительных материалов.— «Разведка и охрана недр», 1937, № 7.
- Борзунов В. М.** и др. Поиски и разведка месторождений минерального сырья для промышленности строительных материалов. «Недра», 1968.
- Борисов П. А.** Каменные строительные материалы Карелии, 1963.
- Борисов И., Борисова Н. И.** О некоторых петрографических, химических и физико-механических особенностях мраморов Болгарии.— Годышник Софийск. ун-та, 1959—1960, 54, № 12 (на болгарском языке).
- Вермишев Г. Х., Бесаев Х. Б.** Промышленность строительных материалов северной Осетии. Орджоникидзе, 1960.
- Воларович М. П., Баяк Е. И., Левыкин А. М., Томашевская И. С.** Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. «Наука», 1974.
- Волков М. Н., Гельмер В. О., Засобин Л. Ф., Пантелеев Ф. И.** Дорожные строительные материалы. Дориздат, 1948.
- Вольфсон Ф. И.** Некоторые вопросы трещинной тектоники.— Вестн. ЗПИ. М., Вопросы физики горных пород. Институт горной механики им. Цулукидзе. «Мецниереба», 1971.
- Глебов С. А.** О недостаточной морозостойкости свежесломанного из карьера камня карбонатных пород.— «Строит. промышл.», 1950, № 10.
- Голодковская Г. Д., Шаумян Л. В.** К природе прочности массивов скальных горных пород.— Вестн. МГУ, геология. 1974, № 1.
- Григорович М. Б.** Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке. «Недра», 1970.
- Григорович М. Б.** Минерально-сырьевая база промышленности строительного камня. «Недра», 1972.
- Дортман Н. Б.** (ред.). Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. «Недра», 1964.
- Дыбков В. Ф.** Изверженные и метаморфические породы как строительные материалы.— В кн.: «Курс неметаллических полезных ископаемых». «Недра», 1969.
- Елисеев Н. А.** Структурная петрология. ЛГУ, 1953.
- Заварзин А. А., Мамуровский А. А., Орлов А. М., Шпанов И. Л.** Камень. Каталог строит. материалов и изданий. Разд. I. Изд-во АН Архитектуры, 1947.
- Закс С. Л.** Установка ЛП-1 для определения проницаемости горных пород.— «Разведка недр», 1941, № 5.
- Залесский Б. В., Петров В. П.** Арктическое месторождение туфовых лав.— Труды Петрограф. ин-та АН СССР, 137, 1931.
- Залесский Б. В., Корсунский А. И.** Причины недолговечности каменных сооружений.— «Строительство Москвы», 1938, № 20—24.
- Залесский Б. В., Корсунский А. И., Лапин В. В.** К вопросу долговечности некоторых карбонатных пород Самарской Луки.— Труды ИГН АН СССР, вып. 58, 1941.
- Залесский Б. В., Лапин В. В., Тер-Григорян Н. С.** Влияние степени однородности карбонатных пород на физико-механические свойства.— Труды ИГН, вып. 84, Петр. сер., № 27, 1947.
- Залесский Б. В., Беликов Б. П.** Физико-механические исследования и опыт определения долговечности главнейших типов облицовочных камней из месторождений СССР.— Труды ИГН, вып. 89, 1948.
- Залесский Б. В., Беликов Б. П.** Петрографо-механическая характеристика гранитов.— В кн.: «Вопросы петрографии и минералогии», Изд-во АН СССР, 1953.
- Залесский Б. В., Флоренский К. П.** О некоторых принципах определения морозостойкости каменных материалов.— В кн.: «Каменные конструкции», ВНИИ по строительству, 1965.
- Залесский Б. В., Санина Е. А.** К вопросу определения проницаемости массивных горных пород.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 43, 1961.
- Ильинский Г. А.** Определение плотности минералов. Л. «Недра», 1975.

- Искандеров Т. А. Массовое производство облицовочных изделий из травертина.— «Строительные материалы», 1969, № 5.
- Исследования механических свойств горных пород Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1951.
- Камнев Б., Илиев И. А. Инженерно-геоложко районуране на България. Геол. Институт Бълг. Ак. на Науките. София, 1963.
- Каменные строительные материалы.— Материалы КЕПС, вып. 41, 48 (1924); вып. 67 (1928), Изд-во АН СССР.
- Каменные конструкции. ВНИИ по строительству, 1955.
- Кинд В. А., Окорочков С. Д. Строительные материалы. Госстройиздат, 1934.
- Клоос Г. Механизм глубинных вулканических явлений. 1937.
- Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. Гостоптехиздат, 1962.
- Ковельман И. А. Изгибаемость и пластические деформации камня.— Труды Петрограф. ин-та АН СССР, вып. 10, 1937.
- Койфман М. И. О влиянии размеров на прочность образцов горных пород.— В кн.: «Исследование физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением». Изд-во АН СССР, 1962.
- Котяхов Ф. И. Основы физики нефтяных пластов. Гостоптехиздат, 1956.
- Кузнецов Г. Н. Механические свойства горных пород. Углетехиздат, 1947.
- Ламтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. «Недра», 1970.
- Ламтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. «Недра», 1972.
- Лалин В. В. О некоторых явлениях выветривания гранита и мрамора в сооружениях.— Труды ИГН АН СССР, вып. 25, 1940.
- Лаская Е. А., Воронков М. Г. Кремнийорганические водоотталкивающие покрытия. Киев, «Буд вельник», 1968.
- Лебедев А. П., Лебединский В. И. Занимательная петрография. 1968.
- Лебединский В. И., Кириченко Л. П. Камень и человек. «Наука», 1974.
- Литвинов О. О., Солонинко И. С. Граниты, лабрадориты, мраморы. Киев, 1950.
- Ляховицкий Ф. М. и др. Опыт применения геофизических методов для оценки блочности и трещиноватости массивов на месторождениях облицовочного камня. Экспресс-информация. Серия «Региональная разведка и промышленная геофизика», № 92. ВИЭМС, 1971.
- Мамуровский А. А. Естественный камень в облицовке высотных зданий.— В кн.: «Наружная облицовка высотных зданий Москвы», 1950.
- Мельникова Н. В. Основные строительные свойства подмосковных известняков. НИИ по строительству Москвы, 1958.
- Методика реставрации памятников архитектуры. Изд-во АН Архитектуры, 1961.
- Механические свойства горных пород. Изд-во АН СССР, 1963.
- Минеральные строительные материалы Кузбасса. Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Митрофанов Г. К., Шпанов И. А. Облицовочные и поделочные камни СССР. «Недра», 1970.
- Михайлов А. Е. Полевые методы изучения трещин в горных породах. Госгеолтехиздат, 1956.
- Михайловский Е. В. Реставрация памятников архитектуры. Стройиздат, 1971.
- Николаев С. В. Известково-доломитовые породы северо-западной части Самарской Луки и их физико-механические свойства, 1958.
- Николаев Н. П. Декоративные камни Узбекистана. Ташкент, 1967.
- Орлов А. М. Справочник архитектора, т. XIV. М., 1952.
- Орлов А. М., Мясников А. Е. Снижение стоимости естественного камня в отделке.— «Строительные материалы», 1966, № 3.
- Павлова Н. Н. Трещиноватость и разрушение горных пород. «Наука», 1970.
- Петров В. П. Очерки петрографа. «Недра», 1972.
- Петров В. П., Залесский Б. В., Беликов Б. П. Горные породы и строительные материалы Южной Осетии.— Труды СОПС АН СССР, 1935.
- Петров В. П., Финко В. И., Беликов Б. П., Коутин Д. П., Гарсия К.

- Мраморы Кубы.— В кн.: «Геология полезных ископаемых Кубы». «Наука», 1973.
- Пилосов А. М.** Справочник промышленности строительных материалов Узб. ССР. «Узбекистан», 1969.
- Плендерлис Г. Дж.** Консервация древностей и произведений искусства. ВШ ВЦНИЛИР Мин. культуры СССР. М., 1964.
- Полканов А. А.** Геологические исследования в районах магматических и метаморфических пород. Нефтеиздат, 1934.
- Попова Е. К.** Облицовка зданий плитами из природного камня.— «Жилищ. стр-во», 1971, № 12.
- Попова Е. К.** Облицовка керамзитобетонных панелей природным камнем.— «Жилищ. стр-во», 1973, № 6.
- Пэк А. В.** Трещинная тектоника и структурный анализ. Изд-во АН СССР, 1939.
- Ржевский В. В., Новик Г. Я.** Основы физики горных пород. «Наука», 1964.
- Роза С. А., Зеленский Б. Д.** Исследования механических свойств скальных оснований гидротехнических сооружений. Л., «Энергия», 1967.
- Розанов Ю. А.** О рациональном методе исследований морозостойкости горных пород.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 13, 1958.
- Розанов Ю. А., Соловьев Д. В., Терсков Д. Я.** Месторождения облицовочных камней в СССР. Гизместпром РСФСР, 1941.
- Руппенейт К. В.** Механические свойства горных пород. Углетехиздат, 1956.
- Рыжов Е. Ф., Белов В. В.** Мраморы. Геологическое строение СССР, 12. Урал, 1973.
- Савич А. И., Коптев В. М., Никитин В. Н., Яценко Э. Г.** Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных горных пород. «Недра», 1969.
- Семенченко Ю. В., Агафонова Т. Н., Солонинко И. С., Львова Т. В., Назаренко В. В.** Цветные камни Украины. «Буд величк», 1974.
- Семенцов С. А.** Строительные свойства Подмосковных облицовочных известняков.— В кн.: «Каменные конструкции». Стройиздат, 1956.
- Сергеев Е. М. (ред.)** Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. МГУ, 1968.
- Серебряков К.** Симфония в камне. «Прогресс», 1974.
- Силаева О. И.** Исследование с помощью ультразвука скоростей распространения упругих волн и упругих параметров в образцах горных пород при одностороннем давлении. ИФЗ АН СССР, 1962.
- Симинский К. К.** Механічні властивості кам'яних будівельних матеріалів України.— Труды физ.-мат. отд. ВУАН, т. 4, вып. 3, ч. 1. 1926.
- Скрамтаев Б. Г., Попов Н. А., Герливанов Н. А., Мудров Г. Г.** Строительные материалы. Промстройиздат, 1953.
- Солонинко И. С.** К характеристике цветности мраморовидных известняков южной мрамороносной полосы Закарпатья.— Изд-во Акад. Архитектуры УССР, 1955.
- Солонинко И. С.** Уникальный гранитный монолит для памятника Карлу Марксу в Москве. Изд-во Акад. Архитектуры УССР, 1962.
- Степанов В. Я., Флоренский К. П.** Наблюдения над характером разрушения белокаменных памятников архитектуры Владимиро-Суздальской Руси XII—XIII веков.— Труды ИГН АН СССР, вып. 146, 1952.
- Субботин М. П.** Строительное камневедение. ОНТИ, 1935.
- Справочник физических констант горных пород.** Пер. с англ. «Мир», 1969.
- Справочник (кадастр) физических свойств горных пород.** «Недра», 1975.
- Тимофеев В. М.** Мраморы Олонецкого края.— Труды ЛГРТ, вып. 4, 1932.
- Тимченко И. П.** Характеристика физико-механических свойств некоторых типов массивных существенно кварцевых пород.— В кн.: «Физико-механические свойства горных пород». ИГЕМ АН СССР, 1964.
- Тутковский П. А.** Кам'яні будівельні матеріали Київщини. Изд-во АН УРСР, 1924.
- Тхиладзе Г. Р.** Обработка декоративного камня. Госизд-во Архитектуры и градостроит., 1950.
- Ферсман А. Е.** Из истории культуры камня в России. Изд-во АН СССР, 1946.
- Ферсман А. Е.** Мрамор.— Труды КЕПС АН СССР, т. 2, 1927.
- Физико-механические свойства горных пород.** ИГЕМ АН СССР, 1964.

- Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. «Наука», 1968.
- Чесноков М. М. О некоторых особенностях разработки месторождений гранитов, добываемых для архитектурно-строительных целей.— Труды ИГД АН СССР, т. 2. 1955.
- Чесноков М. М. Разработка гранитных месторождений. Изд-во АН СССР, 1958.
- Чуприна Т. А. Природные облицовочные камни Грузии. Тбилиси, «Мецниереба», 1969.
- Шапошников Н. А., Залесский Б. В. Некоторые материалы к методике механических испытаний камней.— Материалы КЕПС, вып. 67, 1927.
- Шаумян Л. В. Физико-механические свойства массивов скальных горных пород. «Наука», 1972.
- Ширинян К. Г. Вулканические туфы и туфолавы Армении. Изд-во АН АрмССР, 1961.
- Шлайн И. Б. Разработка мраморных месторождений. Госгеолиздат, 1949.
- Электрические и механические свойства горных пород при высоких давлениях.— Труды ИФЗ АН СССР, № 37, 1966.
- Энгельгарт В. Поровое пространство осадочных пород. «Недра», 1964.
- Bain G. W. Lumar a new development in the stone industrie.— Min. a Metallurgie. June, 1936.
- Burchartz H., Saegner G., Stöcke K. Technische Gesteinprüfung.— VDJ Forschungsheft 358, Ausgabe, B., B. 4, Januar/Februar, 1933.
- Carneiro F. L. L. Resistance à la traction des betons.— Inst. Nat. de technol. Rio d. Janeiro, 1949.
- Dietrich E., Paech H. J. Beobachtungen über Felsverformung beim Auschub einer grossen Baugrube.— Zschr ang. Geol. 1962, H. 3.
- Dudkova I. Correlation between texture a. thermal dilation of cristalline limestones.— Acta polytechnica. Prace, CVUTC v Praze, 1966, 1, N 2.
- Griffin J. H. Physical properties of typical american rocks. Jowa state College of Engineering.— Exp. Bull. 1937, N 131.
- Hirschwald J. Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. Berlin, 1912.
- Karwacki A. Własności techniczne granitow z masywow Strzelina i Zulovej.— Zeszyty Nauk. Ak. Gorn.-Huth. Geologia, t. 1. Krakow, 1975.
- Kieslinger A. Zerstörungen an Steinbauten. Leipzig, 1932.
- Knotek Z. Granotektonicka metoda pruzkumu lozisek kamene.— Geol. pruzkum, 1960, N 10.
- Ljugner E. Spaltentektonik u. Morphologie der schwedischen Skagerrakküste.— Bull. Geol. Inst. Univ Upsala, 1927, 21, pt 1.
- Metodika inženýrsko-geologickeho vyzkumu pevnych hornin. Akad. Věd Praha, 1963.
- Physical properties of some typical foundation rocks. U. S. Buro Reckamatio.— Concr. Lab. Rep. SP 39, 1953.
- Moos A., Querwain F. Technische Gesteinkunde. Basel, 1948.
- Podtolski R. Specania ciosowe masywu granitowego Strzegom — Sobotka.— Kwartalnik Geologiczny, 1970, 14, N 1.
- Reports of the Building Research Board f. the Year 1927. London.
- Rosenholtz J. L., Smith D. T. The directional concentration of optic axes in Yule marble—a comparison of the results of petrofabric analysis and linear hermal expansion.— Am. J. Sci., 249, 1951.
- Schaffer T. The weathering of natural building stones.— Depart. of scientific a industrial research, building research, sp. rep. N. 18. London, 1932.
- Stamatiu M. Influența mării epruvetelor in formăde cuburi asupra rezistenței de rupere la compresiune a câtorva roce naturale și artificiale.— Bull. Stiințific. 1952, 4, N 2.
- Stöcke J. Die Bedeutung d. Stoffkonstanten natürllicher Gesteine Fortschr.—Min., Kri., Petr., 1940, N 24.
- Zivný J. K fyzikálné mechanickým zkušám stavebního kamene.— Inž. stavby, 1962, N 7.
- Vachtl J. Vliv větrání na mechanické vlastnosti a stavební jakost žulových hornin.— Vysoká škola inž. stav. Sb. 4, 1948.
- Watznauer A. Gefügeanalytische Untersuchungen in Massengesteinen und ihre Bedeutung für die Lösung felsmechanischer Probleme.— Rock Mechanics, 1969, N 1.
- Wuerker R. C. Annotated tables of strength a. elastic properties of rocks.— AJME. Pap. 663, 1956.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАМНЯ	4
РАЗВЕДКА КАМНЯ	12
ДОБЫЧА И ОБРАБОТКА КАМНЯ	14
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАМНЯ	20
Отбор проб для испытаний	20
Удельный вес	23
Объемный вес	25
Пористость	26
Естественная влажность	28
Водопоглощение или свободное водонасыщение	28
Проницаемость горных пород	30
Механические константы горных пород	32
Определение упругих параметров	44
Твердость	48
Истираемость	49
Морозостойкость	49
Сохранность каменных облицовок	52
Коэффициенты линейного расширения	61
Выход плит при распиловке блоков	62
Цвет камня	63
Полируемость камня	65
Электротехнические свойства мраморов	66
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ	67

Борис Павлович

Беликов,

Валерий Петрович

Петров

**ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КАМЕНЬ
И ЕГО ОЦЕНКА**

Утверждено к печати

*Институтом геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии*

Академии наук СССР

Редактор издательства *Л. М. Бекасова*

Художник *Н. В. Илларионова*

Художественный редактор *С. А. Литвак*

Технический редактор *Ю. В. Рылина*

Корректор *Н. С. Биргер*

Сдано в набор 22/IV 1977 г.

Подпис. к печ. 19/VII 1977 г.

Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 1

Усл. печ. л. 9. Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 1700

Т-09998. Тип. зак. 4545

Цена 1 р.

Издательство «Наука»

117485, Москва, В-485, Профсоюзная ул., д. 94а

2-я типография издательства «Наука»,

121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., д. 10.

1 руб.

2264

