

АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

**ОБЛИЦОВОЧНЫЙ
КАМЕНЬ
КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО
РЕГИОНА**



«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА КОЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ им. С. М. КИРОВА
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

[Handwritten signature]

ОБЛИЦОВОЧНЫЙ
КАМЕНЬ
КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО
РЕГИОНА



ЛЕНИНГРАД
«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1983

В сборнике представлены статьи, посвященные решению актуальных задач изучения и освоения ресурсов природно-каменных облицовочных материалов Карелии и Кольского полуострова. Рассматриваются вопросы состояния и перспектив расширения сырьевой базы, создания и развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности в исследуемых регионах. Решаются методические вопросы оценки месторождений этого вида полезных ископаемых. Дана характеристика горных пород основных месторождений облицовочного камня Карело-Кольского региона. Сборник рассчитан на широкий круг исследователей, работников промышленности строительных материалов, геологов.

Редакционная коллегия:

чл.-корр. АН СССР Г.И. ГОРБУНОВ (отв. редактор), О.Н. КРАШЕНИННИКОВ (зам. отв. редактора), Г.В. АЛЕКСЕЕВ (отв. секретарь), И.С. БАРТЕНЕВ, А.В. РЫЛЕЕВ, А.Ф. ТУРКИН (члены редколлегии).

ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КАМЕНЬ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Утверждено к печати
Ученым советом Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья

Редактор издательства Т.И. Сушкова. Художник Л.А. Яценко
Технический редактор Е.В. Поликтова. Корректор С.В. Добрянская

ИБ № 20326

Подписано к печати 08.04.83. М-18978. Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Печ. л. 8 1/2+1 вкл. (1/2 печ. л.)=9 усл. печ. л. Усл. кр.-отт. 9.38. Уч.-изд. л. 10.06. Тираж 750. Изд. № 8191. Тип. зак. № 2053. Цена 1р. 60к.

Издательство „Наука“, Ленинградское отделение
199164, Ленинград, В-164, Менделеевская лин., 1

Ордена Трудового Красного Знамени Первая типография издательства „Наука“
199034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12

0 3203000000-589
042(02)-83 327-83-III

© Издательство „Наука“, 1983 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Карелия и Кольский полуостров издавна славятся разнообразием горных пород и облицовочных камней, добыча и обработка которых ведется на протяжении более двух столетий. В последние годы здесь выявлен целый ряд перспективных месторождений облицовочного камня, а исследованиями Карельского и Кольского филиалов АН СССР, Гипронеруда и ВНИПИИСтромсырья МПСМ СССР оказана целесообразность более интенсивного развития предприятий камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности в Карело-Кольском регионе. В то же время обращает внимание неравномерная изученность горных пород, слагающих территорию региона, на блочный облицовочный камень, в частности их состава, текстурно-структурных особенностей, физических свойств, взаимосвязи и зависимости от общих геологических факторов. Решение указанных задач крайне важно для полной оценки минерально-сырьевой базы камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности, расширения ассортимента добываемого сырья, повышения его качества и усовершенствования технологии производства облицовочных изделий.

В данной книге публикуются результаты новейших исследований горных пород Карелии и Кольского полуострова как облицовочного камня. В соответствии с рассматриваемыми вопросами статьи группируются в такой последовательности, которая как бы делит сборник на два главных раздела.

Первый раздел включает обзоры по геологии, генезису и экономическому значению некоторых месторождений облицовочного камня, а также массивов горных пород, перспективных на блочный облицовочный камень. Здесь же излагается методическая основа предварительной оценки массивов на блочный камень.

Второй раздел составляют статьи, в которых рассматриваются физико-механические и декоративные свойства облицовочных камней и их изменения под воздействием внешней среды. Приводится методика оценки декоративности облицовочного камня и его обрабатываемости.

В целом книга дает представление о современной изученности сырьевой базы облицовочного камня Карело-Кольского региона, отмечает пути ее развития и показывает, в каком направлении ведутся исследования по этой проблеме.

Чл.-корр. АН СССР Г.И. ГОРБУНОВ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАМНЕДОБЫВАЮЩЕЙ
И КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
КАРЕЛЬСКОЙ АССР

Каменные строительные материалы являются одними из основных природных богатств Карелии, которые профессор П.А.Борисов считал важнейшей составной частью ее производительных сил, ее золотыми кладовыми. История практического использования этих богатств уходит в далекое прошлое, но только в последнее десятилетие началось их широкое вовлечение в сферу промышленного освоения.

В 1972 г. в Карелии был построен один из крупнейших в стране Кондопожский камнеобрабатывающий завод, открыт Ладожский карьер гранитных блоков, начато освоение Рускеальского месторождения мраморов, расширяется добыча блоков на Кашиногорском и Ропручейском месторождениях и т.д. Строительство Кондопожского завода имеет для Карелии особое значение, так как с вводом его в эксплуатацию начался новый этап в развитии старейшего промысла, принесшего в свое время мировую славу карельскому камню.

Созданию мощной камнеобрабатывающей промышленности в Карелии благоприятствует целый ряд положительных факторов, главными из которых являются: огромные запасы высокопрочных и зачастую высокодекоративных горных пород, наличие хороших транспортных путей сообщения с такими потребителями, как Москва и Ленинград. В то же время подготовленность сырьевой базы пока еще очень низка, что объясняется слабой изученностью месторождений природного камня. Широкое использование карельского камня в прошлом при строительстве многочисленных архитектурных сооружений в Петербурге и большое количество ранее разрабатывавшихся месторождений как бы загипнотизировали исследователей и производственников и тем самым замедлили темпы изучения и подготовки к эксплуатации новых конкретных месторождений. Несмотря на сложившееся мнение, что камень в Карелии можно добывать повсюду, Кондопожский завод в первые годы своего существования оказался необеспеченным местным сырьем, и его пришлось завозить из Ленинградской области, с Урала, Кавказа, Казахстана и других районов страны.

Такое положение вызвало необходимость ревизии ранее известной сырьевой базы и концентрации усилий научных и производственных организаций на поисках и разведке наиболее перспективных месторождений блочного камня с целью создания надежной сырьевой базы для дальнейшего развития камнеобрабатывающей промышленности

республики. В трудах В.М.Тимофеева [1] и П.А.Борисова [2], в кадастрах Л.А.Мордвило и П.П.Дудинова учтено 656 месторождений камня с прогнозными запасами 1,5 млрд.м³. В балансе же запасов облицовочного камня [3] учтено всего 11 месторождений с утвержденными запасами 150 млн.м³ или 1,5% от известных месторождений и 10% от прогнозных запасов. В то же время многие из этих месторождений не соответствуют современным требованиям промышленности и должны быть сняты как с баланса запасов, так и с кадастрового учета. Для более полного раскрытия создавшегося положения приведем краткою характеристику принятых на баланс месторождений блочного камня [4].

1. Ропручейское месторождение габбро-диабазов. Расположено на западном берегу Онежского озера в 95 км южнее г.Петрозаводска. Сложено высокодекоративными и очень прочными породами темно-серого цвета. Разрабатывается с 1924 г. В настоящее время составлен проект на строительство карьера производительностью 10 тыс.м³ блоков в год и дробильно-сортировочного завода для переработки отходов. Проектом предусмотрен выход блоков объемом более 0,7 м³ - 17% (по данным детальной разведки месторождения). В то же время, по данным многолетней эксплуатации месторождения и по результатам изучения блочности габбро-диабазов Институтом геологии, выход блоков I-III групп по ГОСТу 9479-76 с объемом более 1 м³ колеблется от 5 до 10%.

2. Кашиногорское месторождение гранитов. Расположено на восточном берегу Онежского озера. Сложено розовато-серыми плагио-микроклиновыми гранитами, характеризующимися слабо развитой трещиноватостью, обеспечивающей получение до 50-60% крупных блоков правильной геометрической формы. На месторождении начато строительство карьера производительностью до 15 тыс.м³ блоков в год и до 30 тыс.п.м бортового камня.

3. Месторождение гранитов Сюскюянсаари. Расположено на северном берегу Ладожского озера в 12 км от г.Питкяранта. Сложено высокодекоративными гранитами красного цвета. Разрабатывается с 1972 г. Из-за сложной системы трещин выход блоков составляет 6-10%. Проектная мощность карьера 15 тыс.м³ блоков в год.

4. Шокшинское месторождение кварцито-песчаников. Расположено на западном берегу Онежского озера в 60 км южнее г.Петрозаводска. Сложено высокодекоративными кварцитами малинового и красного цвета с очень высокими прочностными свойствами. Разрабатывается около 200 лет. Из-за интенсивной передробленности добыча блочного камня проводится только для особо ответственных сооружений. В основном же здесь производятся футеровочные изделия, дробящие тела и другие виды продукции, а из отходов выпускается строительный щебень.

5. Рускеальское месторождение мраморов. Расположено в 30 км севернее г.Сортавала. Это одно из старейших месторождений Карелии, которое было открыто в 1766 г. и длительное время разрабатывалось для строительства монументальных сооружений г.Петербурга. В 1895 г. на месторождении был построен известковый

завод, на котором для производства извести перерабатывались кальцитовые разновидности мраморов. В 1972 г. начато строительство карьера по добыче 10–12 тыс. м³ мраморных блоков в год. При достижении проектной мощности карьера Кондопожский камнеобрабатывающий завод может полностью освободиться от поставок уральского мрамора.

6. Импилазмское месторождение гранитов. Расположено на северном берегу Ладожского озера в 10 км юго-западнее ст. Импилахти. Сложено плагиогранитами серого цвета. Разведано в 1970 г. По данным детальной разведки, выход крупных блоков равен 15%. Месторождение не эксплуатируется.

7. Уксунлахтинское месторождение гнейсогранитов. Расположено в 11 км юго-восточнее г. Питкяранты. Сложено плагиомикроклиновыми гнейсогранитами красного цвета. Разведано в 1972 г. Выход блоков по результатам проходки опытного карьера составляет 11%. Месторождение является резервной базой Московского камнеобрабатывающего завода „Водник“.

Кроме перечисленных месторождений, балансом запасов учтено 4 месторождения на восточном берегу Онежского озера: Немечкая гора, мыс Гоношиха, Оровогубское и Сиверское. Однако эти месторождения геологически слабо изучены (запасы приняты по категории С₁-С₂), из-за сильной передробленности зачастую не пригодны для добычи блоков или не отвечают требованиям закона „Об охране природы“ (Гоношиха, Оровогубское) и должны быть сняты с баланса запасов. В то же время балансом не учтено два новых месторождения, принятых в последние годы Государственной комиссией по запасам СССР (ГКЗ).

1. Уккомьякинское месторождение гнейсогранитов. Расположено в Питкярантском районе в 4 км северо-восточнее месторождения Сюскюянсаари. Сложено плагиомикроклиновыми гранитами розовато-серого цвета. Выход стандартных блоков по ГОСТу 9479-76 составляет 72,1%. Выход блоков I-III групп, т.е. с объемом выше 1 м³, - 20-25%. Запасы утверждены ГКЗ в 1977 г. На месторождении открыт карьер блочного камня, производительность которого планируется довести до 5 тыс. м³ в год.

2. Моторинское месторождение гранитов. Расположено в Кондопожском районе в 6 км северо-западнее пос. Спасская губа. Сложено плагиомикроклиновыми порфиробластическими гранитами серого и розовато-серого цвета. Выход блоков I-III групп равен 20%. Запасы утверждены ГКЗ в 1979 г.

Таким образом, из краткой характеристики существующей в настоящее время сырьевой базы для камнеобрабатывающей промышленности видно, что, несмотря на наличие в недрах Карелии широкой гаммы облицовочных камней, на обработку поступает всего пять их разновидностей.

Известно, что месторождения высокодекоративных пород с высоким выходом блочного камня в природе встречаются не так уж часто, как это казалось ранее многим исследователям. Это положение характерно и для богатой камнем Карелии. В 1970-1979 гг. лабо-

раторией природного камня Института геологии Карельского филиала АН СССР обследовано и изучено около 500 ранее известных и ряд новых месторождений каменных строительных материалов. Как и ожидалось, большинство обследованных объектов по различным причинам не пригодны для добычи блочного камня. Установлено, что для добычи блоков объемом более 1 м³ (I-III групп по ГОСТу 9479-76) может быть использовано всего 84 месторождения. По минералогическому составу эти месторождения образуют несколько групп горных пород, целесообразность дальнейшего изучения и освоения которых различна.

В Пудожском районе вдоль восточного берега Онежского озера выявлено 13 месторождений крупноблочного камня с ожидаемым выходом блоков от 25 до 85%. В экономическом отношении в наиболее благоприятных условиях находятся месторождения: Токимовка, Тетерина гора, Немечкая гора, массив Левинсон-Лессинга, Куликовский массив, ориентировочные запасы которых составляют около 300 млн. м³. В геологическом строении этих месторождений принимают участие плагиомикроклиновые граниты, которые как по составу, так и по декоративным качествам подобны гранитам Кашиной горы, и поэтому в настоящее время рациональнее всего реконструкция действующего Кашиногорского карьера с доведением его мощности до 15 тыс. м³ гранитных блоков в год, а не разведка новых месторождений.

Следующая группа перспективных месторождений находится вблизи Ладожского озера. В отличие от Пудожского района месторождения представлены здесь различными горными породами. Так, месторождения Уккомьяки, Нуолайниemi, Сумерилахти (Импиллахтинское), Улливуори представлены розовато-серыми плагиомикроклиновыми гнейсогранитами. Выход крупных блоков правильной геометрической формы по характеру трещиноватости и результатам проходки опытного карьера на Уккомьякинском месторождении составляет 20-25%.

Значительный практический интерес представляют месторождения гранитов рапакиви: Пиени-Лехмаваара, Пиени-Келиваара, Муставаара Улялегское (Пряжинский р-н). Для этих пород характерна слабо-развитая система трещин, обеспечивающая высокий выход крупноблочного камня (30-50%). Например, по результатам предварительной разведки, с проходкой опытного карьера на Пиени-Келиваарском месторождении выход блоков определен в 30%.

Весьма интересно Улялегское месторождение гранитов рапакиви. Расстояния между трещинами достигают 30 м. Труднее здесь определяется мощность пластовой отдельности. В небольших коренных выходах она колеблется от 10-20 до 60 см, и поэтому судить об этой „плитчатости“ о блочности пород невозможно. Вероятнее всего, эта плитчатость образовалась под воздействием приповерхностных сил отпора. Более надежные сведения о мощности пластовой отдельности можно получить только бурением скважин. При увеличении мощности до 1-2 м здесь возможно получение не только крупных блоков, но и монолитов для изготовления колонн, по-бных колоннам Исаакиевского собора. В настоящее время на этом месторождении должны проводиться геолого-разведочные работы.

Несколько отличным является месторождение розовых и розовато-желтых среднезернистых порфировидных гранитов рапакиви Реполяки, на котором пройден опытный карьер объемом 200 м³ горной массы и определен выход мелких блоков со средним объемом 0,7 м³ в 17%.

Целый ряд месторождений блочного камня расположен на островах Ванинсенсаари, Риеккалансаари, Киркосаари и т.д., однако все они сложены серыми гранитами типа Импиниэмского месторождения и поэтому на данном этапе постановка вопроса о их разведке и освоении нецелесообразна.

В Лахденпохском районе из 4 месторождений блочного камня наиболее перспективным является месторождение розовато-серых порфировидных гранитов (о-ва Путсаари), разрабатывавшегося в конце XIX столетия Валаамским монастырем (педестал памятника Екатерине II в Ленинграде и др.). На месторождении выделяются самостоятельные участки, на которых граниты пересекаются почти под прямыми углами тремя системами трещин. Среднее расстояние между трещинами в системах равно 2–2,8 м, что обеспечивает получение крупных блоков объемом до 15 м³ с выходом 40–90%. На месторождении проведены поисковые работы, но дальнейшее изучение приостановлено из-за островного положения, создающего определенные трудности для освоения.

В Пряжинском районе закончена предварительная разведка Ковдьярвинского месторождения высокодекоративных мраморов зеленого цвета. Ожидаемый выход крупных блоков 20–25%.

В Кондопожском районе, кроме Моторинского месторождения гранитов, заслуживают внимания Викшиламбинское и Матюковское месторождения габбро-диабазов, на которых, по предварительным данным, возможно получение блоков крупных размеров. По химическому составу габбро-диабазы Викшиламби могут служить также сырьем для камнелитейной промышленности.

Очень интересны цветные мраморы Пяозерского месторождения с красивым рисунком, обусловленным остатками древних водорослевых образований. В 1973 г. Кондопожским камнеобрабатывающим заводом на этом участке было добыто 6 опытных блоков объемом от 1 до 3 м³. Площадь участка занята сельскохозяйственными угодьями, что значительно осложняет освоение месторождения. Подобные же водорослевые доломиты имеются в 1 км восточнее дер. Пяозеро на более крупных месторождениях Кимсайранда и Кивисурья, на которых необходима постановка поисково-ревизионных работ с проведением поискового бурения, так как с поверхности они покрыты четвертичными отложениями.

Широкой популярностью пользуется Белогорско-Тивдийская группа месторождений цветных мраморов, использовавшихся в прежние времена при возведении многих архитектурных сооружений Петербурга (Мраморный дворец, Чесменская колонна, Исаакиевский собор, Этнографический музей и т.д.). При старой технологии добывались монолиты для колонн длиной до 6–7 м и диаметром до 1 м. Для получения колонного камня в основании уступа, высота

которого достигала 20 м, вырубались ниши, а вдоль верхней бровки пробуривалось несколько скважин. Затем пороховыми зарядами от уступа отделялась крупная масса мраморов, которая при падении раскалывалась по естественным трещинам на отдельные глыбы. Подобным образом в 1850 г. была отделена масса объемом 324 куб. саженей (2,5 тыс.м³). В 1901 г. была отделена скала высотой 12, длиной 7 и шириной 6 саженей, т.е. более 4 тыс.м³ горной массы, при разработке которой было изготовлено 40 монолитов для колонн высотой 9,5 аршин и, таким образом, получено только колонного камня 300 м³ или 8% от добытой горной массы. В наше время на Белогорском месторождении проводились многочисленные геолого-разведочные работы, были сделаны опытные карьеры, делались попытки добывать блоки методом массового обрушения горной массы применением бризантных взрывчатых веществ или методом сплошного обрушения блоков заданного размера и т.д., но ни один из этих методов не дал положительного ответа на вопрос о возможности получения крупноблочного камня. Наконец, в сентябре 1979 г. на месторождении был осуществлен комбинированный метод отпалки большого объема горной массы (около 5 тыс.м³), подобно старому медовскому способу. В настоящее время проводится разборка добытой массы мрамора, но, по предварительным данным, этим методом возможна разработка сложных по трещиноватости месторождений с получением достаточно высокого выхода промышленных блоков.

В Медвежьегорском районе наиболее перспективным на блочный камень является Ванжозерское месторождение крупнозернистых розовато-серых гранитов, расположенное в зоне Беломоро-Балтийского анала в 7 км от пристани в дер. Морская Масельга. При строительстве канала месторождение разрабатывалось на шебень, бут и блочный камень, которым облицованы цоколь и порталы здания Совета Министров СССР в г. Москве. Гранитные блоки добывались в отдельном карьере, сохранившемся до настоящего времени в таком идеальном порядке, что к эксплуатации месторождения можно приступить в любое время. Граниты рассекаются правильной системой вертикальных трещин, расстояния между которыми колеблются от 1 до 2 м при мощности пластовой отдельности 1–3 м, что обеспечивает получение до 50% крупных блоков объемом до 20 м³.

В последние годы выявлен целый ряд перспективных месторождений блочного камня в северных районах Карелии, разведка и освоение которых позволит создать новую сырьевую базу для камнеобрабатывающей промышленности. Главным преимуществом этих месторождений в отличие от традиционной сырьевой базы южной Карелии является слабая передробленность слагающих их пород, обеспечивающая получение высокого выхода блоков I–III групп по ГОСТу 9479–76.

Сумпосадское месторождение розовато-серых порфировидных гранитов расположено в Беломорском районе в 3,5 км севернее пос. Сумпосадский Посад на г. Пустовская. По характеру трещиноватости выход блоков составит 35–40%. Прогнозные запасы около 15 млн.м³.

Мянджуваарское месторождение светло-красных микроклиновых гнейсогранитов расположено в Кемском районе в 10 км юго-западнее г. Кемь. Ожидаемый выход блоков 50%. Прогнозные запасы около 40 млн.м³.

Авнелорогское месторождение габбро расположено в Кемском районе в 1 км западнее пос. Авнелорог и по художественно-эстетическим качествам относится к группе высокодекоративных пород черного цвета с мерцающим блеском. Выход блоков объемом более 1 м³ до 70%. Прогнозные запасы небольшие (0,3 млн.м³).

Наиболее богата запасами высокодекоративных облицовочных материалов территория Лоухского района. Здесь выявлено 11 месторождений габбро, габбро-норитов, 4 - гнейсогранитов, 3 - гранатовых амфиболитов и 1 месторождение порфиридных гранитов. Общие прогнозные запасы составляют более 1 млрд.м³. Однако изучены эти месторождения пока еще очень слабо.

На стадии детальной разведки находятся габбро-нориты месторождения Черная Салма, расположенного на берегу Чупинского залива Белого моря около пос. Чкаловского. Месторождение сложено высокодекоративными габбро-норитами черного цвета с вкрапленниками голубого плагиоклаза. Выход крупных блоков 30%. Запасы 3 млн.м³.

Из группы месторождений серых гнейсогранитов МПСМ РСФСР дана заявка на разведку Шатковборского месторождения, расположенного на северном берегу Чупинского залива западнее пос. Малиноваварака. Ожидаемый выход блоков составляет 35%. Запасы практически неограниченные. Выдана заявка и на разведку Карниваарского месторождения порфиридных гранитов, расположенного в 10 км юго-восточнее пос. Тунгозеро. Ожидаемый выход блоков 75%. Прогнозные запасы 75 млн.м³.

Кроме того, в северных районах выявлено несколько разновидностей таких высокодекоративных пород, как микроклиновые граниты Елетьозера и Пяозера, гранит-порфиры Тироярви и кварцевые порфиры Ноттовараки. Эти местопоявления требуют еще дополнительного изучения и поисков участков с небольшой трещиноватостью на которых было бы возможно добывать крупные блоки.

12 месторождений крупноблочных гранитов и гранодиоритов с ожидаемым выходом блоков от 20 до 60% выявлено в Суоярвском, Муезерском и Калевальском районах. К сожалению, на сегодняшний день в транспортном отношении благоприятно расположено только одно Колонгъярвинское месторождение гранодиоритов с ожидаемым выходом блоков до 40%. Это месторождение находится в 8 км от ст. Ледозеро. Остальные месторождения расположены в слабо населенной и труднодоступной местности, сложены рядовыми гранитами серого цвета и на данном этапе большого интереса не представляют.

Таким образом, в настоящее время на территории Карелии известно более 80 месторождений блочного камня с прогнозными запасами свыше 4,5 млрд.м³, т.е. перспективы дальнейшего развития камнеобрабатывающей промышленности республики весьма благоприятны.

В то же время разведка и освоение новых месторождений выдвигают и ряд новых проблем. Как известно, наиболее рентабельными являются крупные карьеры по добыче блоков производительностью 10-15 тыс.м³ блоков в год. На действующих карьерах Карелии планируется доведение добычи блоков на Ладожском и Шальском карьерах до 15 тыс.м³, на Уккомьякинском - до 5 тыс.м³, на Ропручейском и Рускеальском - до 10 тыс.м³. На разведываемых месторождениях Муставаарском и Ковадъярвинском - до 10 тыс.м³. Вероятно, по 5 тыс.м³ будет добываться на Белой горе и Черной Салме. Итого 85 тыс.м³. В дальнейшем, после разведки 5 новых месторождений, на которые выдана заявка в 1979 г., добыча блоков увеличится еще приблизительно на 50 тыс.м³ и составит 130-140 тыс.м³. В настоящее время из 1 м³ горной породы в среднем получается 15 м² облицовочных материалов. Таким образом, при достижении проектной мощности только на 5 действующих карьерах (60 тыс.м³) возможно получение 800-900 тыс.м² плит, а при освоении новых месторождений - около 2 млн.м². Основное камнеобрабатывающее предприятие Карелии (Кондопожский завод) выпускает уже около 250 тыс.м² облицовочных плит. В перспективе планируется увеличение выпуска продукции в 2 раза, т.е. до 400-500 тыс.м². Таким образом, уже в ближайшие годы завод не сможет переработать всю массу добываемых блоков, если учесть, что из группы крепких пород он производит только 30% продукции, а остальная же часть выпускается из дальнепривозных мраморов, травертинов и ракушечников. Подавляющее большинство пород облицовочного камня Карелии относится к группе крепких пород гранитов и габбро-диабазов (см. таблицу). Исходя из геологического строения Балтийского щита, нет основания рассчитывать на выявление пород средней крепости. Следовательно, проблема заключается не только в разведке и освоении новых месторождений, но и в строительстве новых камнеобрабатывающих предприятий, способных переработать высокопрочные горные породы Карелии. Основа для создания одного предприятия уже имеется - это камнеобрабатывающий цех Приладожского карьероуправления. На базе этого цеха необходимо построить завод производительностью до 200-250 тыс.м² облицовочных плит в год. Сырьем для этого завода должны явиться располагающиеся в непосредственной близости месторождения: Сюсюоянсаари, Уккомьяки, Муставаара, Импиинэми, Келиваара, Путсаари, Улялега, Реломяки и Ковадъярви.

Для Кондопожского завода необходимо создать свою сырьевую базу, в которую должны входить граниты Кашиной горы, Моторино, Ванжозеро и частично ладожские месторождения, габбро-диабазы Ропручейского, Матюковского или Викшиламбинского месторождений, мраморы Рускеалы, Белой горы, Уляозерской группы месторождений и породы средней крепости Урала, Кавказа и Казахстана.

Выявление в северных районах Карелии крупных месторождений высокодекоративных и высокоблочных горных пород позволяет уже сейчас ставить вопрос не только об их разведке, но и о планировании строительства в районе пос. Чула нового камнеобрабатывающего завода производительностью до 250 тыс.м² в год.

Горные породы	Объемная масса, г/см ³	Прочность при сжатии в сухом состоянии, МПа	Водопоглощение, %	Коэффициент размягчения	Потери при истирании на круге ЛКИ, г/см ²	Сопротивление удару, кол-во ударов
Микроклиновые граниты	2.65	$\frac{204 - 313}{244}$	0.16	0.85	0.15	11
Плагиограниты	2.68	$\frac{196 - 351}{270}$	0.13	0.82	0.14	14
Порфировидные граниты	2.65	$\frac{179 - 325}{247}$	0.15	0.80	0.15	12
Гнейсграниты	2.69	$\frac{145 - 251}{192}$	0.21	0.73	0.17	13
Граниты ралакиви	2.69	$\frac{141 - 237}{198}$	0.26	0.84	0.14	8
Габбро-диабазы, диабазы	3.00	$\frac{200 - 449}{332}$	0.11	0.83	0.37	23
Габбро-диориты	2.98	$\frac{243 - 405}{300}$	0.15	0.78	0.22	15
Габбро	3.10	$\frac{220 - 351}{311}$	0.23	0.88	-	35.
Габбро-нориты	3.13	$\frac{195 - 476}{357}$	0.06	0.80	0.03	18
Гранатовые амфиболиты	3.10	$\frac{156 - 299}{216}$	0.17	0.61	0.19	9
Малиновые и красные кварциты	2.63	$\frac{254 - 468}{355}$	0.17	0.89	0.08	23
Белые кварциты	2.64	$\frac{237 - 436}{296}$	0.19	0.87	0.09	15
Доломиты	2.83	$\frac{164 - 328}{240}$	0.15	0.90	0.45	7

Второй проблемой является использование мелких блоков и утилизация отходов от добычи блочного камня. Современные камнеобрабатывающие заводы оснащены крупногабаритными станками типа „1925“, „043“, „ЛВГ-4“, „Адижж“ и т.д., рассчитанными на распиловку блоков объемом до 8 м³. Блоки же мелких размеров 1V-V групп объемом менее 1 м³ частично перерабатываются на бортовой камень, ступени, памятники, а в большинстве случаев отправляются в отвалы. В связи с этим на действующих карьерах необходимо предусмотреть организацию собственных цехов по утилизации мелких блоков на бортовой и стеновой камень, ступени, памятники, мелкоразмерную облицовочную плитку, мостовую шашку и щебень. При такой организации производства крупные блоки будут отправляться на камнеобрабатывающие заводы, а мелкие обрабатываться на месте. В результате значительно повысится рентабельность самих карьеров, резко снизятся отходы сырья, промышленность дополнительно получит большое количество строительных материалов.

Кроме облицовочных материалов, огромное народнохозяйственное значение имеет производство высокопрочного строительного камня — щебня и бута, запасами которого Карелия необычайно богата. На сегодняшний день известно более 80 месторождений строительного камня с общими запасами около 8 млрд.м³, из которых разведано 14 месторождений с утвержденными запасами по промышленной категории 350 млн.м³. В эксплуатации находится 10 месторождений, выпускающих ежегодно до 3 млн.м³ высокопрочного щебня. В ближайшие годы производство щебня увеличится до 5-6 млн.м³. Потребность же в щебне центральных районов Европейской части СССР необычайно велика, и Карелия могла бы ее полностью удовлетворить.

Таким образом, вовлечение в эксплуатацию новых месторождений облицовочного и строительного камня и строительство новых камнеперерабатывающих предприятий позволит создать в Карелии мощную отрасль промышленности строительных материалов, которая в недалеком будущем превратится в одну из ведущих отраслей промышленности республики и будет играть существенную роль в развитии ее экономики.

Л и т е р а т у р а

1. Тимофеев В.М. Карта каменных строительных материалов Прионежья. — Тр. Ленингр. геол.-разв. треста, 1932, вып.1.
2. Борисов П.А. Каменные строительные материалы Карелии. Петрозаводск, 1963.
3. Баланс запасов полезных ископаемых СССР, вып.79, М., 1977. 817 с.
4. Рылеев А.В., Александров В.И. Сырьевая база камнеобрабатывающей промышленности Карельской АССР. — В кн.: Минеральное сырье Карелии. 1977.

СЫРЬЕВАЯ БАЗА ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

„На новых путях человеческой культуры камень превращается в могучее орудие развития техники и науки, в орудие технического и промышленного прогресса... Шире дорогу камню в науку и технику, в искусство, архитектуру – в самую жизнь, – жизнь яркую, красочную, полную труда и творчества...”, – этими словами академик А.Е. Ферсман [1, с. 209, 210] четко обозначил тот факт, что изучение камня в настоящее время является важной проблемой, закономерно вытекающей из требований жизни людей в нашем обществе, которая должна быть не только материально обеспеченной, но и духовно богатой и эстетически насыщенной. Поэтому при строительстве различных объектов в северных районах страны, отличающихся суровыми климатическими условиями, особо актуальным является использование высокодекоративных долговечных облицовочных материалов из природного камня.

Кольский полуостров обладает значительными ресурсами природного облицовочного камня, который представлен как традиционными (граниты, габбро, перидотиты и др.), так и уникальными (хибиниты, луявриты) породами. Большое разнообразие облицовочного камня, значительные запасы и благоприятные горно-технические условия многих месторождений природно-каменного сырья позволяют ставить вопрос о расширении объемов камнедобычи и производства облицовочных изделий с целью удовлетворения потребностей как Мурманской области, так и других районов страны [2].

Первые широкие разведочные исследования облицовочного камня Кольского полуострова были выполнены В.М. Горюновым в середине 1960-х годов, а в дальнейшем продолжены Г.Ю. Пушкиным [3]. Плановые геолого-разведочные исследования на облицовочный камень в пределах Кольского региона начались с 1968 г. К 1971 г. геологами была выполнена детальная разведка хибинита месторождения Айкуайвенчорр, к 1972 г. – доломитов Пирттиярви, в 1974 г. завершены работы по оценке запасов гранитов месторождения Одьярв.

С 1970 г. Кольским филиалом АН СССР начаты работы по изучению вскрышных пород действующих горно-добывающих предприятий Мурманской области. В результате проведенных исследований была установлена целесообразность использования блоков негабаритов вскрышных пород Ждановского медно-никелевого месторождения для производства облицовочных изделий [4, 5]. Дальнейшие исследования, направленные на изучение облицовочного камня перспективных месторождений Кольского полуострова и отработку технологии получения изделий, выявили целесообразность разработки гранитов Кузреки и гранодиоритов Б.Сормозера, габбро Мончетундры, диоритов Шонгуя и некоторых других месторождений [6, 7]. Учитывая необходимость решения проблемы утилизации отходов

камнедобычи и камнеобработки, а также использования мелкоблочного цветнокаменного сырья, в Кольском филиале АН СССР начаты исследования таких материалов в качестве заполнителей для получения декоративных бетонов [8].

Ниже приводится краткая характеристика изученных месторождений облицовочного камня Кольского полуострова.

Ждановское месторождение расположено в 5 км к югу от г. Заполярный Печенгского района.

Перидотиты серпентизированные темно-серого, почти черного цвета с зеленоватым оттенком. Структура мелко- или среднезернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная. Встречаются серпофитовые, серпофит-карбонатные, диопсидовые жилы. Средний минеральный состав: 20% оливина, 10% пироксена, 60% различных серпентиновых минералов, 10% рудных. По декоративности, которую придают жильные образования, порода относится к группе декоративного облицовочного камня (по шкале ВНИПИИСтромсырье); принимает полировку отличного качества (165–180 ед. по шкале блескомера НИИКС-М). Предел прочности при сжатии 144–344 МПа, плотность 2.79–3.14 г/см³, динамический модуль упругости $9.2 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0.9, истираемость 0.007–0.008 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Сырьевой источник – негабариты вскрышных пород рудника. Средний объем блоков 0.22 м³, выход блоков объемом более 1.5 м³ – 5%. Возможно получение до 1 тыс. м³ негабаритов в год.

Пироксениты темно-серого, почти черного цвета с желтовато-зеленым оттенком. Структура мелко- или среднезернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная. Средний минеральный состав: 75% авгита, 15% плагиоклазов, 10% титаномангнетита. Породы, декоративность которой придают главным образом разнообразные жильные образования: эпидотовые, карбонатные, аксинитовые, относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку отличного качества (170–180 ед.). Предел прочности при сжатии 124–322 МПа, плотность 2.95–3.23 г/см³, динамический модуль упругости $10.7 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0.9, истираемость 0.01–0.015 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Сырьевой источник: негабариты вскрышных пород рудника. Средний объем блоков 0.27 м³, выход блоков объемом более 1.5 м³ – 3.5%. Возможно получение до 0.5 тыс. м³ негабаритов в год.

Габбро черно-серого цвета с зеленым оттенком. Структура мелко- или среднезернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная. Средний минеральный состав: 65% альбит-эпидотового агрегата, 25% пироксена (авгита), 10% хлорита. Породы, декоративность которой определяется количественным соотношением минеральных компонентов, относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку отличного качества (170–180 ед.). Предел прочности при сжатии 123–317 МПа, плотность 3.01–3.2 г/см³, динамический модуль упругости $10.1 \cdot 10^4$ МПа, ко-

коэффициент размягчения более 0,9, истираемость 0,011–0,035 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Сырьевой источник: негабариты вскрышных пород рудника. Средний объем блоков 0,35 м³, максимальный – 8–14 м³. Выход блоков объемом более 1,5 м³ – до 30%. Возможно получение до 4 тыс. м³ негабаритов в год. Месторождение Мончетундра расположено в 12 км к юго-западу от г. Мончегорска.

Г а б б р о черного, темно-серого цвета с зеленоватым и лиловым оттенками. Структура крупно- или среднезернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная. Минеральный состав: 50–85% плагиоклазов (лабрадор), 10–35% пироксенов диопсид-геденбергитового ряда, 5–15% амфиболов (роговая обманка, актинолит). На месторождении присутствуют измененные вторичными процессами породы: метагаббро, контрастного бело-черного цвета, средне- и крупнозернистые с пятнистыми слаботрахитоидными и трахитоидными текстурами. Метагаббро в разрезе месторождения занимают подчиненное положение. По декоративности габбро и метагаббро относятся к группам, соответственно, декоративного и высокодекоративного облицовочного камня, принимают полировку отличного качества (160–180 ед.). Предел прочности при сжатии габбро 155–353 МПа, метагаббро – 146–228 МПа, плотность габбро 2,85–2,96 г/см³, метагаббро – 2,82–2,89 г/см³, динамический модуль упругости габбро $9,9 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0,9; истираемость 0,014–0,137 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Средний объем блоков 0,7 м³, выход до 20%. Запасы по С₁ категории составляют 753 тыс. м³, из них габбро – 575,8 тыс. м³ (по данным предварительной разведки).

Месторождение Шонгуй расположено в 5 км к юго-востоку от ст. Шонгуй Кольского района.

Д и о р и т светло-серого цвета с розовым оттенком. Структура среднезернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная. Минеральный состав: 65–70% плагиоклазов (олиоклаз, андезин), 30–35% амфиболов (роговая обманка). В породах встречаются жилы аплитовидных гранитов. Диорит относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку хорошего качества (130–170 ед.). Предел прочности при сжатии 160–247 МПа, плотность 2,73–2,77 г/см³, динамический модуль упругости $5,8 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения 0,9, истираемость 0,12–0,13 г/см². Горно-технические условия месторождения удовлетворительные, на отдельных участках благоприятные. Средний объем блоков 1,4 м³, выход 27%. Утвержденные в ТКЗ запасы по А+С категориям – 441,8 тыс. м³ и по С₂ – 584,1 тыс. м³.

Месторождение Б.Сормозеро расположено в 9 км к юго-востоку от пос. Умба Терского района.

Г р а н и д и о р и т темного, зеленовато-серого цвета. Структура порфириовидная со средне- и крупнозернистой основной массой. Текстура массивная, слаботрахитоидная. Средний минеральный состав: 25,4% кварца, 42,3% плагиоклаза, 15,8% полевых шпатов, 13,5% биотита. Гранодиорит относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку хорошего качества (130–150 ед.). Пре-

дел прочности при сжатии 180–210 МПа, плотность 2,67–2,72 г/см³, динамический модуль упругости $6,1 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0,9, истираемость 0,045–0,065 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Расчетный объем блоков от 0,4 до 5 м³. Расчетный выход блоков 30–40%.

Кузреченское месторождение расположено в 27 км к юго-востоку от пос. Умба Терского района.

Г р а н и т серовато-розового цвета. Структура порфириовидная со средне- и крупнозернистой полнокристаллической неравномерно-зернистой основной массой типа ралакиви. Текстура массивная, иногда трахитоидная. Минеральный состав: 19–48% кварца, 25–31% плагиоклаза, 31–36% микроклина, 6–9% биотита, акцессории и вторичные минералы 1–2%. Декоративность породы определяется сочетанием крупных порфириовидных кристаллов розового микроклина и высококрасного полевого шпата на сером фоне скоплений зерен кварца и биотита. Гранит относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку хорошего качества (130–150 ед.). Предел прочности при сжатии 145–200 МПа, плотность 2,66–2,72 г/см³, динамический модуль упругости $5,7 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0,9, истираемость 0,039–0,058 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Средний расчетный объем блоков от 0,8 до 9,7 м³. Расчетный выход блоков 45%. Прогнозные запасы 4,6 млн. м³. Чернореченское месторождение расположено в 25 км к юго-востоку от пос. Умба Терского района.

Г р а н и т светло-розового цвета. Структура порфириовидная со средне- и крупнозернистой основной массой типа ралакиви. Текстура массивная или трахитоидная, реже пятнистая. Минеральный состав: 35% кварца, 20–30% плагиоклаза, 40–50% микроклина, 5–10% биотита. Гранит этого месторождения относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку хорошего качества (135–160 ед.). Предел прочности при сжатии 147–174 МПа, плотность 2,68–2,74 г/см³, динамический модуль упругости $5,6 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0,9, истираемость 0,04–0,06 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Средний расчетный объем блоков от 0,46 до 1,23 м³. Расчетный выход 36%. Прогнозные запасы 4,7 млн. м³.

Месторождение Одьвр расположено в 17 км от пос. Туманный Кольского района.

Г р а н и т светло-серого, серого цвета с голубым оттенком. Структура порфириовидная со среднезернистой основной массой. Текстура преимущественно массивная. Минеральный состав: по 25–35% кварца, плагиоклаза, микроклина, до 5% биотита. Порода относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку хорошего качества (130–160 ед.). Предел прочности при сжатии 147–261 МПа, плотность 2,60–2,76 г/см³, динамический модуль упругости $5,6 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент размягчения более 0,9, истираемость 0,03–0,05 г/см². Горно-технические условия месторождения удовлетворительные. Средний расчетный объем блоков 4,5 м³. При выходе 30% блоков, запасы категории С₁ составляют 597,5 тыс. м³.

Месторождение Айкуайвенчорр расположено в 5 км к юго-востоку от г. Кировска.

Хибинит трахитоидный светло-серого цвета с зеленоватым оттенком с включениями красного и буровато-красного эвдиалита. Структура аглаитовая. Текстура массивная, трахитоидная. Минеральный состав: 30–48% полевого шпата, 36–55% нефелина, 10–16% эгирина, арфведсонита, акцессории: эвдиалит, сфен, апатит, лампрофиллит, титаномагнетит. Порода относится к группе высокодекоративного облицовочного камня, принимает полировку отличного качества (160–170 ед.). Предел прочности при сжатии 125–175 МПа, коэффициент размягчения 0,74–0,94, истираемость 0,32–0,43 г/см². Горно-технические условия месторождения удовлетворительные. Средний объем блоков 0,42 м³. Выход блоков 14 Утвержденные ГКЗ запасы по категориям А+В – 449 тыс. м³; А+В+С₁ – 2815 тыс. м³.

Месторождение Аллуайв расположено в 5 км к юго-западу от пос. Ильма Ловозерского района.

Луяврит темно-серого цвета с включениями зерен эвдиалита. Структура среднезернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная, трахитоидная. Минеральный состав: 25–30% нефелина, 45–55% полевого шпата, 10–15% эгирина, 5–15% эвдиалита. Эвдиалитовый луюврит относится к группе декоративного облицовочного камня, принимает полировку хорошего качества (120–150 ед.). Предел прочности при сжатии 170–260 МПа, плотность 2,64–2,78 г/см³, динамический модуль упругости 4,7·10⁴ МПа, коэффициент размягчения более 0,8, истираемость 0,4–0,44 г/см³. Горно-технические условия месторождения удовлетворительные.

Месторождение Пирттиярви расположено в 5 км к юго-востоку от г. Заполярный Печенгского района.

Доломитовые мраморы белого, светло-серого цвета с розовыми и кремовыми оттенками. Структура тонко- или мелкозернистая, равномерно-зернистая. Текстура массивная, пятнистая, полосчатая. Минеральный состав: 80–98% карбонатов (преимущественно доломит), 2–10% кварца; мусковит, тальк, хлорит, полевой шпат – единичные зерна. Более интенсивно окрашенные в розовые тона участки пород образуют обычно пятна, имеющие концентрическое строение (размер до 3 см), полосы с различной степенью насыщенности тона (ширина полос 0,5–2 см). Встречаются мраморы интенсивно окрашенные в розово-бурые цвета. Мраморы просвечивают в зависимости от густоты окраски, более светлые просвечивают интенсивнее. Доломитовые мраморы относятся к группе декоративного облицовочного камня, принимают полировку хорошего и отличного качества (145–185 ед.). Предел прочности при сжатии 120–230 МПа, плотность 2,72–2,79 г/см³, динамический модуль упругости 7,9·10⁴ МПа, коэффициент размягчения более 0,9, истираемость 0,3–0,4 г/см². Горно-технические условия месторождения благоприятные. Средний объем блоков 0,4 м³. Выход 30%. Утвержденные запасы по категориям А+В+С₁ составляют 958 тыс. м³.

В результате проведенных работ в Мурманской области в г. Кировске созданы и успешно функционируют два камнеобрабатыва-

ющих цеха по производству облицовочных и архитектурно-строительных изделий общей производительностью в настоящее время около 100 тыс. м² в год с увеличением в ближайшие годы объема производства до 50 тыс. м². Камнеобрабатывающий цех, использующий в качестве сырья негабариты вскрышных пород Ждановского месторождения, выпускает преимущественно облицовочные и архитектурно-строительные изделия из габбро, перидотитов и пироксенитов. Следует отметить высокие технико-экономические показатели этого цеха, которые достигаются за счет сравнительно низкой стоимости сырья, добываемого полутно (не более 30 руб. за 1 м³).

На введенном в эксплуатацию в 1978 г. участке по добыче и обработке камня объединения „Карелстройматериалы“ освоено производство облицовочных изделий из гранитов Кузреченского месторождения, выпущены партии изделий из габбро месторождения Монгундра, гранитов месторождения Одьярв и Чернореченского, хибинитов Айкуайвенчорра. На Кондопожском камнеобрабатывающем заводе успешно прошла опытно-промышленную проверку технология производства облицовочных изделий из диоритов месторождения Шоноры, гранодиоритов Б.Сормозеро, луювритов Аллуайва.

Таким образом, проведенные исследования в целом показывают, что Кольский регион обладает большим разнообразием горных пород, в том числе уникальных, пригодных для производства высококачественных облицовочных материалов, что создает основу развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности в Мурманской области и расширения ассортимента выпускаемых облицовочных изделий из природного камня.

Л и т е р а т у р а

- Ферсман А.Е. Рассказы о самоцветах. Л., 1954.
Горбунов Г.И. Проблема комплексного использования минерального сырья Кольского полуострова. – В кн.: Проблема комплексного использования минерального сырья. М.: Наука, 1975, с.59–71.
Теннер Д.Д. Декоративные камни Кольского полуострова и пути их комплексного изучения. – В кн.: Химия и технология переработки силикатного сырья. Л.: Наука, 1975, с.88–103.
Алексеев Г.В., Макаров В.Н., Мазаник В.Н. и др. Использование вскрышных пород медно-никелевых месторождений Кольского полуострова как облицовочного камня. – В кн.: Химия и технология переработки силикатного сырья. Л.: Наука, 1975, с.112–116.
Алексеев Г.В., Бибиков Б.И., Крашенинников О.Н. и др. Использование вскрышных пород и отходов горных предприятий для производства строительных материалов в Мурманской области. – В кн.: Безотходная технология переработки полезных ископаемых. Ч.2. М., 1979, с.148–150.
Бибиков Б.И., Гимельфарб А.А., Тиманов В.В. и др. Технологические свойства гранитоидов Кольского полуострова и Карелии как облицовочного камня. – В кн.: Строительные и технические материалы из минерального и техно-

- генного сырья Кольского полуострова. Л.: Наука, 1979, с.65-71.
7. Алексеев Г.В. Перспективность месторождения габбро „Мончегуэдра“ на получение блочного облицовочного камня. – В кн.: Строительные и технические материалы из минерального и техногенного сырья Кольского полуострова. Л.: Наука, 1979, с.71-75.
8. Лашук В.В., Гуревич Б.И., Крашенинников О.Н. и др. Декоративные заполнители из отходов горнодобывающих и обрабатывающих предприятий Кольского полуострова. – В кн.: Природные и техногенные силикаты для производства строительных и технических материалов. Л.: Наука, 1977, с.83-90.

И.А. Савостин

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

В общем объеме производства каменных облицовочных изделий в РСФСР заметную роль играет Северо-Западный экономический район, где ежегодно добывается 20-22 тыс.м³ блоков природного камня и производится 380-400 тыс.м³ облицовочных плит из гранита и мрамора. Развитие камнеобработки на Северо-Западе обусловлено тем обстоятельством, что в рассматриваемом районе, главным образом на Карельском перешейке Ленинградской области, а также в Карельской АССР и на Кольском полуострове, сосредоточено значительное количество месторождений облицовочного камня, характеризующихся благоприятными горно-техническими условиями отработки, большим разнообразием расцветок и типов горных пород. Разведанные запасы облицовочного камня здесь составляют несколько десятков миллионов кубометров.

Значение сырьевого фактора в данном районе еще больше возрастает, если учесть, что сопредельные с Северо-Западом РСФСР районы страны (Прибалтика, Белорусская ССР, Центральный и Центрально-Черноземный экономические районы) не располагают собственными сырьевыми базами облицовочного камня, и, как установлено расчетами, обеспечение их каменными облицовочными материалами целесообразно осуществлять главным образом за счет каменных ресурсов Северо-Запада.

Таким образом, сырьевые базы облицовочного камня Мурманской области, Карельской АССР и Ленинградской области должны быть положены в основу обеспечения каменными облицовочными материалами не только строительной индустрии Северо-Запада РСФСР, но и Прибалтики, Белорусской ССР и Центральных районов, которые в транспортном отношении тяготеют к месторождениям Карело-Кольского региона.

К концу X пятилетки из 17 разведанных в рассматриваемом районе месторождений облицовочного камня эксплуатировалось только 11, причем в меньшей степени освоена сырьевая база Карелии, в начальной стадии освоения – на Кольском полуострове. Более

того, из-за недостаточного развития местной сырьевой базы и отставания ее от темпов ввода в строй мощностей по камнеобработке ежегодно на камнеобрабатывающие заводы Северо-Запада закупаются с Урала, Закавказья и в незначительной степени из Узбекистана до 10 тыс.м³ блочного камня. В связи с дефицитностью блоков мрамора на Северо-Западе РСФСР и отсутствием мраморных месторождений на Украине камнеобрабатывающие заводы Центрального района, а также Белорусской ССР вынуждены работать на импортном привозном каменном сырье из Закавказья, Узбекистана, Урала. Сложившееся к настоящему времени на территории Северо-Запада РСФСР и близрасположенных районах страны размещение камнеобрабатывающих заводов характеризуется достаточно выраженной односторонностью, а именно основная масса заводов здесь расположена в местах концентрированного потребления каменных облицовочных материалов, строившиеся в 1977-1980 гг. камнеобрабатывающие предприятия размещаются вблизи Минска, Риги и других крупных городов, что предопределяет их загрузку каменным сырьем из отдаленных на 3000-4000 км районов Алтая, Узбекистана, Закавказья и Урала. По выполненным расчетам достигнутый к настоящему времени уровень производства каменных облицовочных изделий и намечаемое увеличение мощностей на предприятиях Ленинградской области и Карельской АССР позволяет удовлетворить потребность в облицовочных изделиях в перспективный период приблизительно на 50%.

Отставание в развитии сырьевой базы облицовочного камня на Северо-Западе, чрезмерная удаленность камнеобрабатывающих предприятий Центра и Ленинграда от источников каменного сырья обуславливают необходимость в отыскании более рационального варианта развития и размещения камнеобрабатывающей промышленности на Северо-Западе РСФСР и транспортно тяготеющих к нему районах страны. В этом плане представляется целесообразным ставить вопрос об интенсификации геолого-разведочных исследований облицовочного камня в Карело-Кольском регионе, о широком промышленном освоении этой крупной сырьевой базы, об ускоренном строительстве в данном регионе современных камнеобрабатывающих заводов и о переориентировании камнеобрабатывающих предприятий Кавказа и особенно Ленинградской области на переработку преимущественно карельского и кольского облицовочного камня. На наш взгляд, для обоснования изложенной позиции имеется ряд весомых предположений, в том числе: обширная и достаточно обследованная сырьевая база высокодекоративных облицовочных камней Карело-Кольского региона, позволяющая в перспективе заметно расширить сырьевую палитру каменных облицовочных изделий; значительный удельный вес северо-западных и сопредельных с ним районов страны в производстве каменных облицовочных материалов; возможность сокращения значительной части нерациональных перевозок каменного сырья из дальних районов Сибири, Узбекистана и Закавказья на камнеобрабатывающие заводы Ленинграда и Москвы за счет поставок блочного камня из Карелии и Мурманской области; относительно невысокие затраты

на рекультивацию нарушенных карьерами территорий, которые на Севере в ряде случаев не могут рассматриваться в качестве ценных сельскохозяйственных угодий; существующая потенциальная возможность организации поставок высококачественных облицовочных изделий из природного камня на экспорт в европейские страны через незамерзающий Мурманский торговый порт.

Учитывая, что за счет интенсивного промышленного освоения месторождений облицовочного камня Мурманской области и Карельской АССР в перспективе намечено обеспечить обеспечение каменным сырьем камнеобрабатывающие предприятия на Северо-Западе РСФСР и транспортно тяготеющих к нему районах, мы считаем целесообразным дальнейшее развитие камнеобрабатывающей промышленности в данной группе районов рассмотреть в разрезе четырех географических зон производства каменных облицовочных изделий: Карело-Кольской (Мурманская область и Карельская АССР), Ленинградской (Ленинградская и Псковская области), Московской (г. Москва и г. Черкизово), Прибалтийско-Белорусской (Эстонская ССР и Минская область).

В качестве сырьевых баз облицовочного камня по названным выше географическим зонам рекомендуются 24 месторождения, 11 из которых ныне эксплуатируются (ниже они подчеркнуты). По Карело-Кольской зоне: Айкуйвенчорр (хибинит), Шонгуй (диорит), Вальсеявр (гранит), Одьявр (гранит), Кузрека (гранит), Мончетундра (габбро) - в Мурманской области; Рускеала (мрамор), Ковадьярви (мрамор), Белая гора (мрамор), Кашигоря (гранит), Сюскюянсаари (гранит), Моторинское (гранит), Уккомьяки (гранит), Ропручей (габбро-диабаз), Черная Салма (габбро-норит) - в Карельской АССР. По Ленинградской зоне: Каарлахтинское (гранит), Возрождение (гранит), Каменногорское (гранит), Бородинское (гранит), Бабино сельцо (известняк) - в Ленинградской области; Тетеркинское (известняк) - в Псковской области. По Московской зоне: Коробчеевское (известняк) - в Московской области. По Прибалтийско-Белорусской зоне: Карма (доломит) - в Эстонской ССР и Глушковичи (гранит) - в Гомельской области. Общие запасы облицовочного камня на перечисленных месторождениях составляют свыше 80 млн. м³, в том числе гранита - 49 млн. м³, мрамора - 25 млн. м³, известняка - 19 млн. м³. Необходимо отметить, что месторождения облицовочного камня Вальсеявр, Одьявр, Кузрека, Мончетундра, Шонгуй к настоящему времени разведаны по категориям С₁ и С₂ и целесообразно проведение детальной разведки.

Из изложенного видно, что основная масса рекомендуемых к эксплуатации месторождений (включая те из них, на которых предусматривается расширение мощностей действующих карьеров) падает на Северо-Западный экономический район (21 месторождение из 24), а внутри района - на Карельскую АССР (9 месторождений), а также на Мурманскую и Ленинградскую области (соответственно 6 и 5 месторождений). В каждой из четырех географических зон

производства каменных облицовочных материалов имеется как минимум два типа горных пород (гранит-мрамор, гранит-известняк т.д.) с четырьмя-пятью расцветками облицовочного камня. Вместе с тем Ленинградская, Московская и Прибалтийско-Белорусская зоны не располагают собственными сырьевыми базами мрамора, отсюда потребность указанных зон в блоках мрамора целесообразно покрывать за счет поставок мраморных блоков с пяти месторождений Карело-Кольской зоны.

Рекомендуемая к промышленному освоению сырьевая база облицовочного камня позволяет обеспечить максимальную потребность камнеобрабатывающих предприятий рассматриваемого района в каменном сырье и одновременно свести к минимуму транспортировку блоков камня на заводы Москвы и Ленинграда из отдаленных районов страны.

Необходимо отметить, что мраморные блоки с месторождений Карельской АССР по сравнению с уральским белым мрамором характеризуются более высокой степенью трудности механической обработки и меньшими размерами, вместе с тем карельский мрамор отличается более красивой расцветкой. Переход камнеобрабатывающих предприятий рассматриваемой группы районов на обработку более прочного и относительно мелкоблочного мрамора карельских месторождений потребует соответствующей переоснастки камнерезных технологических линий. В частности, это вызовет широкое применение многодисковых распиловочных станков с алмазным инструментом и производство сцементированных ставок для распиливания блоков на крупногабаритных камнерезных станках, что в свою очередь обусловит некоторое удорожание распиловочных операций. Однако в связи с ограниченными запасами относительно мягких разновидностей мрамора процесс перестройки действующих камнеобрабатывающих предприятий применительно к обработке более прочного сырья представляется неизбежным и естественным.

Достигнутый к концу X пятилетки уровень производства каменных облицовочных изделий на Северо-Западе РСФСР и транспортно тяготеющих к нему районах составил немногим более 1 млн. м². Дальнейшее развитие производства каменных облицовочных изделий в данном регионе целесообразно рассматривать на протяжении трех этапов. Исходя из перспективной потребности указанных районов в каменных облицовочных материалах, возможностей сырьевой базы, необходимости совершенствования сложившейся в регионе схемы перевозок каменного сырья, а также установившихся темпов развития камнеобрабатывающей отрасли, общее производство натуральных каменных облицовочных плит в упомянутых районах предлагается довести до следующих объемов: на I этапе (1986-1990 гг.) до 1,8 млн. м², на II этапе (1991-1995 гг.) - 2,7 млн. м², на III этапе (1996-2000 гг.) - 3,8 млн. м². Достижение намеченных объемов производства натуральных облицовочных плит из природного камня позволило бы обеспечить удовлетворение потребности в камне рассматриваемого района на I этапе на 60% и на II и III этапах - на 70-75% (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Целесообразные уровни производства каменных облицовочных плит

Наименование зон производства плит	Выпуск плит, тыс.м ²			
	достигнутый уровень	I этап	II этап	III этап
Карело-Кольская зона	255	470	860	1420
Ленинградская зона	205	345	720	1015
Московская зона	585	675	770	850
Прибалтийско-Белорусская зона	180	285	390	515
Всего по региону	1225	1775	2740	3800

Из табл. 1 видно, что более высокие темпы развития производства каменных облицовочных плит (от 140 до 180%) характерны для Карело-Кольской, Ленинградской и Прибалтийско-Белорусской зон, в то же время наращивание мощностей камнеобрабатывающих заводов Московской зоны предполагается относительно умеренным, особенно на I этапе. В итоге трехэтапного развития отрасли удельный вес выпуска каменных облицовочных изделий в рамках рассматриваемого региона составит по Карело-Кольской зоне 37%, по Ленинградской зоне - 27%, в Московской зоне, не располагающей собственной базой каменного сырья, он сократится до 22%. При этом прирост мощностей по гранитным, мраморным и известняковым видам изделий к концу третьего этапа составит, соответственно, 115 825 и 595 тыс.м².

В плане конкретизации вопроса о размещении камнеобрабатывающих предприятий по каждой из четырех географических зон нами рассмотрено три варианта с учетом следующих положений: специфических особенностей размещения камнеобрабатывающей отрасли; сырьевых баз природного облицовочного камня; действующих в рассматриваемом районе восьми камнеобрабатывающих заводов; рекомендованных выше объемов производства каменных облицовочных изделий и дальнейшего прироста мощностей камнеобрабатывающих заводов; расчетных удельных капиталовложений на ввод в строй мощностей по переработке гранита, мрамора и известняка.

По первому варианту размещение производства каменных облицовочных изделий в указанных выше объемах предлагается осуществлять только на 8 действующих в регионе камнеобрабатывающих заводах за счет расширения их мощностей. По второму варианту рекомендованные объемы производства следует разместить как на 8 ныне действующих камнеобрабатывающих заводах региона, так и на 16 дополнительно построенных заводах, расположенных практически около каждого из рекомендованных к отработке месторождений облицовочного камня. Третий вариант предусматривает организацию производства каменных облицовочных изделий в указанных выше объемах на 14 камнеобрабатывающих заводах, в том числе

на 8 ныне действующих и 6 дополнительно построенных заводах, главным образом в Карельской АССР и Мурманской области. При этом размещать новые камнеобрабатывающие предприятия целесообразно не буквально в непосредственной близости от соответствующего месторождения камня, а в радиусе 40-150 км от комплекса сырьевых баз, состоящих из 2-3 месторождений. Расчетами установлено, что суммы капиталовложений, необходимых для строительства и расширения указанного выше числа камнеобрабатывающих заводов, составили бы по I варианту 60 млн.руб., по II варианту - 108 млн.руб., по III варианту - 95 млн.руб.

Представляется очевидным, что организация производства каменных облицовочных изделий по I варианту, т.е. только на базе развития мощностей на ныне действующих 8 камнеобрабатывающих заводах, в экономическом отношении была бы наиболее эффективной. В этом случае экономия капитальных вложений достигалась бы как за счет сокращения расходов на „привязку“ камнеобрабатывающих предприятий, сооружаемых на базе готовых коммуникаций действующих заводов, так и в связи с общей экономичностью строительства крупных предприятий. Однако при осуществлении на практике I варианта размещения заводов нарушался бы один из основных принципов размещения камнеобрабатывающей отрасли - принцип максимального приближения перерабатывающих производств к сырьевым запасам и вследствие этого на длительный период сохранялись бы неэкономичные перевозки каменного сырья.

Второй вариант организации производства каменных облицовочных изделий в рассматриваемом регионе на 24 предприятиях (включая функционирующих) предполагает существенное сокращение объемов рациональных перевозок блочного камня в связи со строительством новых камнеобрабатывающих заводов непосредственно у месторождений облицовочного камня. Вместе с тем осуществление на практике данного варианта размещения заводов потребовало бы значительных капитальных вложений (108 млн.руб.), около четверти из которых предназначались бы не на объекты основного производственного назначения (камнерезные поточные линии и т.д.), а на сооружение на каждом из вновь строящихся заводов транспортных, энергетических, водопроводных и других коммуникаций. Кроме того, при осуществлении второго варианта размещения половина из 24 камнеобрабатывающих заводов относилась бы к предприятиям небольшой производственной мощности с высокой себестоимостью производства продукции. Таким образом, и второй вариант по изложенным выше причинам не может быть предложен для практического осуществления.

Третий вариант размещения камнеобрабатывающих заводов в рамках рассматриваемого региона, на наш взгляд, характеризуется рядом преимуществ. По данному варианту организация производства каменных изделий предлагается как на базе развития мощностей функционирующих заводов, так и за счет строительства 6 новых сырьевых камнеобрабатывающих предприятий, 4 из которых рекомендовалось разместить в Карело-Кольской зоне и 2 - в Ленинградской области, т.е. непосредственно в районах сырьевых баз облицовочного

камня, что существенно будет способствовать улучшению схемы перевозок блоков камня и готовых каменных изделий. Общее число камнеобрабатывающих предприятий, рекомендуемых по III варианту для обеспечения программы производства каменных облицовочных изделий (14 заводов против 24 по II варианту), свидетельствует о относительно умеренном рассредоточении перерабатывающих производств в рамках рассматриваемого района, а средняя мощность каждого предприятия на III этапе развития (250-350 тыс.м² плит) является оптимальной для эффективного управления. Рассчитанная сумма капиталовложений (95 млн.руб.), необходимая для развития камнеобрабатывающей отрасли на Северо-Западе РСФСР и транспортно тяготеющих к нему районам по III варианту размещения, на 13 млн.руб. ниже суммы капиталовложений по II варианту. Изложенное выше позволяет предлагать III вариант размещения камнеобрабатывающих заводов в качестве приемлемого на практике.

В порядке конкретизации III варианта ниже предлагается размещение 14 камнеобрабатывающих заводов и развитие их производственных мощностей (табл. 2).

В соответствии с приведенным ранее перечнем рекомендованных к отработке 24 месторождений облицовочного камня, запасами каменного сырья по каждому месторождению, потребностью каждого из 14 камнеобрабатывающих заводов в блоках камня, территориальным расположением заводов относительно сырьевых баз составлена схема поставок каменного сырья на переработку по каждому камнеобрабатывающему заводу. При этом в основу схемы был положен принцип максимального сокращения расстояний при транспортировке облицовочного камня с карьеров на камнеобрабатывающие предприятия. В результате все камнеобрабатывающие заводы Карело-Кольской зоны могут быть полностью обеспечены каменным сырьем с местных месторождений облицовочного камня при среднем радиусе его транспортировки 40-150 км; для пополнения палитры расцвет облицовочного камня в Карелию целесообразно поставлять из Мурманской области по 5-6 тыс.м³ хибинита с месторождения Айкуайвенчорр, по 2-3 тыс.м³ гранита с месторождения Кузреченское.

Камнеобрабатывающие предприятия Ленинградской зоны могут быть в значительной мере (на 80%) обеспечены блоками гранита с местных месторождений при среднем радиусе его транспортировки 60-160 км; целесообразно для пополнения цветовой гаммы поставлять в эту зону по 3 тыс.м³ гранита месторождения Одьярв из Мурманской области (1445 км), а также по 5-6 тыс.м³ габбро месторождения Черная Салма (958 км) и гранита месторождения Уккомьяки (233 км) из Карельской АССР. Всю потребность зоны в блоках мрамора целесообразно покрывать из Карелии в объеме 4-6 тыс.м³ (350 км), а из Мурманской области в объеме 4-6 тыс.м³ (1280 км). Потребность зоны в блоках известняка полностью обеспечивается местным месторождением Бабино Сельцо. При этих поставках в г. Ленинград дальнепривозного каменного сырья из Узбекистана, Азербайджана и с Урала в объемах 8-10 тыс.м³ могут быть полностью исключены.

Размещение и развитие камнеобрабатывающих заводов на Северо-Западе РСФСР и транспортно тяготеющих к нему районах (III вариант)

Наименование географических зон и камнеобрабатывающих заводов	Вид выпускаемой продукции	Объемы производства каменных облицовочных плит, тыс.м ²		
		I этап	II этап	III этап
I. Карело-Кольская зона а) Мурманская область 1. Мурманский завод (новое строительство) 2. Мончегорский завод (новое строительство) б) Карельская АССР 1. Кондопожский завод (расширение) 2. Питкярантский завод (новое строительство) 3. Чулинский завод (новое строительство) II. Ленинградская зона а) Ленинградская область 1. Ленинградский комбинат (расширение)	Гранит пиленый, хибинит пиленый Гранит пиленый, хибинит пиленый Гранит пиленый, мрамор пиленый Гранит пиленый, мрамор пиленый Гранит пиленый Гранит колотый, гранит пиленый, мрамор пиленый	86-90	91-95	96-2000
		40	75	125
		25	50	100
		15	50	100
		40	30	140
		100	125	175
		230	230	280
		50	100	150
		50	150	250
		150	50	100
75	275	475		
25	30	30		
30	65	65		
90	130	140		

Наименование географических зон и камнеобрабатывающих заводов	Вид выпускаемой продукции	Объемы производства каменных облицовочных плит, тыс.м ²			
		достигнутые мощности	I этап	II этап	III этап
2. Завод „Кузнечное“ (расширение)	Гранит пиленый, гранит колотый	-	60	75	100
3. Бородинский завод (новое строительство)	Гранит пиленый, гранит колотый	-	30	100	130
4. Волховский завод (расширение)	Известняк пиленый	-	-	30	60
6) Псковская область (новое строительство)	То же	60	75	80	80
1. Порховский завод		-	-	150	300
III. Московская зона					
1. Московский комбинат (расширение)	Гранит пиленый, мрамор пиленый, известняк пиленый	110	125	150	200
2. Завод „Черкизово“ (расширение)	Гранит пиленый, мрамор пиленый	120	170	170	220
IV. Прибалтийско-Белорусская зона		280	300	350	350
а) Эстонская ССР		25	30	35	60
1. Завод „Ээсти-доломийт“		50	50	66	70
б) Белорусская ССР		130	180	230	280
1. Завод „Микашевичи“ (расширение)	Известняк пиленый	20	45	70	95
	Гранит пиленый, мрамор пиленый	15	30	30	80

Камнеобрабатывающие заводы Московской зоны целесообразно обеспечивать: блоками гранита из Карельской АССР в объеме 9-10 тыс.м³ при среднем радиусе его транспортировки 900 км, при этом поставки гранита в г. Москву из УССР (1300 км) могут быть полностью исключены; блоками мрамора на I этапе развития отрасли частично из Карельской АССР (5 тыс.м³), частично с Урала (3 тыс.м³, 2100 км), а со II этапа развития - полностью из Карельской АССР в объеме 9-10 тыс.м³, при этом поставки мраморных блоков из Узбекистана (3800 км) могут быть исключены; блоками известняка на I этапе развития наполовину с местного месторождения (8 тыс. м³, 120 км), наполовину из Азербайджана (8,5 тыс.м³, 150 км), а со II этапа развития - главным образом с местного месторождения (17 тыс.м³).

Камнеобрабатывающие предприятия Прибалтийско-Белорусской зоны целесообразно обеспечивать блоками гранита из Карельской АССР в объеме 3-4 тыс.м³ (1600 км), блоками известняка в основном с местного месторождения в объеме 13-23 тыс.м³ (220 км) частично из Московской области (3 тыс.м³, 1090 км), при этом могут быть полностью исключены намечавшиеся поставки мраморных и известняковых блоков в Белоруссию из Узбекистана (5100 км). В делом по Северо-Западу РСФСР и транспортно тяготеющим к этому районам в максимально возможных объемах предлагается осуществить промышленное освоение местных сырьевых баз облицовочного камня и прежде всего месторождений Кольского полуострова, Карельской АССР, Ленинградской и Псковской областей. В перечисленных районах на III этапе развития можно было бы добывать 193 тыс.м³ облицовочного камня из общего объема его добычи по региону 240 тыс.м³. В частности, объем добычи блоков облицовочного камня в Мурманской области целесообразно довести до 37 тыс.м³ (основном для обработки на месте), в Карельской АССР - до 41 тыс.м³ (в т.ч. на вывоз в г. Ленинград и в г. Москву 41 тыс.м³), в Ленинградской и Псковской областях - до 70 тыс.м³ (для обработки на месте).

Предлагаемое освоение месторождений облицовочного камня в названных выше районах и рекомендуемая схема поставок блоков облицовочного камня на действующие и намечаемые к вводу камнеобрабатывающие заводы региона позволят в максимальной степени сократить дорогостоящие перевозки десятков тысяч кубометров облицовочного камня из отдаленных районов страны на камнеобрабатывающие заводы Центра и Северо-Запада.

Карьеры облицовочного камня при достижении конечной мощности к концу III этапа развития будут представлять собой достаточно крупные камнедобывающие предприятия (10-15 тыс.м³ блоков камня), обеспечивающие сравнительно низкую себестоимость производства каменного сырья в широком цветовом ассортименте.

ГРАНИТЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЛОЧНЫХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

До последнего времени граниты Кольского полуострова практически не использовались для производства облицовочных материалов, несмотря на то, что среди них широко распространены разновидности, которые по петрографическим и декоративным свойствам аналогичны таким широко известным, традиционным типам облицовочных гранитов, как рапакиви Карелии или трахитоидные порфиридные граниты Украины. Между тем широкое развитие строительства в Мурманской области и укрепление материальной базы камнеобрабатывающей промышленности региона создает экономические предпосылки для организации производства природных облицовочных материалов из сырья Кольского полуострова. Препятствием к освоению в качестве облицовочных материалов огромных запасов кольских гранитов является их слабая изученность. Детальная характеристика физико-механических свойств имеется только для двух типов гранитов – серебрянских и умбинских, опытно-промышленное освоение месторождений которых началось в 10-й пятилетке [1]. Используя эти данные в сочетании с результатами геологических исследований, в наиболее доступных участках Мурманской области можно наметить ряд перспективных проявлений гранитов, близких к известным типам облицовочных гранитов Карело-Кольского региона.

Общий анализ геологических условий образования гранитов крупноблоковой отдельностью и относительно однородным (изотропным) распределением в больших объемах текстурно-структурных физико-механических свойств показывает, что можно выделить два типа благоприятных термодинамических обстановок: 1) кристаллизация крупных интрузивных тел в жесткой, тектонически малоактивной раме (тип рапакиви и умбинских гранитов); 2) инфильтрационно-диффузионный региональный метасоматоз с частичным палингенезом древних гранитоидов в стабильных геоблоках (тип серебрянских мигматит-гранитов).

Первый тип обстановок на территории западной части Кольского полуострова получил максимальное развитие в период позднекарибской тектономагматической активизации на рубеже 1.8–1.7 млрд. лет. С этим периодом связано образование крупных интрузий порфировидных гранитов лещо-арагубского и ювоайвского комплексов. Центральный массив протягивается почти на 200 км от Ура-Губы до верховьев реки Явр, занимая площадь около 1000 км². Граниты главных фаций интрузий по внешнему облику и блочности сопоставимы с умбинскими гранитами Терского побережья и кузнеченскими гранитами Печенжинского полуострова. Отличительной чертой порфиридных гранитов северо-западной области является повышенное содержание окислов и сульфидов желе-

(таблица), что резко ухудшает их качество как потенциального облицовочного материала. С учетом этого обстоятельства перспективными проявлениями порфиридных гранитов следует рассматривать только лейкократовые разновидности, в которых содержание рудных минералов снижается до того же уровня, что и в рапакиви Выборгского массива (1%). На территории распространения массивов гранитов, имеющей хорошие подъездные пути, по перспективности получения блочного камня можно выделить три участка.

Участок Кядельявр в Портлубольском массиве расположен на пораздельной гряде озерных систем Кядельявр и Няльявр. Склон горы к юго-западу на площади около 2 км² сложен однородными массивными розовато-красными крупнопорфиридными гранитами массивной или неотчетливо выраженной трахитоидной текстуры. Две тектонические крутопадающих трещины (широтная и меридиональная) в сочетании с пологой пластовой отдельностью разделяет массив на блоки размером 0.5–1х1–2х0.7–1.5 м, единичные блоки достигают 10 м³.

Участок Салжвид в том же массиве расположен на северном склоне горы Салжвид. Состав и свойства гранитов аналогичны участку Кядельявр.

Участок Большой Урагубский находится в центральной части одностороннего массива в 11 км к западу от пос. Ура-Губа. Площадь участка около 4 км². На участке развита одна из самых красивых разновидностей порфиридных гранитов светло-красной окраски. В связи с наличием ассимилированных группами ксенолитов гранитов содержание рудных минералов в гранитах колеблется от 3%, а объемная масса варьирует от 2.52 до 2.69 г/см³. Прочность пород несколько ниже, чем в Портлубольском массиве, обладающие размеры блоков 0.3–0.5х0.5–1х1–1.5 м.

На всех трех участках петрографические особенности пород, окраски, одинаковы. Структура неравномерно-зернистая, порфиридная, с гипидиоморфно-зернистой основной массой. Таблитчатые вкрапленники микроклина розовой или красной окраски имеют средний размер 2х1.2х0.7 см, единичные кристаллы достигают 5–7 см; вкрапленники плагиоклаза имеют размеры 0.2х1 см. Главной массе размер зерен колеблется от 0.2 до 5 мм. По зернистости портлубольские и урагубские граниты оказываются более однородными, чем умбинские граниты, в которых средние размеры вкрапленников микроклина равны 3–4х2–3х1 см, а плагиоклаза колеблется от 30 до 65%, в портлубольских и урагубских оно ниже (40%). Умбинские граниты по классификации ВНИИ Алмаз и Стромсырье относятся преимущественно к труднообрабатываемым породам группы III подгруппы „а“ (граниты невысокой и средней прочности) и частично к среднеобрабатываемым породам группы II [2]. Можно полагать, что более богатые кварцем и относительно обедненные вкрапленниками полевых шпатов граниты северных массивов будут соответствовать по прочности подгруппе

Типы гранитов	Минеральный состав, %						Объемная масса, г/см ³		
	кварц	плагио- клас	калие- вый по- левой шпат	биотит	окислы	суль- фиды	наимень- шая	наи- большая	средняя
Кольский полуостров									
умбинский	27	26	36	9	0.1	0.01	2.68	2.77	2.72
серебрянский	30	33	30	4	0.3	0.005	2.72	2.98	2.75
портлубольский	32	35	23	5	1.7	0.06	2.56	2.78	2.62
урагубский	32	21	38	5	1.6	0.07	2.52	2.69	2.61
песхоранский	36	31	29	4	0.1	0.003	2.60	2.64	2.62
кирикованский	34	20	44	1	0.3	0.01	2.56	2.64	2.62
сайдагубский	37	22	38	3	0.2	0.000			
Карелия									
кузнеченский	30	26	32	6	0.1	0.00			
рапакиви									
выборгский	28	18	43	5	1.0	0.003	2.56	2.62	2.59
салминский	27	12	57	4	0.1	0.001			

П р и м е ч а н и е. При составлении таблицы использованы данные из работ [1, 3, 4] с округлением и осреднением; в графе „окислы“ приведено суммарное содержание магнетита, гематита, ильменита, лимонита.

Менее благоприятные условия для образования крупноблочных гранитов существовали на завершающей стадии верхнеархейского периода складчатости и метаморфизма Кольско-Норвежской подвижной зоны (2,8–2,6 млрд.лет). К этой стадии относится появление в ольше мигматизированных гнейсов кольской серии небольших (1–1,5 км²) интрузий формации перемещенных анатектит-гранитов [2], сложенных обычно светло-серыми среднезернистыми массивными плаггио-микроклиновыми лейкократовыми гранитами. Быстрый темп остывания приводит к развитию относительно сгущенных систем первичных контракционных трещин, на которые впоследствии обычно накладываются дополнительные трещинные системы, связанные более молодыми динамическими полями напряжений. В редких нарушенных участках преобладающие размеры блоков массивных анатектит-гранитов 0,2–0,5х0,7–1х1–1,5 м. Один из таких участков расположен в 4 км к югу от ст.Печенга на западном склоне привершинной части горы Песхоранайви. Площадь участка 1,5 км². Граниты характеризуются высоким содержанием кварца и низкими содержаниями рудных минералов (магнетита не более 0,2%, пирита 0,008%). Структура породы аллотриоморфно-зернистая, мелко-среднезернистая, объемная масса 2,60–2,64 г/см². По этим данным можно предполагать, что песхоранские граниты по физико-механическим свойствам будут близки к шальским гранитам Карелии (руднообрабатываемые крепкие граниты с большим содержанием кварца, подгруппа III-б).

По генезису и условиям формирования типу серебрянских гранитов в северо-западной части соответствуют красные метасоматические граниты Печенгского района – реннекарельская (2,2–2,0 млрд.лет) формация приразломных кремниево-калиевых метасоматитов, на участках объемного замещения более древних массивных анатектит-гранитов в метасоматитах блочность сохраняется почти на том же уровне или даже повышается в результате заличивания первичных трещин пегматоидными прожилками. Одно из наиболее перспективных проявлений гранитов указанного типа расположено в 2 км к востоку от ж/д станции Печенга на южном берегу оз. Кирикованъярви. На площади 1 км² развиты светло-красные среднезернистые лейкократовые граниты с нечетко выраженной гнейсовидной текстурой. Немногочисленное струйное развитие метасоматического микроклина придает породе дощатый облик с плавными переходами окраски от светло-серой до ярко-красной. Содержание кварца в кирикованских гранитах в среднем выше, а объемная масса меньше, чем в серебрянских гранитах. По прочности они будут соответствовать, вероятно, группе III.

Заканчивая обзор перспективных проявлений декоративных гранитов северо-западной части Кольского полуострова, нельзя не упомянуть известное еще с 30-х годов месторождение верхнеархейских лейкократовых гранитов и аляскитов Сайда-Губы. Ярко-красные и розовые аляскиты слагают западный берег губы на участке 0,3 км² в 2,5 км от поселка Сайда-Губа. Чистые, сочные тона окраски и хорошая полируемость пород обеспечили аляскитам Сайда-

Губы право считается одной из самых красивых разновидностей декоративных гранитов Кольского п-ова. Низкое содержание рудных и цветных минералов, высокое содержание кварца, мелкозернистая аллотриоморфно-зернистая структура аляскитов дает основание сопоставлять их с породами подгруппы III-Б. Исходя из предварительной визуальной оценки, по блочности породы не уступают серебрянским гранитам. Вывоз камня из этого месторождения может осуществляться как морским, так и автодорожным путем.

По приведенному анализу наиболее перспективных проявлений декоративных гранитов Печенгского и Кольского районов Мурманской области суммарные прогнозные запасы блочного камня составляют не менее 2-3 км³, а наличие хороших транспортных путей создает возможности для быстрого освоения месторождений. Очевидно, однако, что для надежной оценки сырьевого потенциала территории необходимо дополнительное исследование трещиноватости и технологических свойств перспективных объектов.

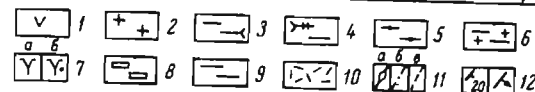
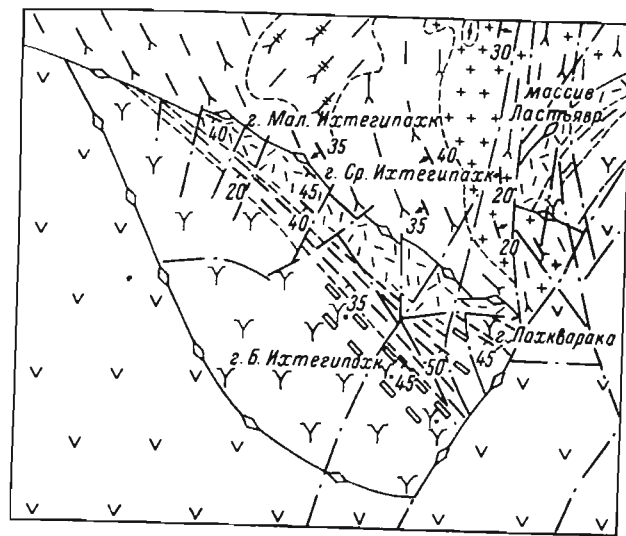
Л и т е р а т у р а

1. Б и б и к о в Б.И. и др. Технологические свойства гранитов Кольского полуострова и Карелии как облицовочного камня - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального и техногенного сырья Кольского полуострова. Л.: Наука, 1978, с.65-71.
2. Б а т и е в а И.Д. и др. Гранитоидные формации докембрия веро-восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1978.
3. В е л и к о с л а в и н с к и й Д.А. и др. Анортозит-рапакивигранитная формация Восточно-Европейской платформы. Л.: Наука, 1978.
4. Б а т и е в а И.Д. и др. Минеральный и химический состав гранитов Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1978.

И.С.Б а р т е н е в, М.К.Р а д ч е н к о

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА МАССИВА БАЗИТ-ГИПЕРБАЗИТОВ ФЕДОРОВЫХ ТУНДР НА ПОДЕЛОЧНЫЙ И ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КАМЕНЬ

Высокое качество, декоративность и пониженная себестоимость добычи базит-гипербазитов Печенгского и Мончегорского районов послуживших основой для развивающейся камнеобрабатывающей промышленности Мурманской области, предопределяют проведение широкой геолого-структурной оценки основных-ультраосновных пород Кольского полуострова с целью выявления запасов поделочного облицовочного камня. Одним из возможных источников получения



Схематическая геологическая карта массива Федоровой тундры.

Южный протерозой. Имандра-Варзугский нерасчлененный комплекс (сейдореченская свита): 1 - вулканы среднего и основного состава, пластовые тела метабазитов, конгломератобрекчия. Архей. Самый древний комплекс пород фундамента: 2 - плагиомикроклиновые микроклин-плагиоклазовые граниты; 3 - плагиограниты гранитоидного комплекса; 4 - диориты, гранодиориты; 5 - амфиболиты по дайковому типу; 6 - мигматиты плагиомикроклиновых гранитов по комплексу пород фундамента. Породы массивов Федоровой тундры и Ластьявр: 7 - преимущественно лейкократовые крупнозернистые базальты: безоливиновые (а), оливинсодержащие (б); 8 - оливиновые базальтовые горизонты пород; 9 - зона чередования трахитоидных пород массивных габбро, габбро-норитов; 10 - норит-габбро-норитовая зона; 11 - границы интрузивных тел (а), тектонические нарушения (б), границы раздела групп, горизонтов пород (в); 12 - элементы структурного членения: трахитоидности, полосчатости (а), гнейсовидности (б). Цифрами обозначены углы падения.

нили и уточнили данные предыдущих исследований [1] по морфологии, внутреннему строению массива Федоровой тундры и условиям локализации в его пределах сульфидного медно-никелевого оруденения.

Федоровотундровский массив (см. рисунок) расположен в западной части Панской тектонической зоны смятия, являющейся в пределах района структурой сочленения Центрально-Кольского антиклинория с Печенгско-Варзугским грабен-синклиномием. В плане представляет межформационное тело клиновидно-овальной формы, вытянутое в северо-западном направлении (320°) более чем на 13 км, при ширине до 5 км. Общая площадь интрузива достигает 40 км^2 , а мощность, по данным бурения и гравиразведки, нарастает от 1-2 км на северо-западе до 4-5 км на юго-востоке.

По отношению к структуре вмещающих архейских и протерозойских образований массив занимает дискордантное положение. Северный контакт его лежащего бока, фиксируемый широким развитием роговиков, проявлениями процесса диоритизации и маломощными зонами закалки на значительных интервалах тектонизирован и падает в юго-западном направлении под углом $30-60^\circ$, резко выполаживаясь на глубине. Южный и восточный контакты висячего бока массива с протерозойскими отложениями Сейдореченской свиты проходят по мощным тектоническим зонам, причем первый падает на юго-запад под углом $50-60^\circ$, а второй - на восток под углом около 30° . Разломами северо-восточного, меридионального и северо-западного простирания он разбит на многочисленные блоки, наиболее крупными из которых являются: Малый, Средний, Большой Ихтегилахки и Пахкварака, различающиеся уровнем эрозионного среза. Степень обнаженности интрузива средняя. Мощность четвертичных отложений перекрывающих его на отдельных площадях, увеличивается в западном-северо-западном направлении от первых до первых десятков метров.

Первичные структурные элементы интрузива (полосчатость, трещиноватость) в краевых зонах конформны контактной поверхности, в средних частях его имеют более пологое залегание (\angle пад. $45-50^\circ$ и менее).

Изучение трещиноватости базитов Федоровых тундр (800 замеров трещин в 8 пунктах наблюдений) позволило выделить три основные системы первичных трещин массива:

1. Близперпендикулярные (поперечные) простиранию полосчатости пород массива, имеющие переход на обратное падение: аз.пад. $304-324^\circ$, \angle пад. $74-90^\circ$ (Ср. Ихтегилахк), аз.пад. $274-310^\circ$, \angle пад. $74-90^\circ$ (Б. Ихтегилахк), аз.пад. $280-294^\circ$, \angle пад. $80-90^\circ$ (Пахкварака).
2. Субпараллельные (продольные) простиранию полосчатости массива, имеющие переход на обратное падение: аз.пад. $66-74^\circ$, \angle пад. $74-90^\circ$ (М. Ихтегилахк), аз.пад. $19-32^\circ$, \angle пад. $76-84^\circ$ (Ср. Ихтегилахк), аз.пад. $30-56^\circ$, \angle пад. $76-82^\circ$ (Б. Ихтегилахк), аз.пад. $354-6^\circ$, \angle пад. $74-90^\circ$ (Пахкварака).
3. Пологопадающие, выраженные не всегда отчетливо: аз.пад. $340-24^\circ$, \angle пад. $8-15^\circ$ (М. Ихтегилахк), аз.пад. $40-100^\circ$, \angle пад. $8-22^\circ$ (Б. Ихтегилахк).

Первые две группы трещин являются основными, морфологически не отличимыми, прослеживающимися на большие расстояния. Следы подвижек на плоскостях разделяемых ими блоков обычно отсутствуют.

Кроме того, выделяется ряд не всегда отчетливо проявленных максимумов, отвечающих диагональным системам трещин. Отдельные из них по своей пространственной ориентировке соответствуют элементам залегания зон амфиболитизации базитов, вмещающих прожилково-вкрапленное сульфидное медно-никелевое оруденение (уч. Пахкварака, аз. пад. $64-74^\circ$, \angle пад. $74-84^\circ$).

Массив представлен серией основных и ультраосновных пород, среди которых определяющая роль принадлежит габбро-норитам. В вертикальном разрезе его снизу выделяются три зоны дифференциации, постепенно сменяющие друг друга [2]: I - норит-габбро-норитовая; II - переслаивания массивных и трахитоидных габбро с габбро-норитами; III - габбровая. Они имеют согласное простирание с общим северо-западным простиранием массива, их мощности возрастают с глубиной в направлении от северного контакта его к южному, а также с северо-запада на юго-восток.

Породами нижней и средней зон, среди которых установлены породы пироксенитов и плагиоипироксенитов незначительной мощности, заложены глубинные части разреза интрузивного тела, часто тектонизированные близ контакта его лежащего бока. Они обнажаются на ограниченных площадях, часто представлены милонитизированными, значительной степени амфиболитизированными, неравномерно-зернистыми пегматоидными и обогащенными сульфидами разностями габбро-норитов. Трещиноватость пород нижних толщ в исследованных обнажениях северо-восточной и восточной частях массива по шкале интенсивности проявления трещин в горных породах В.А. Невского [3] часто соответствует тончайшей, тонкой и мелкой блочности с размером блоков, ограниченных трещинами, соответственно, до 3-5, 3-5 до 10-15 и от 10-15 до 25-30 см. Участки горных пород средней и крупной блочности (от 25-30 до 80-90 см и более 80-90 см) обычно имеют ограниченные масштабы (первые десятки квадратных метров), что в совокупности с геологическими условиями залегания и степенью измененности нижних зон базитов Федоровой тундры свидетельствует об их неперспективности в качестве подпочвенного и облицовочного материала.

Верхняя габбровая зона, завершающая разрез расслоенной интрузии, характеризуется широким площадным развитием и, по нашему мнению, может представлять определенный практический интерес. Она наиболее полно обнажена в северо-западной и юго-восточной частях массива (участки М. и Б. Ихтегилахки) и не обнажена на северо-восточном фланге массива (не менее 1200-1500 м), к северному западному флангу она уменьшается до нескольких десятков метров. В пределах блока Б. Ихтегилахка в нижней половине зоны проявлены два горизонта мощностью от 150 до 250 м ритмичного переслаивания лейкократовых габбро, трахитоидных оливиновых и

безоливиновых мезократовых и меланократовых габбро, а также мезократовых троктолитов. Мощность слоев составляет первые сантиметры – 2–4 м. Мощность ритмов достигает 7–10 м. Горизонты разнозернистых пород разделены пачкой массивных крупнозернистых оливиноносителей габбро мощностью 400 м.

Отличительной особенностью зоны является ее неоднородность, заключающаяся в незакономерном чередовании участков пород, различающихся по зернистости и количеству темноцветных минералов. Особенно хорошо она проявлена в пределах блока Б.Ихтегипахк, где среди лейкогаббро имеются поля почти мономинеральных плагиоклазитов площадью в несколько сотен квадратных метров. Наиболее широко распространенными породами зоны являются лейкократовые габбро, аналогичные встречающимся в Мончегорском районе и используемым промышленностью, а также связанные постепенными взаимопереходами с мезократовыми габбро и габбро-анортозитами.

Лейкократовые и мезократовые габбро представляют собой плотные слабо трещиноватые породы серого или бело-зеленого цвета. Габбро-анортозиты окрашены в серый или белый цвет со слабым фиолетовым оттенком. В целом по разрезу габбровой зоны преобладают крупнозернистые массивные разновидности габбро, характеризующиеся офитовой, панидиоморфно-зернистой, иногда келифитовой структурой.

Породы сложены плагиоклазом (до 85%), моноклинным пироксеном (4–28%), оливином (до 16%); в качестве второстепенных минералов постоянно содержатся (до 6%) магнетит, кварц, апатит, гранит, биотит. Присутствие этих минералов, неравномерность сложения, частые переходы в пегматоидные разности свидетельствуют о участии при образовании габброидов остаточных растворов, обогащенных летучими веществами и кремнеземом. Плагиоклаз в рассматриваемых породах представлен либо лейстовидными удлиненными, либо призматическими, близкими к изометричным (в плагиоклазитах), кристаллами размером от 0,2 до 2 см. В пегматоидных разновидностях размер лейст составляет 2–7 см. В нем наблюдается зональное строение и двойниковая структура. Как показали измерения на федоровском столике, составы плагиоклаза находятся в широком диапазоне от 54 до 83% Al_2 . Изменение состава в пределах верхней зоны носит неравномерный характер. Как правило, вверху разреза он более кислый, чем в нижней половине зоны. Наименее основные плагиоклазы устанавливаются в измененных участках породы. В неизмененных участках породы плагиоклаз имеет серую окраску со слабым фиолетовым оттенком и определяет цветовой фон габброидов.

Моноклинный пироксен представлен гипидиоморфными кристаллами величиной от 0,3 до 2,5 см, заключенными между лейстами плагиоклаза. В образце пироксен окрашен в темно-зеленый цвет, в шлифах ему свойственна серо-зеленая окраска, хорошо выраженная спайность и тонкая диаляговая отдельность. Судя по оптическим данным, клинопироксен относится к авгиту, содержащему более 30

железистой молекулы. Как правило, клинопироксен в различной степени замещен актинолитом, очень часто отмечается полное замещение пироксена амфиболом. Неравномерное распределение актинолитизированных зерен авгита и их скопления в объеме породы определяют пятнистую текстуру породы. Сочетание белых, серых, зеленых и фиолетовых цветов придает габброидам привлекательную окраску.

Интенсивность трещиноватости габброидов Федоровой тундры в большинстве исследованных обнажений Б.Ихтегипахка обуславливает среднюю и крупную блочность горных пород. Площадь участков повышенной блочности обычно составляет первые тысячи квадратных метров, что в совокупности с вышеприведенными благоприятными географическими и геологическими признаками позволяет нам в пределах массива выделить блок габброидов Б.Ихтегипахка в перспективную площадь для проведения поисково-оценочных работ с целью получения поделочного и облицовочного камня.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- К о з л о в Е.К. Естественные ряды пород никеленосных интрузий и их металлогения. Л.: Наука, 1973.
- Р а д ч е н к о М.К. Особенности строения массива ультраосновных-основных пород Федоровой тундры. – В сб.: Базит-гипербазитовый метаморфизм Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1978, с.84–96.
- Н е в с к и й В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1979.

Н. В е с е л о в с к и й

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАБАЗИТОВ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА КАЧЕСТВЕ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПОДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В практике строительства в качестве природных облицовочных поделочных камней используются следующие разновидности ультраосновных пород: перидотиты, серпентиниты и офиты, тальковые камни, листвениты [1]. Эти породы обладают сравнительно редким ярким или зеленым цветом с различными оттенками, довольно легко обрабатываются и хорошо полируются. Собранные в последние годы материалы по ультраосновным породам Карело-Кольского региона позволяют наметить некоторые перспективы их использования в качестве природно-каменных облицовочных и поделочных материалов. Краткие сведения о распространении интрузивных тел,

их морфологии, размерах и строении, необходимые для оценки ресурсов цветного камня, приводятся аяже по формациям ультрабазитов.

В восточной части Балтийского шита известно более 2500 тел, сложенных частично или полностью ультраосновными породами. Ультрабазиты участвуют в строении ультраосновных, основных-ультраосновных и щелочно-ультраосновных комплексов пород архейского, протерозойского и палеозойского возрастов.

Интрузивы, сложенные исключительно ультраосновными породами, широко распространены среди гнейсов и амфиболитов архея. Подавляющее их большинство относится к гарцбургитовой (гипербазитовой [2]) формации. Массивы обычно группируются по нескольким телам на ограниченных площадях, имеют форму, близкую к изометрической или линзовидной. Размеры их по простиранию колеблются от десятков метров до 1-2 км, достигая в виде исключения 6 км. В составе формации различаются две ветви - магнезиальная и железистая.

К магнезиальной ветви гарцбургитовой формации относятся более 200 массивов в пределах Нотозерской, Северо-Карельской групп, на территории Фалалей-Сергозеро. Центральные части тел сложены метагарцбургитами, метаоливинитами, иногда дунитами, бронзититами, энстатитами и серпентинитами, а краевые - представлены амфиболитизированными, оталькованными, карбонатизированными серпентинитами. Для специализированного обследования с целью получения облицовочных материалов можно рекомендовать массив Падос-тундры (6x0.7 км) в Нотозерском поясе, сложенный преимущественно измененными гарцбургитами, бронзититами, дунитами, серпентинитами [3], и несколько аналогичных массивов Северо-Карельской группы: Невгозерский, Ханкусьярви, Тикшеозерский [4]. В верховьях ручья Фалалей целесообразно изучить некоторые редко встречающиеся разновидности ультрабазитов: темно-серые крупнокристаллические порфиридные оливин-энстатитовые породы, слагающие центральные части массивов, имеющих концентрически зональное строение, и светло-зеленые листвениты (талк-серпентин-карбонатные породы), установленные в крупных элювиальных глыбах на площади 50x20 м². Первые пробы показали хорошие декоративные качества лиственита и оливин-энстатитовых пород.

К железистой ветви гарцбургитовой формации относятся более 450 тел, протяженностью до 200-500 м и мощностью от нескольких до десятков метров, развитых в Аппареченском, Ровнинском, Вочеламбинском, Стрельнянском комплексах и в юго-западном обрамлении Ветреного пояса, которые вряд ли представляют интерес для камнеобрабатывающей промышленности.

Несколько интрузивов, сложенных малоизмененными оливинитами, верлитами, клинопироксенитами, известно [5] в Мончегорском районе. Обследование в отношении цветного природного камня может быть проведено на Райненчорском массиве, размеры которого до 6x1.2 км.

Наиболее распространенным формационным типом базит-ультрабазитов Карело-Кольского региона является габбро-верлитовый [6], объединяющий 850 тел. Все они размещаются внутри синклинозных зон, сложенных вулканогенно-осадочными породами нижнепротерозойского возраста. В состав габбро-верлитовой формации объединяются Печенгский, Пана-Куолаярвинский, Имандра-Варзужский, Гайкольский, Конжозерский, Ветренный, Хаутаваарский и Конжозерский комплексы. Наиболее насыщены массивами синклинозные зоны Ветреного пояса, Печенгская и Пана-Куолаярвинская. Тела имеют пласто- и линзообразную форму, размеры по простиранию от сотен метров до 4-5 км (в единичных случаях до 10-20 км), а мощность колеблется от десятков до сотен метров, редко достигает 1.5 км. Они обычно расслоены и сложены аповерлитовыми и апооливинитовыми серпентинитами, измененными пироксенитами и габброидами.

При оценке массивов габбро-верлитовой формации относительно облицовочного камня следует учитывать опыт, полученный в Печенгском районе, где при разработке медно-никелевых месторождений ведется попутная добыча блоков габбро, серпентинизированных верлитов и пироксенитов [7], которые на камнеобрабатывающей площадке г. Мончегорска используются в качестве сырья для изготовления облицовочных и архитектурно-строительных изделий. Печенгские черные серпентиниты с рассеянной вкрапленностью сульфидов, пересеченные прожилками зеленого офита (серпофита), хризотил-асбеста, антитигорита, или с выделениями сноповидных агрегатов светлого диоксида представляют собой хороший поделочный материал при изготовлении сувениров.

В одном из крупнейших (общая длина 20 км, ширина от 0.3 до 1 км) массивов рассматриваемой формации Вожминском (Карелия, Ветренный пояс) широко распространены плотные темно-зеленые мелкозернистые апооливинитовые серпентиниты, аналогичные уральским меевикам; заметную роль в строении массива играют и хлорит-карбонат-талковые породы; те и другие заслуживают изучения в качестве облицовочного материала. Как поделочный камень здесь представляют интерес жилые светло-зеленые офиты, сходные с офитами Баженовского месторождения Урала, а также нефритоподобные зеленые породы, образующие в серпентинитах жилые тела мощностью до 2 м близ контакта с дайками диабазов. Пробная обработка нескольких образцов серпентинитов, офита и нефритоподобной породы показала, что они легко обрабатываются и принимают полировку хорошего качества. Учитывая, однако, значительную мощность (10-20 м) перекрывающих массив моренных отложений, недостаточно благоприятные транспортно-экономические условия района, цветные камни Вожминского массива вряд ли будут иметь самостоятельное практическое значение, и оценка их должна производиться в комплексе с оценкой других полезных ископаемых - медно-никелевое оруденение, талк, хризотил-асбест).

Попутно с изучением других полезных ископаемых следует оценить природные камни аналогичных крупных массивов габбро-вер-

литовой формации (Волошовский, Монастырский и др.), известных [8] в восточной части Ветреного пояса (Архангельская обл.). Целесообразно, на наш взгляд, обследовать в качестве облицовочных камней серпентинизированные оливиниты и верлиты, клинопироксениты и габброиды Хюрсюльского массива в юго-западной Карелии [9], разнообразные серпентиниты Конхозерского массива восточной Карелии [10], плагиоклазовые перидотиты массива Какойва в Пана-Куоляярвинской структуре [4], измененные перидотиты, пироксениты и габброиды участка Гайколя в центральной Карелии [11].

С измененными породами мелких массивов габбро-верлитовой формации имеют определенное сходство метаультрабазиты в районе Тольпвид-Кеулик, Колмозеро-Воронья, Парандово, Сегозеро, Семозеро, Пяозеро и др. Из них в качестве облицовочных материалов изучались лишь сегозерские тальк-хлоритовые породы известных месторождений горшечного камня [12]. Использование этих пород продолжается в Карельском филиале АН СССР. Следует отметить, что в последнее время тальк-хлоритовые породы, аналогичные сегозерским, вскрыты скважинами на участке Ластъявр; они тоже заслуживают оценки в качестве декоративного материала.

Вторым широко распространенным формационным типом базит-ультрабазитов территории является перидотит-пироксенит-норитовый [13], объединяющий 12 крупных массивов: Мончегорский, Островской, Улитаозерский [5], Федоровский [14], Панский [15], Генеральский [16], Ковдозерский [17], Олангская группа [4], Бураковский [18]. Массивы залегают обычно в архейских гнейсах или в границе архейской и нижнепротерозойских толщ. Они имеют площадь от 10 до 80 км² (Бураковский - до 800 км²), мощность 2-7 км, лополитоподобную форму. Интрузивы расслоены и сложены в основном малоизмененными габбро-норитами, а также норитами, бронзититами, дунитами, гарцбургитами, лерцолитами. Учитывая крупные размеры массивов, большое разнообразие пород основного и ультраосновного состава, относительно высокий уровень геологической изученности некоторых тел, целесообразно провести оценку всех перечисленных массивов на предмет получения облицовочного камня и в первую очередь хорошо известного Мончегорского плутона.

С комплексами перидотит-пироксенит-норитовой формации по ряду признаков сходны залегающие в гранулитах габбро-лерцолит-вебстериты массивов Застейд-2, Юнгес, Суэйнлагаш, а также базит-ультрабазиты Колвщких тундр. Из них для обследования в отношении облицовочного камня рекомендуется массив Застейд-2, наиболее крупный по размерам (3х0.6-1 км²) и достаточно хорошо обнаженный [19].

На территории Западного Беломорья насчитываются сотни массивов базит-ультрабазитов, сложенных габбро-норитами, габбро, лерцолитами [20]. Среди них уже выявлено несколько массивов - месторождений габбро-норитов и габбро как источников облицовочного камня. Целесообразно продолжить планомерное изучение базит-ультрабазитов этого района и выбрать для разработки объекты, наиболее ценные по декоративным качествам и блочности.

Из 16 интрузивов щелочно-ультраосновной формации, известных на Кольском полуострове [21, 22], оценочные работы относительно облицовочного камня проводились лишь на одном Ковдорском массиве. Анализ трещиноватости и декоративных качеств пород, выполненный сотрудниками Кольского филиала АН СССР, позволил выделить несколько их разновидностей, перспективных на блочный камень. Геологическое изучение природных камней в Ковдорском районе следует продолжить; кроме того, необходимо выполнить технологические испытания тех разновидностей пород, которые могут являться объектом попутной добычи блочного камня при разведке апатит-магнетитового месторождения. Среди других массивов щелочно-ультраосновной формации заслуживает изучения Африландский массив, где в будущем возможна попутная добыча пироксенитов, а также Себляярвский, Вуориярвинский, Салланлатвинский, где ведутся геолого-разведочные работы по другим полезным ископаемым.

Основные перспективы в регионе следует связывать с крупными массивами - представителями перидотит-пироксенит-норитовой и щелочно-ультраосновной формаций, в строении которых участвуют малоизмененные оливин-пироксеновые породы, а также с отдельными наиболее крупными телами габбро-верлитовой и гарцбургитовой формаций.

Наличие на Кольском полуострове и в Карелии многочисленных массивов, сложенных породами ультраосновного, основного-ультраосновного и щелочно-ультраосновного состава, позволяет рассчитывать на выявление значительных запасов различных ультрабазитов как сырья для развивающейся камнеобрабатывающей промышленности.

Таким образом, в настоящее время в Карело-Кольском регионе для производства облицовочных материалов используются преимущественно граниты, мраморы, габбро-диабазы. Применение для этих целей перидотитов, оливинитов, пироксенитов, серпентинитов, разнообразных измененных ультрабазитов позволит существенно расширить ассортимент выпускаемой продукции. Яркие, эффектные, с красивым рисунком разновидности ультраосновных пород (офиты, ивствениты, нефритоподобные, тальк-карбонатные, карбонат-антигортитовые и прочие породы) можно широко использовать для изготовления сувениров.

Л и т е р а т у р а

- Митрофанов Г.К., Шпанов И.А. Облицовочные и поделочные камни СССР. М.: Недра, 1970.
- Зак С.И. Гипербазитовая формация Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980.
- Виноградов Л.А. Формация альпийских гипербазитов юго-западной части Кольского полуострова (Нотозерский гипербазитовый пояс). - В кн.: Проблемы магматизма Балтийского щита. Л.: Наука, 1971, с.147-153.

4. Лавров М.М. Гипербазиты и расслоенные перидотит-габроноритовые интрузии докембрия Северной Карелии. Л.: Наука, 1979.
5. Козлов Е.К., Юдин Б.А., Докучаева В.С. Основной и ультраосновной комплексы Монча-Волчьих-Лосевых тундр. Л.: Наука, 1967.
6. Дагелайская И.Н. Габбро-верлитовая формация. - В кн.: Магматические формации СССР. Т.1. Л.: Недра, 1979, с.257-265.
7. Алексеев Г.В. Инженерно-геологические особенности древних интрузивных массивов основного-ультраосновного состава. - Автореф. канд. дис., М.: МГУ, 1978.
8. Плюсарев В.Д., Куликов В.С. Геохимическая эволюция базит-ультрабазитового магматизма протерозоя. Л.: Наука, 1973.
9. Попов М.Г. Протерозойские магматические комплексы Хюрсюля-Хаутоваара (Южная Карелия). - В кн.: Проблемы магматизма Балтийского щита. Л.: Наука, 1971, с.211-217.
10. Плюсарев В.Д., Пекуров А.В., Енин А.С. Гипербазитовая формация Восточной Карелии. - В кн.: Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л.: Наука, 1976, с.58-68.
11. Горбик Н.А. Базитовые и ультрабазитовые комплексы Гайкольской синклинали. - В кн.: Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л.: Наука, 1976, с.48-58.
12. Елисеев Н.А. К вопросу о генезисе месторождений Североземского горшечного камня. - Зап.Росс. минер. об-ва, 1929, ч.58, вып.1, с.81-105.
13. Орлов Д.М. Перидотит-пироксенит-норитовая формация. - В кн.: Магматические формации СССР. Т.1. Л.: Недра, 1979, с.229-241.
14. Радченко М.К. Особенности строения массива ультраосновных-основных пород Федоровой тундры. - В кн.: Базит-гипербазитовый магматизм Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1978, с.84-86.
15. Одинец А.Ю. Особенности кристаллизации пород Панского массива. - В кн.: Проблемы магматизма Балтийского щита. Л.: Наука, 1971, с.158-162.
16. Федотов Ж.А., Бакушкин Е.М., Федотов В.А., М.Г. Основной и ультраосновной магматизм северного обрамления Печенгского синклинария. - В кн.: Петрология, минералогия и геохимия. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1974, с.3-18.
17. Богачев А.И., Горбик Н.А. Ковдозерский массив. - В кн.: Геохимия гипербазитов Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1971, с.73-75.
18. Лавров М.М., Гарбар Д.И., Богачев А.И. и др. Бураковский перидотит-габбро-норитовый массив. - В кн.: Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л.: Наука, 1976, с.78-89.
- Сахаров А.С. Ультраосновной массив Застейд-2. - В кн.: Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. Вып.3, М.-Л.: АН СССР, 1960, с.91-117.
- Степанов В.С. Магматические комплексы и некоторые черты эволюции основного-ультраосновного магматизма центральной части западного Беломорья. - В кн.: Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л.: Наука, 1976, с.9-26.
- Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г. и др. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М.: Недра, 1965.
2. Кухаренко А.А., Булах А.Г., Ильинский Г.А. и др. Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита. - Тр. Лен. об-ва естествоиспытателей, 1971, т.22, вып.2.

А.Н.ИКОЛАЕВ ВЫСОКОДЕКОРАТИВНЫЕ ГРАНИТ-ПОРФИРЫ ТИРОЯРВИ СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

Важной характеристикой облицовочного камня являются его декоративные свойства. Для плутонических горных пород особенно важными в этом отношении признаками, издавна привлекавшими пристальное внимание мастеров и знатоков камня, обладают разновидности с порфировой структурой [1].

Одно из проявлений обследованных высокодекоративных порфировидных гранитоидов располагается в западной части Лоухского района Карельской АССР, в 30 км к юго-западу от поселка Софьиногор, на северо-западном берегу озера Тироярви. Здесь в пределах узкой береговой полосы наблюдается серия небольших площадок изолированных выходов гранит-порфиров, которые формируют поле дайкоподобной формы, прослеженное по простираю на 200 м ширины видимой мощности 5-10 м, залегающее в зоне тектонического нарушения с ориентировкой северо-запад - 300°. Падение поверхности контакта дайки субвертикальное. Южный контакт скрыт водами Тироярви, с севера обнажаются микроклинсодержащие плагиоклазовые гнейсовидные гранитоиды комплекса основания карелид. Контакт гранит-порфиров с гранитоидами комплекса основания тектонизированный. В узкой (в первые десятки сантиметров) зоне непосредственного контакта гранит-порфиры интенсивно осланцованы и катаклизированы, содержат значительное количество трещин.

В пределах участка Тироярви по своим внешним признакам (объему тона окраски и структурно-текстурным особенностям) можно выделить две основные разновидности высокодекоративных пород.

Породы первой разновидности представлены крупнопорфировидными гранитами с мелкозернистой, довольно однородной основной массой красновато-коричневого цвета, сложенной агрегатом мелких (менее 1 мм в поперечнике) зерен бесцветного кварца, красноватого полевого шпата и коричневого биотита. Аксессуары минералы представлены редкими кристалликами апатита и циркона. Структура основной массы гилпидиоморфнозернистая, иногда лепидогранобластовая. Текстура массивная, с элементами директивной. Вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом и кварцем. Размер кристаллов калишпата до 3x2 см, форма их обычно удлиненно-округлая до таблитчатой. Окраска светлая, розоватая до розовато-красной со слабым желтоватым оттенком. Вкрапленники яркоокрашенного голубого опаловидного кварца имеют удлиненно-округлую или линзовидную форму, размер их до 1x0.6 см. Относительное содержание вкрапленников калиевого полевого шпата и кварца составляет, соответственно, 30 и 15об.%.
 Породы второй разновидности имеют среднепорфировидное сложение. Основная тонкозернистая масса характеризуется равномерной насыщенной коричневатой-красной или малиново-красной окраской; в основной массе заключены овальной конфигурации вкрапленники голубоватого опаловидного кварца и угловато-округлые или таблитчатые выделения светлого желтовато-красного калиевого полевого шпата. Структура основной ткани породы тонкокристаллическая, микролепидогранобластовая. Она состоит из полевого шпата, кварца и биотита. Аксессуары представлены цирконом и апатитом. Текстура массивная с элементами директивной. Размер вкрапленников полевого шпата до 1.5x1 см, кварца - до 0.8x0.4 см. Содержание порфировых выделений полевого шпата и кварца составляет, соответственно, 20 и 30%. Относительное распространение обеих разновидностей гранит-порфиров в пределах данного участка примерно одинаково.

В результате проведенных лабораторных испытаний были установлены следующие физико-механические показатели для описываемых разновидностей пород (табл.1). Таким образом, по своим физико-механическим характеристикам описываемые породы удовлетворяют требованиям, предъявляемым промышленностью к качеству облицовочного камня.
 В пределах площади развития высокодекоративных гранит-порфиров участка Тироярви было проведено изучение трещиноватости. Породы разбиты ортогональной сеткой трещин. По результатам 200 замеров были установлены основные системы трещин, краткая характеристика которых приведена в табл.2.
 Кроме того, в пределах участка наблюдаются зоны повышенной трещиноватости, в которых расстояния между трещинами, принадлежащими одной системе, составляют 1-2 см. Мощность таких зон не превышает 0.5-0.7 м, расстояние между ними не менее 20 м. Ориентированы они практически перпендикулярно к простирающемуся дайкоподобного тела гранит-порфиров.

Проводилось также изучение удельной трещиноватости как в таких зонах деформаций, так и в относительно массивных участках. В результате измерений было установлено, что в пределах нарушенных зон удельная трещиноватость достигает 15.1 м/м², тогда как для преобладающей массы пород удельная трещиноватость оценивается величиной 3.5 м/м². Таким образом, породы участка Тироярви по удельной трещиноватости могут быть сопоставлены с кварцитами Локшинского (от 1.54 до 3.42 м/м², в среднем 2.33 м/м²) и габбро-диабазами Матюковского (от 1.78 до 4.78 м/м², в среднем 3.17 м/м²) месторождений Карелии [2].
 Исключительно высокие декоративные качества вышеописанных гранит-порфиров обусловлены сочетанием яркой, насыщенной, выдержанной по густоте и тону красноватой окраски основной массы с крупными, четко индивидуализированными розоватыми, светлыми вкрапленниками калиевого полевого шпата и овальной формы выделениями ярко-голубого опаловидного кварца, контрастно выделяющимися на общем тонкозернистом однородном фоне матрицы.

таблица 1

Определяемые показатели	Гранит	
	крупнопорфировидный	среднепорфировидный
Объемная масса, г/см ³	2.64	2.61
Водопоглощение, %	0.20	0.18
Пористость эффективная, %	0.52	0.46
Предел прочности при сжатии, МПа		
а) в сухом состоянии	231	317
б) в водонасыщенном состоянии	198	254
в) после 50 циклов замораживания-оттаивания	151	192
Сопротивление удару	23	21

таблица 2

Ориентировка трещин	Расстояния между трещинами, м		
	наименьшее	наибольшее	среднее
з. пад. юго-восток-165°, з. пад. 85°	0.05	1.8	0.4
з. пад. юго-запад-265°, з. пад. 70°	0.1	0.8	0.3
з. пад. северо-восток-65°, з. пад. 10°	0.4	1.8	0.8

По материалам исследований [3, 4] для Северной Карелии устанавливается довольно широкое площадное распространение комплекса гранит-порфиров с голубоватым опаловидным кварцем. В связи с этим представляется необходимым проведение поисково-оценочных работ в уже известных участках подобных пород, в первую очередь к западу от Топозера, с целью изучения перспектив использования высокодекоративных гранит-порфиров в камнеобрабатывающей промышленности.

Л и т е р а т у р а

1. Ферсман А.Е. Очерки по истории камня. Т. 2. М.: АН СССР, 1961.
2. Пудовкин В.Г., Рылеев А.В. К методике оценки блочности месторождений изверженных горных пород Карелии. Информационные материалы за 1974 год (геология и полезные ископаемые). Петрозаводск, 1974, с. 64-67.
3. Библия Т.В., Дашкова А.Д. К характеристике некоторых докембрийских гранитов Северной Карелии (интрузивный комплекс Нуорунен). - В сб. ВСЕГЕИ, № 2, вып. 21. Л., 1957, с. 39-47.
4. Шипцов В.В. Взаимоотношение магматических пород в северо-западной части района оз. Тироярви. - Оперативно-информационные материалы за 1977 год (геология и петрография). Петрозаводск, 1978, с. 62-66.

Г.В.А лексеев

МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РЕГИОНОВ И МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА БЛОЧНЫЙ ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КАМЕНЬ

Предварительная оценка перспективности регионов и отдельных массивов относительно облицовочного камня, проводимая на стадиях поисково-оценочных работ, имеет важное значение. Однако существующие общепринятые нормы и правила затрагивают в основном вопросы конкретной оценки уже выявленных месторождений [1-5]. Отсутствие региональных оценочных работ усложняет ведение более детальных исследований, а в отдельных случаях направляет их по ложному пути [6].

В течение последних десяти лет автором проводились исследовательские и оценочные работы по природному облицовочному камню в Печенгском, Кольском, Кировском, Терском, Кандалакшском районах Мурманской области. В результате были выявлены некоторые общие и специфические особенности проблемы изучения этого типа полезных ископаемых на Кольском полуострове.

Основу перспективности региона дает региональный геологический структурный анализ, включающий: а) исследование геологического разреза и положения в нем интересующих массивов горных пород; изучение истории его геолого-тектонического развития, позволяющее выявить региональные факторы, определяющие формирование крайней структуры отдельных массивов; в) анализ неотектоники, геоморфологии и существующего напряженного состояния массивов горных пород.

В качестве примера рассмотрим перспективность Печенгского региона по карбонатным и ультраосновным интрузивным породам. Обратимся на оценку карбонатных образований региона как источника облицовочного камня. Перспективными являются карбонатные образования печенгской серии, представленные доломитами (доломитовые мраморы), доломитизированными известняками, в меньшей мере - карбонатными брекчиями, песчаниками и каролитами. Анализ геологического разреза печенгской осадочно-каногенной серии [7] показывает, что наибольшие количества карбонатных пород, образующих 12 проявлений карбонатного сырья, сосредоточены в пределах второй и третьей пачек второй осадочной толщи и третьей пачки - третьей. Морфологически - это линзообразные тела мощностью от 1-2 до 50 м. Геоморфологически они все же всего представлены пологими возвышенностями в рельефе. Для решения вопросов перспективности названных массивов как источников блочного камня обратимся к истории тектонического развития этих образований. В формировании печенгской серии выделяются четыре основных цикла, каждый из которых характеризуется мощными и многократными подводными излияниями магмы основного состава, накоплением обломочных вулканических пород туфов и отложением осадочных пород (доломитов и др.). В результате интенсивной вулканической деятельности были образованы 12-километровые толщи эффузивных диабазов и туфов, среди которых осадочные породы (в том числе и карбонатные) имеют резко пониженное значение [7-9]. Таким образом, карбонатные породы печенгской серии были поставлены в крайне жесткие условия - мощные линзы их, зажаты между многокилометровыми толщами диабазов, были передроблены и смяты возникшими мощными давлениями. Последующие процессы метаморфизма, тектогенеза и денудации привели к еще большему растрескиванию линз. В настоящее время наблюдаемая интенсивность трещиноватости массивов карбонатов столь велика, что максимальные объемы блоков, которые можно добывать, не превышают 0,5 м³ на самом крупном из проявлений в Пирттиярви. Таким образом, предварительный анализ истории геологического развития карбонатных образований Печенги показывает, что доломитовые мраморы, известняки и другие материалы не могут служить серьезной сырьевой базой для добычи блочного камня этого типа, несмотря на свои хорошие декоративные качества. Высокие физико-механические показатели, что в то же время исключает использование их для получения других видов каменных строительных материалов [10]. Большинство из проявлений

карбонатного сырья Печенги используется промышленностью Мурманской области в виде каменной крошки, щебня и др.

Темноцветные основные, ультраосновные интрузивные породы являются достаточно редким облицовочным материалом, так как специфика геолого-тектонического строения массивов этих пород в большинстве случаев не способствует образованию месторождений, обладающих значительными запасами крупно- и среднелочкового камня [11]. Массивы Печенгского региона в этом плане не являются исключением, но, учитывая большой объем горных работ, выполняемых при добыче медно-никелевых руд, целесообразен потпутный отбор кондиционных (для камнеобрабатывающих предприятий негабаритов вскрыши, получаемых из основных-ультраосновных пород.

Проведенный геолого-структурный анализ региона в плане перспектив полутного использования основных-ультраосновных интрузивных пород массивов показал следующее: внедрение в туфоно-осадочную толщу печенгской серии основной-ультраосновной массы происходило на завершающем этапе формирования Печенгского геосинклинали. Распределение и локализация массивов в пределах туфоно-осадочной толщи контролируется тектоническими элементами и прежде всего складчатыми структурами [8]. Все массивы (более 100) имеют пластовую или линзовидную форму, согласно вмещающими породами повторяют очертания крупных складок направлены на юго-запад под углами 30-60° в соответствии с общим залеганием пород. Размеры интрузивов колеблются в широких пределах: мощность от 2 до 700 м, протяженность от 200 до 700 м [9]. Одним из наиболее крупных из них является массив Пилыгярви.

Исследованиями геологического строения Печенгского синклинали определено два этапа в истории его тектонического развития:

а) архейские тектонические движения, приведшие к образованию крупных блоков фундамента, вытянутых в северо-западном направлении и разделенных глубинными разломами;

б) протерозойские тектонические движения, развивавшиеся уже существовавшим ослабленным зонам и сформировавшие субрегиональные дизъюнктивные структуры. Эти два крупных тектонических этапа вызвали ряд наложенных деформаций горных пород, таких как складкообразование различных порядков, связанная с трещиноватость, формирование различных систем опоряющих нарушений более высоких порядков. Заложение внутренней структуры единичных интрузивных массивов произошло в период стабилизации основных структурных элементов синклинали [8, 12].

При выборе массивов, перспективных для получения блочного облицовочного камня, было обращено внимание на тот факт, что независимо от мощности массивов положение интрузивов, согласно разрезу с простираем складок, не является отрицательным моментом при оценке их как источников блочного камня. Сложная разрывная тектоника способствует образованию в массивах структурных ослаблений различных порядков и разделению их на есте-

ные структурные блоки, которые будут тем больше, чем значительнее мощности деформируемых массивов. Соответственно этому в регионах с интенсивной разрывной тектоникой в качестве источников блочного камня целесообразно выбирать более мощные массивы. Это в определенной мере будет способствовать получению облицовочного камня стабильной декоративности.

Таким образом, на основании результатов регионального геолого-структурного анализа карбонатные образования и интрузивные массивы основных-ультраосновных пород Печенгского региона следует считать малоперспективными в качестве источников блочного облицовочного камня. Использование их возможно лишь в случае потпутной добычи [13].

В рассмотренных примерах не использовались приемы, которые целесообразно применять в малоизученных регионах как природно-каменные провинциях, - анализ геоморфологии и напряженного состояния горных пород. Сопоставляя рельеф и тектонические структуры Кольского полуострова, ряд исследователей делает вывод о его сложном строении, о возможном перемещении блоков. Одна часть блоков имеет антиклинальное строение, другая - синклинальное. Новые испытывают погружение и в современном рельефе выражены депрессиями, вторые поднимаются и соответствуют полосам возвышенностей [14]. Известно также, что при воздымании древних структур происходят разгрузки существующих в породах тектонических напряжений. Интенсивность их существенно зависит от активности поднятий [15] и определяет степень развития неотектонической трещиноватости - суть современного структурного расчленения массивов облицовочного камня. Поэтому целесообразнее исследовать структуры полуострова, где отсутствуют аномально высокие значения напряжений в массивах пород. По современным представлениям к подобным районам относятся частично рассмотренный уже Печенгский регион (до реки Зап. Лица), а также обширные территории юго-востока полуострова, начиная от условной линии „п-ов Ту-Мыс - р.Териберка“. Наиболее неблагоприятными по напряженности являются регионы центральной части Кольского полуострова: далайский, Хибинский, Ловозеро-устье р.Вороньей. Такие районы, как Ено-Ковдорский, Мончегорский, Нотто-Лоттинский, обладают единственными характеристиками напряженности (см. рисунок).

Следующим, и наиболее ответственным, этапом предварительной работы перспективности массива является исследование по схеме: трещиноватости, блочности, микротрещиноватости, закономерностей формирования названных параметров, установление зон их влияния в пределах массива, а также исследование состава и свойств пород, истории формирования и пространственной изменчивости.

На этом этапе исследований применялись следующие методы. Исследование элементов внутренней структуры и деталей строения массива начиналось с дешифрирования аэрофотоснимков масштаба 1:10000 и рекогносцировочных маршрутов. Для выявления деталей строения структурных элементов, характера их проявлений

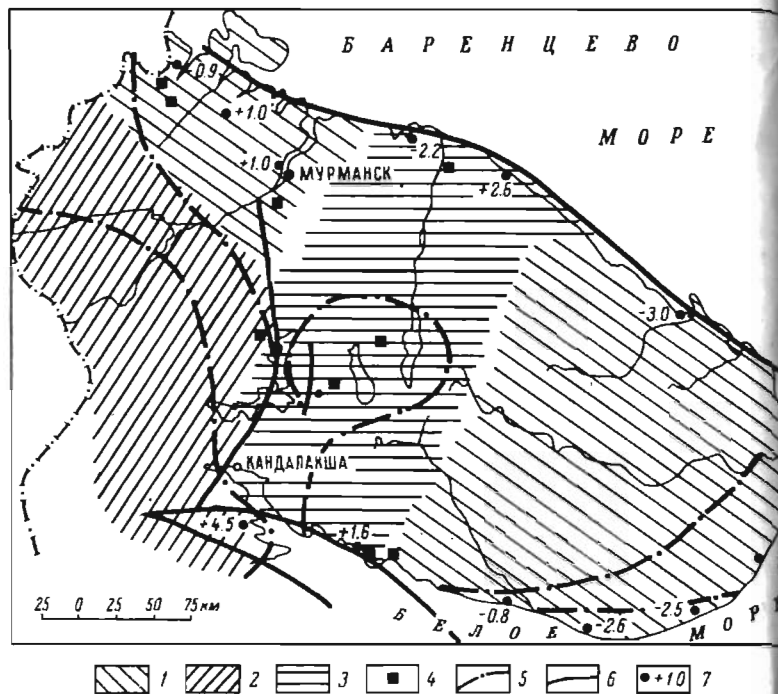


Схема предварительного районирования Кольского полуострова на блочный облицовочный камень, составленная по условиям неупругого состояния пород в массивах [15].

1 – наиболее перспективные площади; 2 – наименее перспективные площади; 3 – переходные области; 4 – выявленные месторождения облицовочного камня; 5 – изолинии современных движений земной коры; 6 – сейсмоактивные зоны; 7 – пункты регистрации и значения скоростей современных движений.

и зон влияния на окружающие горные породы проводилось структурное геологическое картирование масштаба 1:5000, 1:2000. Изучение трещиноватости выполнялось методом массовых замеров трещин [1, 16, 17] с измерением элементов залегания трещин, расстояния между трещинами в системах, исследованием их формы, ширины раскрытия, характера выполнения, протяженности с последующей статистической обработкой результатов, причем дифференцировано по типам пород.

Характерной особенностью изучения трещиноватости при оценке перспективности массивов относительно облицовочного камня является определение блочности массива. Существующие традиции

методики [1, 17–19] базируются на статистическом изучении закономерностей развития и распространения трещиноватости и последующем вычислении размеров блоков, процента их выхода, установлении естественной формы блоков. Проведенный анализ эффективности и надежности использования этих методик показывает, что они обладают определенными недостатками, препятствующими активному использованию на стадиях предварительной оценки массивов. Поэтому для магматогенных и метаморфогенных массивов, наряду с определением блочности традиционными способами, целесообразно проводить оценку минимальной гарантированной блочности на основе статистического анализа распределения по фракциям элювиальных образований дневной поверхности массивов. Суть методики состоит в том, что в процессе исследований производится замер глыбового элювия в количествах, достаточных для дальнейшей статистической обработки. Возможность подобной оценки вытекает из того, что генезис глыбового элювия непосредственно связан с трещиноватостью коренных пород. В процессе истории геологического развития массивы горных пород претерпевают различные изменения, в том числе и деформации, приводящие к образованию конформированных массивов происходит преимущественно по ранее заданным в них структурным ослаблениям. Следовательно, на ее ранних этапах образуется глыбовый элювий, статистическое изучение которого в геологических регионах с преобладающим физическим выветриванием является генетически обоснованным способом оценки минимальной гарантированной блочности магматогенных и метаморфогенных массивов горных пород [20].

Изучение микротрещиноватости (пористости), имеющей большое значение при оценке физико-механических свойств камня и его долговечности, проводилось с помощью измерительных микроскопов и окулярной лупы для мелко- и среднезернистых пород и курвиметра для крупнозернистых пород. Особое внимание обращалось на соотношение, соизмеримые с размером минеральных зерен и большие, как они оказывают существенное влияние на формирование физико-механических показателей и долговечность камня [21]. Исследование состава и свойств пород, истории их формирования, пространственной изменчивости важно, во-первых, для определения соответствия требованиям ГОСТов, во-вторых, для возможного проектирования различных физико-механических, физико-химических, геологических свойств и возможных состояний камня [22, 23]. При изучении минерального состава и структурно-текстурных особенностей пород большое значение имеет выявление неблагоприятных минеральных ассоциаций, которые в условиях службы приводят к быстрому ухудшению качества облицовочных и других изделий. В качестве примера предварительной оценки одного из массивов рассмотрим интрузив Пильгуярви, который является одним из самых крупных основных-ультраосновных массивов Печенгского синклинория, что предопределяет его предпочтительную перспективность как источника блочного камня. В продольном разрезе массив имеет

чащеобразную, в поперечном – пластовую формы. Длина его около 2 км, ширина – около 1 км. Общее падение массива на юго-запад (аз.пад. 215°, \angle пад. 45–50°). В геологическом разрезе массив выделяются серпентинизированные перidotиты и в меньшей мере серпентиниты. Средняя мощность этой зоны до 140 м. Выше перidotитов располагаются пласты пироксенитов мощностью 30–40 м и габбро мощностью до 415 м, что составляет около 60% общей мощности массива [12, 24, 25]. Контакты отдельных разновидностей пород внутри разреза массива носят постепенный характер, внешние контакты – грубосогласные по удлинению массива и особенно на флангах. Краевые зоны контактов измененных пород тироговников достигают 10 м [26]. Вмещающие породы представлены в основном метадиабазами и филлитами. Внутренняя структура массива Пильгуйarvi имеет следующие основные тектонические элементы: продольную (субширотную) зону и разновозрастные, различного назначения поперечные нарушения [8, 12, 24, 26].

Тектонические структурные элементы (будучи естественными структурными ослаблениями) определяют зонально-блочное строение массива, выражающееся в наличии нескольких типов естественных структурно-тектонических блоков, характеризующихся различными уровнями интенсивности трещиноватости, микротрещиноватости, кинематическими физико-механическими свойствами, различиями в минеральном составе пород. Первый тип – сохранные блоки – участки массива, в пределах которых на свойства и состав пород практически не оказывают влияния различные тектонические нарушения. Прямственно они занимают участки массива в промежутках между блоками других типов. В их пределах показатели физико-механических свойств пород достигают максимальных значений, минеральный состав наименее изменен, трещиноватость пород минимальная по интенсивности. Второй тип – участки массива, подверженные интенсивному воздействию поперечных тектонических нарушений. Границы их по простиранию массива ограничиваются зонами влияния поперечных тектонических дислокаций. Для этого типа блоков характерны более низкие показатели свойств пород, изменения минерального состава, а также увеличение интенсивности трещиноватости породных систем, частичное изменение их ориентировки, появление дополнительных систем трещин (табл. 1, 2).

Успешное завершение исследований конкретного массива невозможно без установления причин и закономерностей пространственного изменения в нем свойств пород. Выявление причин и условий неоднородности массива проводилось посредством анализа полученного фактического материала на основе известных данных о геолого-тектоническом развитии. Формирование первичной неоднородности интрузивного тела было обусловлено процессом внедрения магмы, сопровождавшимся контактовыми изменениями пород. Действующая дифференциация расплава привела к образованию законно расслоенного тела, состоящего из пород основного и ультраосновного состава. Различия в минеральном составе дифференцированного массива определили и различия первоначальных физико-механических

Породы	Сохранные зоны			Нарушенные зоны			Степень уменьшения показателей свойств в нарушенных зонах, %
	прочность на сжатие, МПа	динамический модуль упругости, Ед. $\cdot 10^{-4}$ МПа	коэффициент вариации, %	прочность на сжатие, МПа	динамический модуль упругости, Ед. $\cdot 10^{-4}$ МПа	коэффициент вариации, %	
Серпентинизированные перidotиты	251	8,99	10	181	8,54	12	28
Пироксениты	224	10,46	13	199	9,15	7	12
Габбро	228	9,94	11	214	9,22	8	7

Т а б л и ц а 2

Интенсивность трещиноватости массива в различных структурных зонах

Породы	Сохранные зоны		Нарушенные зоны	
	трещиноватость, тр./м ³	микротрещиноватость, см ⁻¹	трещиноватость, тр./м ³	микротрещиноватость, см ⁻¹
Серпентинизированные перidotиты, пироксениты	1.4	0,812	2.2–5	0,997–1,206
Габбро	1.2		1.9–3	

свойств. Рассчитанные значения прочностных показателей по уравнениям регрессии для ультраосновных и основных пород (с минимальными теоретически возможными содержаниями породообразующих минералов) показали, что для ультраосновных пород прочность при сжатии составляет 300–420 МПа, а для основных – 250–280 МПа. Таким образом, разница прочностных показателей только за счет различий минерального состава должна была составлять 50–100 МПа. [25].

Вторичная неоднородность массива Пильгуярви формировалась в результате действия взаимосвязанных во времени и пространстве факторов метаморфизма и тектогенеза. Взаимосвязь их способствовала тому, что пространственное положение неравновесных метаморфических минеральных ассоциаций в пределах массива строго контролировалось его тектоническими структурными элементами. Соотношения главных породообразующих (оливина и пироксена) и вторичных минералов (серпентинов, хлорита, эпидота, альбита) закономерно изменяется в пространстве по мере удаления от контактов с вмещающими породами, а также крупных тектонических швов [8, 12]. Наиболее интенсивно переработанные породы локализируются в продольной тектонической зоне и в непосредственной близости от нее, а также вблизи поперечных нарушений [8]. Изменения минерального состава, выразившиеся в появлении более пластичных и менее прочных минералов, сгладили проявление первичной неоднородности. В настоящее время показатели, например, прочностных свойств пород массива незначительно отличаются друг от друга (разница всего 23 МПа). В то же время тектогенез вызвал появление в массиве продольной тектонической неоднородности в плане. Вторичная тектоническая неоднородность массива определяется особенностями его внутренней структуры, зонально-блочным строением и проявляется, в частности, в закономерном изменении физико-механических свойств пород. Идентичных по составу породах массива свойства изменяются в сторону уменьшения прочностных и деформационных показателей в тектонически нарушенных зонах массива (табл. 1). В них также более резко проявляется неоднородность свойств пород, особенно продольных, которая выражается их нестабильностью, отображаемой значительными коэффициентами вариации. Это объясняет развитие трещиноватости пород и породообразующих минералов, которая в тектонически нарушенных зонах отличается большей вариацией размеров трещин (коэффициент вариации длин трещин в сохранных зонах составляет 25–31%, в нарушенных – 45–85%) и большими коэффициентами вариации трещиноватости.

Таким образом, неоднородность свойств пород массива зависит от направления (по простиранию) от структурного членения массива, а в поперечном – от первично-магматической слоистости и закономерностей пространственного положения метаморфических минеральных ассоциаций, контролируемых главными тектоническими элементами.

Завершающим этапом предварительного изучения перспектив массива на облицовочный камень является оценка его состояния

включающая в себя: а) выявление оптимальных инженерно-геологических элементов (блоков, зон, площадей) массива на основе знания его неоднородности и анизотропности, перспективных для добычи облицовочного камня; б) анализ состава, свойств пород с целью выявления перспективных среди них для использования в качестве облицовочного природного камня (на основе требований стандартов на этот вид сырья); в) составление рекомендаций промышленности. Анализ строения массива Пильгуярви показывает, что оптимальные участки для получения блочного камня находятся в пределах сохранных зон массива, для которых характерны: меньшая интенсивность трещиноватости, микротрещиноватости, трещинной пустотности (табл. 2), более высокие показатели физико-механических свойств (табл. 1), более благоприятные минеральные парагенезисы, способствующие увеличению срока службы облицовочных изделий. Наличие в значительных количествах сульфидов и хлоритов в породах тектонически нарушенных зон (особенно в областях тектонических швов) приводит к образованию неблагоприятных концентраций малоустойчивых минералов, что в конечном счете снижает атмосферостойкость пород, распространенных в пределах тектонических зон. Это объясняется тем, что в процессе окисления сульфидов сера образует свободную серную кислоту, которая агрессивно действует на слоистые силикаты, что приводит к возникновению шаннослойных или разбухающих фаз, значительно больших по объему замещенных ими минералов. В конечном счете процесс ведет к относительно быстрому разрушению породы в условиях воздействия атмосферы [27]. Анализ минерального состава показывает, что в группу наиболее перспективных для целей облицовки пород входят габбро и пироксениты, так как в их составе практически отсутствуют легко разлагающиеся в атмосферных условиях сульфиды (титаномагнетит существенного влияния на атмосферостойкость не оказывает). Отсутствие в составе вышеуказанных пород неустойчивых в атмосферных условиях минералов определяет широкую область их применения как облицовочных материалов. Учитывая, что габброиды в массиве имеют преимущественное развитие по сравнению с пироксенитами при практически одинаковых декоративно-эстетических качествах их, становится очевидным преимущество габбро как облицовочного камня в группе наиболее перспективных пород. Анализ их физико-механических свойств показывает соответствие исследуемых пород требованиям ГОСТа по этим показателям. Необходимо отметить, что менее измененные вторичными процессами породы обладают более высокими показателями физико-механических свойств.

Суммируя, можно сказать, что оптимальные инженерно-геологические элементы массива, перспективные для добычи облицовочного камня, располагаются в пределах сохранных зон массива в области развития габбро. Правильность этого анализа подтверждается практикой промышленного использования габбро необрабатываемым участком в г. Мончегорске (за 1972–1978 гг. поступивших 4 тыс. блоков облицовочного камня 85% были

габброидными). Таким образом, предлагаемая предварительная оценка перспективности регионов и массивов при использовании порода как природного облицовочного камня, основанная на тщательном изучении и анализе истории геолого-тектонического развития региона и массива, процессов формирования структуры, трещиноватости, свойств и состава пород, является обоснованным методом, апробированным в практике работ на Кольском полуострове.

Л и т е р а т у р а

1. Б е л и к о в Б.П. О методике изучения трещинной тектоники месторождений строительного облицовочного камня. М.: АН СССР, 1953.
2. Б е л и к о в Б.П., П е т р о в В.П. Облицовочный камень и его оценка. М.; Наука, 1977.
3. Неметаллические полезные ископаемые. Т.4. Природные каменные облицовочные материалы (Методы оценки, изучения и ресурсного учета). Научн.ред. В.П.Петров. М.: ВИНТИ, 1975.
4. Г р и г о р о в и ч М.Б. Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке. М.: Недра, 1970.
5. Г р и г о р о в и ч М.Б. Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Недра, 1976.
6. Б и б и к о в Б.И., А л е к с е е в Г.В., Т у р к и н В.И. Возможности использования доломитов Пирттиярви и хибинитов Айкуайвенчорра и повышение перспективности месторождений облицовочного камня. - В кн.: Химия и технология переработки силикатного сырья. Л.: Наука, 1975, с.103-108.
7. З а г о р о д н ы й В.Г., М и р с к а я Д.Д., С у с л о в С.Н. Геологическое строение Печенгской осадочно-вулканогенной серии. М.-Л.: Наука, 1964.
8. Г о р б у н о в Г.И. Геология и генезис сульфидных медно-келевых месторождений Печенги. М.: Недра, 1968.
9. Рудные месторождения СССР. В 3-х т. Под ред. акад. В.И. Зиничева. Изд. 2-е. М.: Недра, 1978.
10. Л а ш у к В.В. и др. Декоративные заполнители из отходов добычающих и камнеобрабатывающих предприятий Кольского полуострова. - В кн.: Природные и техногенные силикаты производства строительных и технических материалов. Л.: Наука, 1977, с.83-90.
11. М и т р о ф а н о в Г.К., Ш п а н о в И.А. Облицовочные поделочные камни СССР. М.: Недра, 1970.
12. Г о р б у н о в Г.И. и др. Структуры медно-никелевых рудных полей и месторождений Кольского полуострова. Л.: Наука, 1974.
13. А л е к с е е в Г.В. и др. Использование вскрышных пород медно-никелевых месторождений Кольского полуострова как облицовочного камня. - В кн.: Химия и технология переработки силикатного сырья. Л.: Наука, 1975, с.112-116.

М а к и е в с к и й С.И. Современный рельеф Кольского полуострова как отражение глубинных геологических структур. - В кн.: Природа и хозяйство Севера. Вып.1. Апатиты: Географ. общ-во СССР, Северный филиал, 1969, с.71-81.

М а р к о в Г.А. Распределение напряжений в северо-восточной части Феноскандии: влияющие факторы и возможность регионального прогноза. - В кн.: Отражение современных полей напряжений и свойств пород в состоянии скальных массивов. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1977, с.49-67.

А ж г и р е й Г.Д. Структурная геология. М.: МГУ, 1966.

Р а с т о р о п о в М.В., П о г р е б и с к и й М.И., Ч е р н ы ш е в С.Н. Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства. М.: Стройиздат, 1974.

О к о л ь з и н Е.П., К о р с а к о в П.Ф. Опыт исследования трещиноватости и вероятные методы определения блочности камня в массиве. - В кн.: Облицовочные камни. М.: Наука, 1974, с.82-87.

А м б а р ц у м я н Ф.А. Оценка степени трещиноватости и блочности месторождений природного камня. - В кн.: Облицовочные камни. М.: Наука, 1974, с.87-92.

А л е к с е е в Г.В., Б и б и к о в Б.И., Т к а ч е в А.С. Оценка минимальной гарантированной блочности на основе анализа элювиальных образований месторождений облицовочного камня. - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального сырья и отходов промышленности. Л.: Наука, 1980, с.87-95.

А л е к с е е в Г.В., Т к а ч е в А.С. Исследование влияния микротрещиноватости комплекса габброидов Пильгуярвинского массива на их прочностные свойства. - В кн.: Природные и техногенные силикаты для производства строительных и технических материалов. Л.: Наука, 1977, с.110-119.

Б и б и к о в Б.И. и др. Минералогический критерий оценки облицовочного камня и технологические параметры обрабатываемости габброидов месторождения Мончетундра. - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального сырья и отходов промышленности. Л.: Наука, 1980, с.95-106.

Л а ш у к В.В. Натурные испытания климатической стойкости облицовочного камня Кольского полуострова. - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального и техногенного сырья Кольского полуострова. Л.: Наука, 1979, с.53-65.

М а з а н и к В.Н., М а к а р о в В.Н. Характер тектонических деформаций в скальных породах различного петрографического состава (на примере основных-ультраосновных интрузий Печенгского рудного поля). - Тезисы докладов Всес. научн.-техн.сов.: Механика литосферы. Горное дело. М., 1974, с.141-143.

А л е к с е е в Г.В. Инженерно-геологические особенности основных интрузивных массивов основного-ультраосновного состава (на примере массива Пильгуярви, Кольский полуостров) в связи с использованием пород как природного облицовочного камня. - Автореф. канд. дис., М.: МГУ, 1978.

26. С м о л ь к и н В.Ф. К истории тектонического развития гурьявского интрузива основных и ультраосновных пород (Питкяненга). - В кн.: Проблемы изучения и освоения природных ресурсов Севера. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1973, с.84-88.
27. М а з а н и к В.Н., М а к а р о в В.Н., А л е к с е в Г.В. Минерало-петрографические критерии оценки пород как строительных материалов. - В кн.: Природные и техногенные материалы для производства строительных и технических материалов. Л.: Наука, 1977, с.100-110.

В.Г. П у д о в к и н

ЗОНА СОВРЕМЕННОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ НА НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ КАРЕЛИИ

Добыча блоков облицовочного камня осуществляется обычно на небольших глубинах, где породы в той или иной степени затронуты выветриванием [1-4]. Отсюда вытекает необходимость определения мощности зоны выветривания, а также изучения возможности пользования затронутых выветриванием горных пород в качестве строительного и облицовочного камня. Определение мощности выветривания имеет большое значение также в практике инженерно-геологических изысканий [5-8] и при проведении петрофизических исследований [9].

Изучение выветривания горных пород Карелии осложняется тем, что на ее территории обнажаются в основном свежие по облику породы, верхние же горизонты коры выветривания были уничтожены при материковых оледенениях. По подсчетам Н.И. Николаева и Медянцева [10], за антропогенный период с Балтийского шита снесен слой породы мощностью около 35 м, а В.Я. Евзеровым установлено, что „одним из основных источников обломочного материала ледниковых отложений являлась неогеновая кора выветривания гидрослюдистого типа” [11, с.55]. Поэтому при изучении выветривания горных пород Карелии применение хорошо разработанных для зональных кор выветривания геохимических и минералогических методов крайне ограничено. В данной работе принята минерно-геологическая методика изучения выветривания горных пород и классификация зон выветривания, предложенная Н.В. Коломенцевым [5] и использованная в работе Л.А. Ярг [8].

Определение мощности зон выветривания производилось по разрезу Моторинского и Уккомьякского месторождений гранитов и шиламбинского месторождения габбро-диабазов. Кроме того, изучен керн равномерно-зернистых гранитов рапакиви в пределах рудного поля Кительского месторождения. Для решения поставленной задачи было проведено детальное опробование керна интервалами 0,2-0,7 м, причем верхние 1,5-2,0 м были опробованы полностью. По общепринятой методике [12] определены удельный и объемный вес, общая и эффективная пористость, водопоглощение, проницаемость при сжатии, скорость продольных волн. Дополнительно проведена проверка [13] 2-часовое водопоглощение. По результатам определения физико-механических свойств (табл.1) производилась оценка выветрелости изучаемых пород. В разрезах, полученных по керну скважин месторождений Уккомьяки, Моторинского и Викшиламбинского, выделяется одна зона выветривания [5] - монолитная, ниже которой залегают породы, не затронутые выветриванием. В монолитной или скрытотрещиноватой, по Л.А. Ярг [8], зоне происходит „расшатывание” связей между зёрнами породы, что проявляется в некотором уменьшении объемного веса и скорости продольных волн. Изменение общей пористости происходит незакономерно в породах, затронутых выветриванием. В некоторых случаях она несколько больше, чем в свежих породах, что может быть объяснено большей неравномерностью в распределении пор по всему объему пород. В то же время значения эффективной пористости увеличиваются вверх по разрезу скважин в 5-6 раз (см. рисунок). Закономерно изменяется также отношение эффективной и общей пористости. Если в свежих гранитах оно составляет 25,6-34,4%, то в монолитной зоне выветривания - от 41,6 до 92,0%. Благодаря большому количеству пор, доступных для проникновения воды, породы монолитной зоны будут более восприимчивы к морозному выветриванию и гидратации [14]. Увеличение эффективной пористости ведет к значительному увеличению как быстрого (2-часового), так и медленного водопоглощения. Даже по керну скважин, где не сохранилась корочка окисленных пород, водопоглощение увеличивается по сравнению со свежими породами от 1,5 до 6 раз.

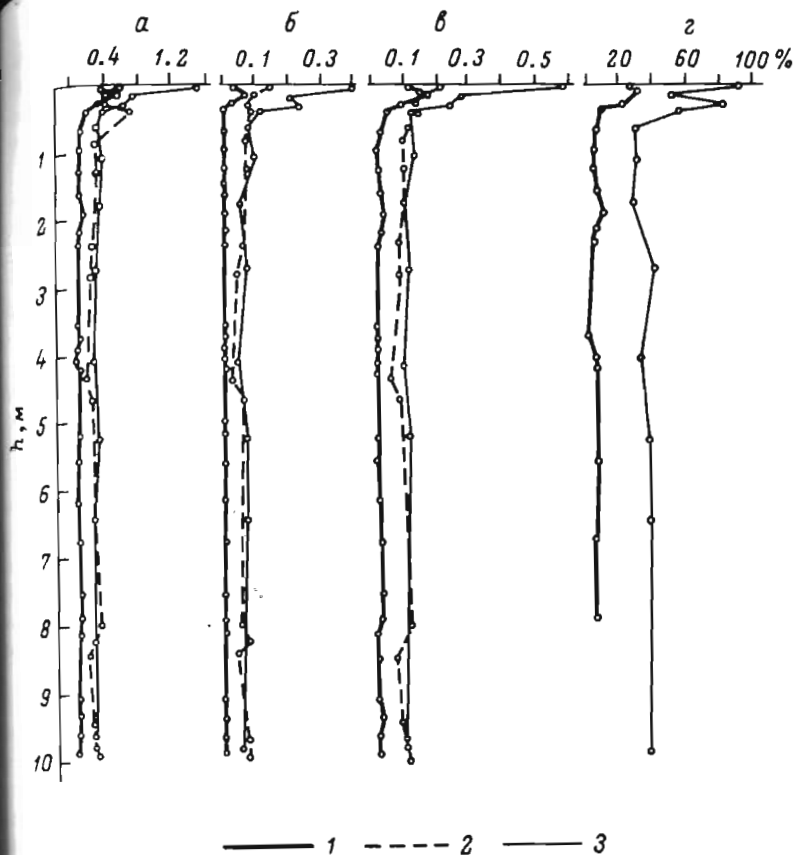
Физико-механические свойства равномерно-зернистых гранитов рапакиви II фазы были изучены только по образцам свежих пород. Показательно, что при высоком значении эффективной пористости гранитов рапакиви (0,6%) она составляет лишь 25,6% от общей пористости. Данные, полученные по 22 пробам керна Китальского месторождения, позволяют с достаточной высокой точностью установить средние значения физико-механических свойств невыветрелых гранитов рапакиви.

Для определения влияния химического выветривания на горные породы были выполнены силикатные анализы. Поскольку при выветривании происходит уменьшение плотности изучаемых пород, все анализы были пересчитаны на концентрации окислов по окисно-объемному методу, рекомендованному при изучении кор выветривания [15]. В табл. 2 приводится расчет миграции элементов при выветривании пород. Анализ балансa привноса-выноса показывает, что большие изменения в монолитной зоне выветривания связаны с переходом закисного железа в окисное. В разрезе Моторинского месторождения уменьшению FeO (35,14%) почти точно соответствует увеличение Fe₂O₃ (33,33%).

В гранитах месторождения Уккомьяки и габбро-диабазов Викшиламбинского месторождения привнос Fe₂O₃ резко преобладает над уменьшением в коренной породе FeO, что объясняется, вероятно, окисляющей по трещинам слабо выветрелой породы почвенных вод,

Т а б л и ц а 1
Физико-механические свойства горных пород

Месторождение	Зоны выветривания	Глубина, м	Объемная масса, г/см ³	Пористость, %		П _{эф} /П _{об} , %	Водопоглощение, %		Предел прочности при сжатии, МПа	Скорость продольных волн, D · 10 м/с
				общая	эффективная		2-часовое	5-суточное		
Уккомяки	Монолитная	0,0-0,4	2,59-2,63	0,60-1,63	0,34-1,50	56,7-82,0	0,11-0,30	0,13-0,38	199-250	354-599
			2,62	1,10	0,80	70,9	0,23	0,31	220	476
Моторинское	Свежих пород	0,4-28,5	2,62-2,71	0,68-1,08	0,24-0,33	27,55-41,18	0,05-0,09	0,09-0,13	170-250	579-636
			2,64	0,84	0,28	34,41	0,07	0,11	206	615
Моторинское	Монолитная	2,5-3	2,64-2,65	0,78-1,46	0,35-0,73	34,65-72,28	0,08-0,14	0,13-0,21	229-317	491-551
			2,64	1,01	0,42	48,23	0,10	0,16	290	523
Моторинское	Свежих пород	3-47	2,63-2,68	0,26-2,11	0,16-0,48	17,08-79,41	0,02-0,10	0,06-0,19	205-358	522-600
			2,65	0,92	0,29	34,57	0,07	0,11	325	572
Викшиламбинское	Монолитная	0,0-0,3	2,99-3,00	1,27-1,73	0,32-0,51	20,92-29,48	0,03-0,07	0,10-0,17	286	-
			2,99	1,51	0,37	24,5	0,05	0,13	145-444	655-689
Викшиламбинское	Свежих пород	0,3-26,5	2,98-3,03	0,33-3,04	0,05-0,15	1,64-15,79	0,01-0,02	0,02-0,05	315	678
			3,01	1,54	0,08	5,2	0,01	0,02	107-234	372-577
Китильское	Свежих пород	11,1-61	2,60-2,62	1,25-3,26	0,42-0,77	20,07-40,00	0,11-0,24	0,16-0,30	185	502
			2,61	2,34	0,60	25,6	0,17	0,23		



Изменение физико-механических свойств горных пород в зоне выветривания.

а — пористость эффективная, П_{эф}, %; б — водопоглощение 2-часовое W₂, %; в — водопоглощение 5-суточное W₅, %; г — отношение эффективной пористости к общей П_{эф}/П_{об}, %.

1 — габбро-диабазы Викшиламбинского месторождения; 2 — граниты Моторинского месторождения; 3 — граниты месторождения Уккомяки.

богатых Fe₂O₃. При выветривании гранитов выносятся значительное количество MgO (47,4-53,3%) и из гранитов месторождения Уккомяки более половины MnO (66,7%). По мнению ряда исследователей, такие изменения в химическом составе гранита связаны с выветриванием биотита [16, 17]. Рентгенографическое исследование биотита из самых верхних горизонтов разреза Уккомяки показывает, что биотит здесь гидратизирован.

Изменения химического состава пород в монолитной зоне хорошо совпадают с изменениями их физико-механических свойств и свидетельствуют о незначительном влиянии выветривания на состав изученных горных пород, которое А.Г. Черняховский [18]

Т а б л и ц а 2

Расчет миграции элементов при выветривании горных пород

Месторождение	Концентрация и баланс окислов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Уккомьяки	I	1.920	0.005	0.380	0.016	0.032	0.0009	0.015	0.036	0.095	0.124
	II	1.915	0.005	0.365	0.050	0.026	0.0003	0.007	0.033	0.086	0.139
	III	-0.005	0.0	-0.015	+0.034	-0.006	-0.0006	-0.008	-0.003	-0.009	+0.015
	IY	-0.26	0.0	-3.95	+212.50	-18.75	-66.67	-53.33	-8.33	-9.47	+12.10
Моторино	I	1.912	0.005	0.361	0.027	0.037	0.001	0.019	0.031	0.095	0.141
	II	1.945	0.004	0.362	0.036	0.024	0.001	0.010	0.025	0.083	0.131
	III	+0.33	-0.001	+0.001	-0.009	-0.013	0.0	-0.009	-0.006	-0.012	-0.010
	IY	+1.73	-20.00	+0.28	+33.33	-35.14	0.0	-47.37	-19.35	-12.63	-7.09
Викшиламбинское	I	1.416	0.037	0.487	0.078	0.267	0.005	0.228	0.306	0.089	0.022
	II	1.402	0.037	0.464	0.107	0.254	0.005	0.225	0.311	0.063	0.020
	III	-0.014	0.0	-0.023	+0.029	-0.013	0.0	-0.003	+0.005	-0.006	-0.002
	IY	-0.99	0.0	-4.72	+37.18	-4.87	0.0	-1.32	+1.63	-8.70	-9.09

Примечание. I - концентрация окислов (г/см³) в коренной породе; II - в выветрелой породе; III - баланс окислов (г/см³); IY - привнос-вынос (% к массе окисла в коренной породе).

называет предразрушением. Аналогичные данные получены и при изучении выветривания горных пород в Финляндии [19, 20]. Мощность пород, затронутых выветриванием на Викшиламбинском месторождении составляет 0.3 м, Моторинском - 0.5 м, Уккомьяки - 0.4 м.

Незначительная мощность монолитной зоны и отсутствие остальных зон выветривания на изученных месторождениях объясняются небольшим сроком воздействия агентов выветривания на горные породы. Начало современного выветривания в Южной Карелии можно, по-видимому, сопоставить с началом образования глубоких горизонтов чернозема на Русской равнине, т.е. около 7-9 тыс. лет назад [21]. Близкие данные по радиоуглеродным датировкам природных слоев торфяно-сапропелевых отложений в Южной Карелии приводятся в [22], а для Приладожья - в [23]. Территория Южной Карелии, по классификации А.Г. Черняховского и Б.П. Градусова [18], является зоной бурейного гумидного литогенеза, для которого характерно слабое проявление физико-химических процессов выветривания. Особо следует подчеркнуть весьма незначительную роль химических процессов в выветривании горных пород Карело-Кольского региона. По данным В.Я. Евзерова [24], в песчано-алевритовой фракции морены последнего оледенения на Кольском полуострове содержится до 23% таких неустойчивых к химическому выветриванию минералов, как нефелин, эвдиалит, содалит и цеолиты. Отсутствие на изученных месторождениях зон с интенсивным проявлением современного выветривания (глыбовой зоны и зоны прессы) позволяет получать крупные блоки уже с поверхности. Так, для Моторинского месторождения гранитов характерен элювий, в котором блоки имеют размер до 13.8 м³. Однако их выветрелость, хотя и незначительная, все же сказывается на выходе плит при распиловке блоков. По данным А.В. Рылеева, выход плит из блоков верхнего горизонта опытного карьера Моторинского месторождения был на 5-17% меньше, чем у блоков, отобранных ниже границы современного выветривания. Кроме того, эти облицовочные плиты будут иметь повышенную эффективную пористость и водопоглощение, что значительно уменьшит их долговечность, особенно при солевом морозном выветривании.

Таким образом, напрашивается вывод о необходимости определения мощности зоны выветривания на карельских месторождениях облицовочного камня. При проведении разведочных работ следует уменьшить интервалы опробования верхних скважин (3-5 м керна) до 20-30 см, а в качестве экспрессного полевого метода изучения выветрелости пород необходимо производить определение 2-часового водопоглощения, для которого не требуется сложного оборудования.

Л и т е р а т у р а

- Беликов Б.П. Упругие и прочностные свойства горных пород - Тр. ИГЕМ АН СССР, 1961, вып. 43, с. 47-110.
Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физические свойства. М.: Наука, 1968.

3. Беликов Б.П., Петров В.П. Облицовочный камень и его оценка. М.: Наука, 1977.
4. P e s c h e l A. Natursteine. Leipzig, 1977.
5. Коломенский Н.В. Методические указания по изучению процессов выветривания пород для инженерно-геологических целей. М.: Госгеолиздат, 1952.
6. Золотарев Г.С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процесса и кор выветривания. - В сб.: Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М.: МГУ, 1971, с.4-26.
7. P u t s c h e r S., L a n g e M. Zur ingenieur-geologischen Bewertung Verschiedener Festgesteintypen. - Z. angewandte Geologie, 1972, B. 18, H. 11, S. 516-519.
8. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. М.: Недра, 1974.
9. Духовский А.А., Магид М.Ш. Вертикальная петрофизическая зональность интрузивных и метаморфических пород. - Советская геология, 1978, № 9, с.141-148.
10. Николаев Н.И., Медянец А.И. Интенсивность ледниковой денудации и материковые оледенения. - Вестн. МГУ Геология, 1966, № 2, с.43-47.
11. Евзеров В.Я. Роль древних кор выветривания в формировании антропогенных отложений и связанных с ними месторождений северо-восточной части Балтийского щита. - Литология и полезные ископаемые, 1978, № 1, с.50-58.
12. Беликов Б.П., Залесский Б.В., Розанов Ю.А. и др. Методы исследований физико-механических свойств горных пород. - В кн.: Физико-механические свойства горных пород. М.: Наука, 1964, с.3-55.
13. Хэмрол А. Классификация выветрелости и выветриваемости пород. - В кн.: Проблемы инженерной геологии. М.: Мир, 1964, с.105-115.
14. Черняховский А.Г. Некоторые вопросы физического и физико-химического выветривания горных пород. - В сб.: Критерии выветривания. Вып. 10. М.: Наука, 1968, с.18-29.
15. Основы регионального изучения кор выветривания. Л.: ВСЕГП, 1974.
16. Соколова Т.А., Белоусова Н.И. Изменение биотита в профиле подзолистой альфегумусовой почвы. - Почвоведение, 1974, № 7, с.74-85.
17. Сонкин Л.С., Манк В.В. Некоторые аспекты геохимии железа при выветривании биотита на каолиновом месторождении - ДАН УССР, сер.Б, геолог., химич. и биологич. науки, 1974, № 11, с.904-908.
18. Черняховский А.Г., Градусов Б.И. Гумидно-элювиальный процесс и его роль в гумидном литогенезе современного континентального блока. - Литология и полезные ископаемые, 1977, № 1, с.37-53.
19. Ohlson B. Frostaktivität, Verwitterung und Bodenbildung in den Fjeldgegenden von Enontekiö. - Finnisch-Lapland, Fennia, 1964, v.89, N3, s.150.
20. Aurola E. Kurun alueen rakennuskivet. - Geologinen titkimuslaitos, 1967, n 71, Otaniemi, s.64.
21. Рубилин Е.В., Козырева М.Г. О возрасте русского чернозема. - Почвоведение, 1974, № 7, с.16-26.
22. Пьявченко Н.И., Елина Г.А., Чачхяни В.Н. Основные этапы истории растительности и торфонакопления на востоке Балтийского щита в голоцене. - Бюлл. комиссии по изучению четвертич. периода, 1976, № 45, с.3-24.
23. Ладожское озеро. Петрозаводск: Карелия, 1978.
24. Евзеров В.Я. О характере выветривания горных пород Кольского полуострова в антропогене. - В сб.: Вопросы формирования рельефа и рыхлого покрова Кольского полуострова. Л.: Наука, 1971, с.121-130.

А.С.Ткачев

ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЕФЕКТНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Формирование физико-механических свойств горных пород зависит от условий образования и от последующих геолого-структурных преобразований. Генетические и постгенетические процессы полностью определяют минеральный состав со всеми его особенностями, следовательно, и физико-механические свойства горных пород [1, 2]. Важными параметрами, характеризующими физико-механические свойства горных пород, являются упругие постоянные, зависящие главным образом от минерального состава, макро- и микродефектности.

В данной статье анализируются основные методы определения упругих свойств горных пород, кроме того, показано, что на основании сравнения измеренных упругих постоянных с расчетными можно получить интегральную оценку дефектности горных пород, необходимую для решения ряда инженерно-геологических задач.

Упругие свойства горных пород характеризуются упругими постоянными, которые определяют либо статистическими, либо динамическими методами. Наиболее быстродействующими и точными методами являются динамические, как правило, связанные с измерением скоростей упругих волн либо в образцах горных пород, либо в монокристаллах минералов, слагающих ту или иную горную породу. В настоящее время известны [3, 4] упругие постоянные порообразующих минералов (см. таблицу), поэтому определение этих величин для горных пород можно проводить, используя данные минералогических исследований по приближению Фойгта-Ройсса-Хилла, или сокращенно по схеме Ф.Р.Х. [3, 4].

В данной работе были рассчитаны по схеме Ф.Р.Х. и экспериментально определены упругие постоянные некоторых горных пород, используемых в качестве облицовочного камня. Наи-

88 Модули упругости G_{ij} ($\text{кг/см}^2 \cdot 10^{-5}$) и коэффициенты податливости S_{ij} ($\text{см}^2/\text{кг} \cdot 10^7$) [3, 4]

Минерал	11	22	33	44	55	66	12	13	23	15	25	35	46	14
Кварц	$\frac{8.60}{12.777}$		$\frac{10.5757}{9.735}$	$\frac{5.820}{19.985}$		$\frac{3.987}{26.167}$	$\frac{0.740}{-1.80}$	$\frac{1.191}{-1.295}$						$\frac{-1.804}{4.524}$
	$\frac{18.16}{7.68}$	$\frac{15.07}{8.37}$	$\frac{21.78}{5.46}$	$\frac{6.97}{14.41}$	$\frac{5.11}{21.32}$	$\frac{5.58}{18.01}$	$\frac{7.34}{-3.19}$	$\frac{7.24}{-1.94}$	$\frac{3.39}{-0.08}$	$\frac{-1.99}{1.02}$	$\frac{-1.66}{1.44}$	$\frac{-2.46}{1.85}$	$\frac{-0.43}{1.11}$	
Авгит	$\frac{7.40}{17.19}$	$\frac{13.75}{8.52}$	$\frac{112.89}{9.83}$	$\frac{1.72}{58.35}$	$\frac{3.03}{36.85}$	$\frac{3.11}{32.27}$	$\frac{3.63}{-3.50}$	$\frac{3.76}{-3.91}$	$\frac{3.26}{-0.94}$	$\frac{-0.91}{1.50}$	$\frac{-1.04}{1.28}$	$\frac{-1.91}{4.70}$	$\frac{-0.13}{2.44}$	
	$\frac{18.6}{5.60}$		$\frac{5.40}{18.95}$	$\frac{0.58}{172.41}$		$\frac{7.68}{13.02}$	$\frac{3.24}{-0.91}$	$\frac{1.16}{-1.01}$						
Роговая обманка	$\frac{13.00}{9.34}$	$\frac{18.75}{6.20}$	$\frac{19.82}{6.03}$	$\frac{6.11}{16.57}$	$\frac{3.88}{26.01}$	$\frac{4.50}{22.23}$	$\frac{6.15}{-2.99}$	$\frac{5.92}{-1.95}$	$\frac{6.15}{-1.23}$	$\frac{-0.94}{-0.72}$	$\frac{-0.68}{-0.17}$	$\frac{-2.20}{-2.27}$	$\frac{-0.09}{0.33}$	
	$\frac{5.84}{25.08}$	$\frac{14.68}{7.84}$	$\frac{9.88}{13.12}$	$\frac{1.24}{82.45}$	$\frac{1.85}{62.77}$	$\frac{3.43}{29.80}$	$\frac{3.33}{-4.48}$	$\frac{3.40}{-6.48}$	$\frac{2.16}{-0.30}$	$\frac{-1.07}{8.91}$	$\frac{-0.43}{-0.88}$	$\frac{-1.30}{5.40}$	$\frac{-0.30}{7.21}$	
Микро-клин	$\frac{5.96}{25.01}$	$\frac{15.18}{7.99}$	$\frac{10.49}{12.36}$	$\frac{1.39}{72.98}$	$\frac{2.03}{57.04}$	$\frac{3.70}{27.42}$	$\frac{3.62}{-4.26}$	$\frac{3.60}{-6.28}$	$\frac{2.85}{-0.64}$	$\frac{-1.18}{9.36}$	$\frac{-0.57}{-0.81}$	$\frac{-1.29}{4.00}$	$\frac{-0.26}{-5.13}$	
	$\frac{8.45}{15.46}$	$\frac{15.05}{7.79}$	$\frac{13.25}{9.52}$	$\frac{1.85}{54.10}$	$\frac{3.14}{34.85}$	$\frac{3.43}{29.18}$	$\frac{4.17}{-3.40}$	$\frac{4.09}{-3.74}$	$\frac{3.30}{-0.85}$	$\frac{0.87}{1.34}$	$\frac{-0.69}{0.26}$	$\frac{-1.85}{4.39}$	$\frac{-0.11}{1.74}$	

Примечание. В числителе - G_{ij} ; в знаменателе - S_{ij} ; 11, 22, ... - первая цифра обозначает

детаально были исследованы упругие свойства кварцсодержащих диоритов месторождения Шонгуй, среднезернистого габбро Печенги, крупнозернистого габбро Мовчетундры и гранитов месторождения Кузрека. Связь между расчетными и измеренными модулями упругости этих горных пород показана на рис. 1, из которого видно, что упругие постоянные гранитов и диоритов, определенные по схеме Ф.Р.Х., как правило, больше, чем найденные с помощью ультразвуковых измерений. Для крупно- и среднезернистого габбро наблюдается, с одной стороны, лучшая связь между расчетными и измеренными значениями упругих постоянных, и, с другой стороны, в некоторых образцах упругие постоянные, найденные с помощью ультразвуковых измерений, оказываются больше значений упругих постоянных, определенных по схеме Ф.Р.Х. Такого рода расхождения между расчетными и измеренными упругими постоянными уже нельзя объяснить ни погрешностью измерений упругих постоянных, равной примерно 3-5% (при точности измерения скоростей упругих волн ±1,5%), ни ошибками определения концентраций минералов в пробе.

Расхождения между значениями упругих постоянных, определенными по схеме Ф.Р.Х. и измеренными с помощью ультразвуковых методов непосредственно в горных породах, связаны главным образом с микро- и макродефектностью породообразующих минералов.

В минералах, как и в других кристаллических структурах, к микродефектам относятся вакансии, атомы внедрения, дислокации, нарушающие периодичность кристаллической структуры. Микродефекты не только нарушают однородность структуры, но и изменяют упругие свойства любых кристаллических сред, в том числе и природных минералов. Из всех микродефектов, характерных для природных минералов, наибольший интерес представляют дислокации, являющиеся деформационными дефектами, в которых запечатлена определенная информация о геологических условиях образования и развития того или иного минерала [5]. Прямое наблюдение деформационных дефектов осуществляется с помощью электронно-микроскопических методов [5]. Однако, учитывая то, что дислокации могут оказывать заметное влияние на поглощение и изменение скоростей упругих волн, распространяющихся в минералах, их можно исследовать еще акустическими методами, с помощью ультразвуковых измерений. Ультразвуковые частоты, на которых влияние дислокаций не проявляется, обычно очень высоки и находятся в пределах 10^8 - 10^{10} Гц [6]. Исследования упругих свойств породообразующих минералов в таких высоких частотах практически не производились, поэтому значения бездислокационных упругих постоянных до сих пор неизвестны.

В минералах, кроме микродефектов, практически всегда есть макродефекты, возникающие как в процессе образования, так и в ходе последующих преобразований. Такими дефектами являются твердые, жидкие и газообразные включения с резко отличающимися упругими свойствами от самого минерала, поэтому в общем случае упругие свойства как минералов, так и горных пород в целом будут определяться совместным влиянием микро- и макродефектности.

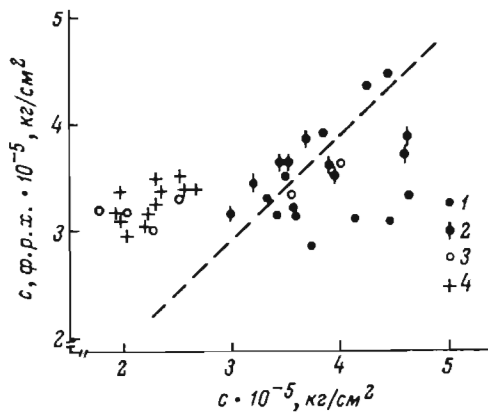


Рис. 1. Сравнение измеренных $G_{из}$ и расчетных $G_{ф.р.х.}$ значений модуля сдвига.

1 - габбро крупнозернистое; 2 - габбро среднезернистое; 3 - диориты; 4 - граниты.

Наиболее дефектными участками в горных породах являются границы зерен, поскольку именно на границах зерен чаще всего наблюдаются скопления дислокаций, следствием которых может быть беспорядочное строение кристаллов. В результате дефектности физические свойства (плотность и упругие постоянные) на границах зерен резко отличаются от центральной части зерен [7]. Сложная структура границ зерен приводит к тому, что их правильнее рассматривать как аморфизованный слой, в котором исходная кристаллическая структура оказывается сильно разупорядоченной. В этом смысле горные породы являются упруго неоднородными средами, в которых должны появляться дополнительное поглощение упругих волн, а также сложная дисперсия скоростей упругих волн. Эффекты, связанные с дисперсией скоростей упругих волн, особенно сильно проявляются в диапазоне ближнего и среднего ультразвука*, где длины волн упругих колебаний становятся соизмеримыми с размером зерен. Теоретический расчет дисперсии скоростей упругих волн возможен только в длинноволновом приближении, когда длина волны упругих колебаний (λ) много больше среднего размера зерен $\langle \tilde{\alpha} \rangle$. В коротковолновом приближении $\lambda \ll \langle \tilde{\alpha} \rangle$ дисперсия скоростей упругих волн согласно теоретическим представлениям, отсутствует, но скорости распространения упругих волн должны быть больше, чем при $\lambda \gg \langle \tilde{\alpha} \rangle$. Расчет дисперсии скоростей упругих волн в длинноволновом приближении, хотя и достаточно громоздок, но вполне осуществим по формулам теории упругости микрон неоднородных сред с использованием данных табл. 1. Для мономинеральных горных пород (или компонентные поликристаллы) зависимость скорости распростра-

* Частоты $2 \cdot 10^4 \pm 10^5$ Гц условно считаются ближним ультразвуком, $10^5 \pm 10^7$ - средним, $10^7 \pm 10^{10}$ - высоким.

других волн от частоты в длинноволновом приближении ($\lambda \gg \langle \tilde{\alpha} \rangle$) имеет вид [8]:

$$\begin{aligned} v_p &= v_{p0} (1 - \alpha_1 - \alpha_2 \langle \tilde{\alpha}^2 \rangle f^2), \\ v_s &= v_{s0} (1 - \alpha_3 - \alpha_4 \langle \tilde{\alpha}^2 \rangle f^2), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{10\rho^2 v_{p0}^2} \left(\frac{B_1}{v_{p0}^2} + \frac{2B_2}{v_{s0}^2} \right); \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{70\rho^2 v_{s0}^2} \left(\frac{B_5}{v_{p0}^4} + \frac{B_6}{v_{p0}^2 v_{s0}^2} + \frac{42B_2}{v_{s0}^4} \right); \\ \alpha_3 &= \frac{1}{10\rho^2 v_{s0}^2} \left(\frac{B_3}{v_{p0}^2} + \frac{2B_4}{v_{s0}^2} \right); \quad \alpha_4 = \frac{\pi}{70\rho^2 v_{s0}^2} \left(\frac{21B_3}{v_{p0}^4} + \frac{2B_7}{v_{p0}^2 v_{s0}^2} + \frac{B_8}{v_{s0}^4} \right); \end{aligned} \quad (2)$$

v_p, v_s - скорости распространения продольных и поперечных упругих волн в поликристалле, зависящие от частоты, м/с; f - частота упругих колебаний, Гц; $\langle \tilde{\alpha} \rangle$ - средний размер зерен (в предположении об их мономинеральности), м; v_{p0}, v_{s0} - скорости распространения продольных и поперечных волн, не связанные с дисперсией (соответствует условию $\lambda \ll \langle \tilde{\alpha} \rangle$), м/с; ρ - плотность среды, г/см³; λ - длина волны упругих колебаний, м; $B_1, b_1, B_2, b_2, B_3, b_3, B_4, b_4, B_5, b_5, B_6, b_6, B_7, b_7, B_8, b_8$ - коэффициенты, выраженные через значения модулей упругости кристалла, соответственно, $\left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}\right)^2, \left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}\right)^2$ и $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

$$\begin{aligned} B_1 &= 8/675 p^2 + 8/135 (4b_1 + 2b_2 + 3b_3 + b_4), \\ B_2 &= B_3 = 2/225 p^2 + 1/135 (24b_1 + 7b_2 + 13b_3 + b_4), \\ B_4 &= 1/150 p^2 + 1/90 (12b_1 + b_2 + 4b_3 - 2b_4), \\ B_5 &= 424/1575 p^2 + 8/315 (200b_1 + 133b_2 + 126b_3 + 56b_4 + 24b_5 - 36b_6), \\ B_6 &= 8/525 p^2 + 4/315 (6b_1 + 14b_2 - 28b_3 - 7b_4 + 15b_5 - 33b_6), \\ B_7 &= 1/4 B_6, \\ B_8 &= 2/7 p^2 + 1/105 (591b_1 + 49b_2 + 196b_3 - 98b_4 - 3b_5 - 6b_6); \\ b_1 &= (c_{44} + c_{55} + c_{66})^2 - 3(c_{44}c_{55} + c_{55}c_{66} + c_{66}c_{44}), \\ b_2 &= (c_{11} + c_{22} + c_{33})^2 - 3(c_{11}c_{22} + c_{22}c_{33} + c_{33}c_{11}), \\ b_3 &= (c_{12} + c_{13} + c_{23})^2 - 3(c_{12}c_{13} + c_{13}c_{23} + c_{23}c_{12}), \\ b_4 &= c_{11}(c_{12} + c_{13} - 2c_{23}) + c_{22}(c_{12} + c_{23} - 2c_{13}) + c_{33}(c_{13} + c_{23} - 2c_{12}), \\ b_5 &= c_{11}(c_{55} + c_{66} - 2c_{44}) + c_{22}(c_{44} + c_{66} - 2c_{55}) + c_{33}(c_{44} + c_{55} - 2c_{66}), \\ b_6 &= c_{23}(c_{55} + c_{66} - 2c_{44}) + c_{13}(c_{44} + c_{66} - 2c_{55}) + c_{12}(c_{44} + c_{55} - 2c_{66}), \\ p &= (c_{11} + c_{12} + c_{33}) - (c_{12} + c_{13} + c_{23}) - 2(c_{44} + c_{55} + c_{66}). \end{aligned} \quad (3)$$

Расчет дисперсии скоростей упругих волн в поликристаллических системах (полимнеральных горных породах) гораздо сложнее. В области промежуточных волн $\lambda/10 < \langle \tilde{\alpha} \rangle < 10\lambda$ методы расчета дисперсии скоростей упругих волн также наталкиваются на серьезные математические трудности, поэтому с помощью формул (1)-(4) можно определить лишь длинноволновую дисперсию скоростей для однокомпонентных поликристаллов, задавшись величинами $\langle \tilde{\alpha} \rangle$, ρ , C_{ij} , v_{p0} , v_{s0} . Расчеты показывают, что значения коэффициентов α_1 , α_2 , α_3 , α_4 для минералов группы полевых шпатов равны, соответственно, 0,04, $3,5 \cdot 10^{-12} \frac{c^2}{\text{см}^2}$, 0,03, $2 \cdot 10^{-12} \frac{c^2}{\text{см}^2}$, поэтому формулы дисперсии скоростей упругих волн можно записать в виде:

$$v_p = v_{p0} \left(1 - 0,04 - 3,5 \cdot 10^{-12} \frac{c^2}{\text{см}^2} \langle \tilde{\alpha} \rangle^2 f^2 \right), \quad (5)$$

$$v_s = v_{s0} \left(1 - 0,03 - 2,0 \cdot 10^{-12} \frac{c^2}{\text{см}^2} \langle \tilde{\alpha} \rangle^2 f^2 \right). \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) видно, что вклад коэффициентов α_2 и α_4 в дисперсию скоростей сравнительно невелик (по расчетным данным при $\langle \tilde{\alpha} \rangle = 0,8 \div 1,0$ см, $v_{p0} = 610000 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ и $v_{s0} = 340000 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ длинноволновое приближение может быть справедливо для частоты 60 кГц, тогда $\alpha_2 \langle \tilde{\alpha} \rangle^2 f^2 = 0,008 \div 0,01$, $\alpha_4 \langle \tilde{\alpha} \rangle^2 f^2 = 0,0046 \div 0,0072$), поэтому формулы (5) и (6) еще более упрощаются:

$$v_p \approx v_{p0} (1 - 0,04),$$

$$v_s \approx v_{s0} (1 - 0,03),$$

определяя нижнюю границу для скоростей продольных и поперечных волн. Разница скоростей упругих волн, измеренных на высокой и низкой частотах в горных породах со средним размером зерна $\langle \tilde{\alpha} \rangle = 1$ см ($v_{p0} = 6100$ м/с, $v_{s0} = 3400$ м/с), для продольных волн равна 290 м/с, а для поперечных 102 м/с. Такая величина дисперсии скоростей продольных волн может быть зарегистрирована с помощью стандартной аппаратуры, позволяющей измерять скорости распространения упругих волн при погрешности измерений 1-1,5%. Данные экспериментальных исследований дисперсии скоростей продольных упругих волн в горных породах в диапазоне частот от кГц до 5 мГц достаточно хорошо согласуются с теоретическими представлениями (рис. 2). Исключением является дисперсионная кривая среднезернистого габбро, для которого наблюдается чистая геометрическая дисперсия скорости продольной волны [9], что свидетельствует о малой плотности микродефектов на границах зерен. Во всех остальных исследованных горных породах дисперсия скоростей упругих волн, связанная с дефектностью минералов на границах зерен и как следствие зависящая от размеров зерен, является довольно отчетливо.

Однако существенные расхождения расчетных и измеренных упругих постоянных гранитов и диоритов не могут быть объяснены только дисперсией скоростей упругих волн, поскольку измерения проводились на достаточно высоких частотах, где дисперсия отсутствует. Минералогический анализ шлифов этих пород показал наличие микропертитового строения полевых шпатов, являющихся основными породообразующими минералами. Размеры микропертитов, как правило, колеблются от долей миллиметра до 1-2 мм. Микропертитовые включения неизбежно приводят к усложнению упругих свойств минералов и к дополнительной дисперсии скоростей упругих волн, которая должна появляться при длинах волн, соизмеримых с размерами микропертитов. В этом случае ультразвуковые частоты, соответствующие коротковолновой асимптотике, становятся очень высокими, порядка $10^7 - 10^8$ Гц. Ультразвуковые исследования горных пород на таких высоких частотах сопряжены с весьма большими трудностями из-за сильного затухания высокочастотных упругих волн, поэтому определение верхних значений упругих постоянных в горных породах зачастую попросту невозможно. С увеличением микропертитового строения полевых шпатов в гранитах и диоритах в основном и связано большое различие упругих постоянных (измеренных и определенных по схеме Ф.Р.Х.), которое можно рассматривать как меру дефектности горных пород. В гранитах концентрация микро- и макродефектов остается примерно постоянной, на что указывает малая изменчивость измеренных упругих постоянных при более слабой изменчивости расчетных упругих постоянных. В диоритах плотность микро- и макродефектности является переменной величиной, на что указывает сильная изменчивость измеренных упругих постоянных при слабой изменчивости расчетных. Измеренные и расчетные упругие постоянные для средне- и крупнозернистого габбро совпадают во многих образцах, однако в некоторых случаях наблюдаются более высокие значения измеренных упругих постоянных по сравнению с расчетными. Однозначно объяснить причину такого расхождения затруднительно. Вполне возможно, что здесь оказывает влияние вещественный состав некоторых породообразующих минералов, из-за чего упругие постоянные минералов имеют исключительно индивидуальный характер. Поэтому сравнение значений упругих постоянных, измеренных и рассчитанных по схеме Ф.Р.Х., не следует рассматривать как универсальную оценку дефектности горных пород.

Таким образом, исследования упругих свойств горных пород показали, что значения упругих постоянных во многом определяются микро- и макродефектностью породообразующих минералов. В исследованных горных породах влияние дефектности проявляется наиболее ярко в гранитах и диоритах. Наиболее однородной и слабодефектной породой является среднезернистое габбро, для которого дисперсия скоростей упругих волн, связанная с размером зерен, отсутствует. Крупнозернистое габбро занимает промежуточное место по степени дефектности между гранитами, диоритами и среднезернистым габбро, однако дать оценку дефектности простым сравнением

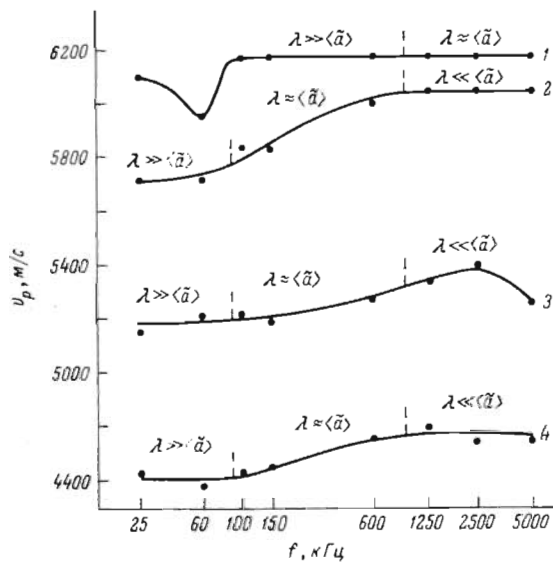


Рис. 2. Дисперсионные кривые исследованных горных пород.

1 – габбро среднезернистое; 2 – габбро крупнозернистое; 3 – граниты; 4 – диориты.

измеренных и расчетных значений упругих постоянных невозможно. На существование дефектов в данном случае указывает лишь дисперсия скоростей продольных волн, причем, судя по характеру дисперсионной кривой, плотность дефектов сосредоточена на границах зерен. Анализируя работы [1–5], а также результаты исследований, приводимые в данной статье, можно сделать вывод о необходимости комплексирования акустических методов исследований упругих свойств горных пород с другими физическими методами, позволяющими более полно оценивать дефектность горных пород.

Л и т е р а т у р а

1. Невский В.В. Влияние геологических условий деформации на изменение физико-механических свойств горных пород. – В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М.: Наука, 1973, с. 52–59.
2. Звягинцев Л.И., Короткова О.Н. Исследования упругих свойств горных пород с целью анализа геологических структур. – В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М.: Наука, 1973, с. 74–86.
3. Беликов Б.П., Александров К.С., Рыжов Г.В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. М.: Наука, 1970.

4. Беликов Б.П. Упругие константы породообразующих минералов и влияние их на упругость горных пород. – В сб.: Физико-механические свойства горных пород. М.: Наука, 1964, с. 118–132.
5. Кристи Дж. М., Эрделл А. Дж. Деформационные структуры в минералах. – В кн.: Электронная микроскопия минералов. Под ред. Г.Р. Венка. М.: Мир, 1979, с. 363–391.
6. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М.: Мир, 1972.
7. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972.
8. Шермергор П.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977.
9. Ноздрев В.Ф., Федорищенко Н.В. Молекулярная акустика. М.: Высшая школа, 1974.

В.Н. Бакулин

К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Упругость твердых тел – одна из основных физических характеристик, связанных с внутренним строением вещества. Для геофизических целей наибольшее значение имеют скорости распространения продольных (p) и поперечных (s) волн, так как именно они относятся к параметрам, которые непосредственно могут быть измерены в земной коре на различных глубинах.

Для горных пород и минералов, как явствует из геофизической литературы, справедлив закон Гука, лежащий в основе теории упругости. Зная скорости распространения p и s волн в среде, коэффициент Пуассона рассчитывают по формуле:

$$\nu = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)}$$

Очевидно, что точность определения коэффициента Пуассона полностью зависит от того, с какой точностью измерены скорости распространения p и s волн в исследуемой среде. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Методы определения скорости распространения p волн в горных породах, например, путем прозвучивания или „на просвет“, разработанные в ИФЗ АН СССР под руководством Ю.В. Ризниченко, не вызывают особых затруднений. Они простые, удобны в эксплуатации и позволяют измерять скорость с погрешностью в пределах $0.5 \pm 1.0\%$, чего, к сожалению, нельзя сказать о методах измерения скорости распространения s волн.

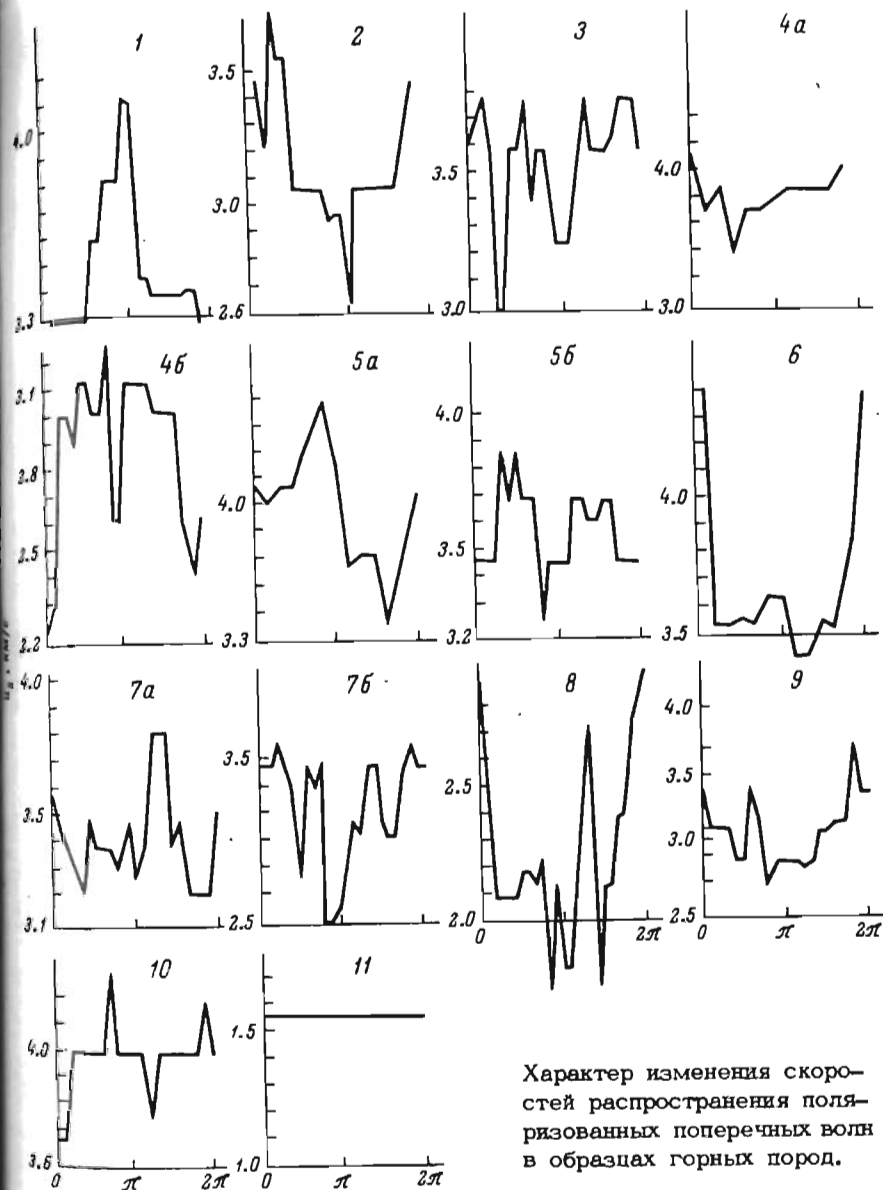
В настоящее время имеется несколько модификаций методов прозвучивания, диагонального прозвучивания под углом 45° к граням образца, прозвучивания на проходящих и отраженных волнах и целый ряд методов определения скорости s колебаний с помощью аку-

стических клиньев или двойного преобразования p волны в S волну. Прекрасные методы измерения скорости распространения S волны в горных породах и минералах приведены в работах [1-4], и нет необходимости заново описывать их, причем существует целый ряд теоретических способов определения скорости распространения S волны, например по соотношению стержневой и объемной скоростей распространения p волны или по соотношению скоростей продольной и поверхностной волн в исследуемой среде [1].

Каковы же достоинства и недостатки вышеупомянутых экспериментальных методов и теоретических способов определения скорости S колебаний? Во-первых, несмотря на кажущуюся простоту определения V_S различными методами и способами практически во всех случаях игнорируется такое свойство, присущее только S волнам, как поляризация. Ниже будет показано, что именно тип поляризации S волны является определяющим фактором при изучении, например, скорости распространения S волны или коэффициента Пуассона, а также упругих характеристик горных пород и минералов. Во-вторых, методические вопросы, касающиеся выявления и определения поляризации в горных породах в инфразвуковом, звуковом и ультразвуковом диапазонах частот, во всех упомянутых работах не затрагивались. Каким же образом получить S волны различной поляризации?

Для этой цели использовалась ультразвуковая аппаратура ДУК-68 с преобразователями S волн частотой 330 кГц, изготовленными автором и описанными в работе [5]. Погрешность определения скорости распространения S волны не превышала 0,5-1,0%. Основным достоинством предлагаемой методики измерения по методу прозвучивания является то, что используемые преобразователи S волн дают возможность изменять поляризацию без потери энергии. Тарировку преобразователей производили следующим образом: совмещали излучатель и приемник по плоскости контакта, излучатель закрепляли неподвижно, а приемник вращали по плоскости контакта с излучателем вплоть до такого момента, при котором на приемном преобразователе фиксировали максимум амплитуды энергии. Этот случай будет соответствовать условно поляризации 0° . Помещая между преобразователями исследуемую среду и отклоняя систему излучатель-приемник вправо или влево до такого положения, при котором на приемном преобразователе будет наблюдаться максимум амплитуды сигнала (одиночный импульс), измеряют его по первому вступлению скорости S волны с поляризацией 0° . Найденное направление, согласно работе [6], соответствует „дозволенному“ направлению, по которому в исследуемой среде распространяется чисто продольная или чисто поперечная волна. Отклоняя вращением систему излучатель-приемник на 90° от дозволенного направления, получим S волну со взаимно-ортогональной поляризацией.

Рассмотрим результаты измерений скоростей распространения S волн в таких значительно рассеивающих энергию средах, как горные породы. Они частично представлены в таблице (см. вкл.) и на рисунке. Измерения проводились по оси цилиндрических образцов диаметром



Характер изменения скоростей распространения поляризованных поперечных волн в образцах горных пород.

1 - уртит с блоками нефелина; 2 - уртит полевошпатовый; 3 - порфирированный уртит с апатитом; 4 - рисчоррит (а, б); 5 - уртит среднезернистый (а, б); 6 - фациальный пегматит; 7 - уртит неравномерно-зернистый (а, б); 8 - луаврит; 9 - луаврит; 10 - малиньит; 11 - оргстекло.

40;80 мм и высотой 100;250 мм. Преобразователи в процессе измерений оставались неизменными, а образец вращали вокруг своей оси с шагом в 15° (за начало отсчета в исследуемой среде принимали дозволенное направление). Исследуемые горные породы были

представлены различными разновидностями уртитов, рисчорритов, малинитов, луавритов и фашиального пегматита. Для уртита с включениями из блоков нефелина (1) величина скорости распространения поляризованной поперечной волны на дозволённом направлении составляла 2980 м/с, и она сохраняла свою величину вплоть до изменения плоскости поляризации в среде на 90° . Затем, при дальнейшем повороте плоскости поляризации относительно дозволённого направления, превышающем 90° , величина v_s возросла до 4100 м/с и при изменении вектора поляризации вновь резко упала до 3070 м/с и после этого монотонно уменьшалась до величины, имевшейся ранее на дозволённом направлении.

Образец ювита (2) имел совершенно иную картину изменения скоростей распространения S волн. В нем v_s на дозволённом направлении была равна 3470 м/с и в пределах изменения вектора поляризации $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ имела два резких полярных максимума (3710 и 3220 м/с), затем величина v_s стабилизировалась и при $\alpha = 90^\circ$ стала равной 3050 м/с. При $\alpha = 200^\circ$ она имела резкий минимум (2630 м/с) и по мере изменения вектора поляризации быстро возрастала, достигнув 3050 м/с. Величина v_s сохраняла это значение вплоть до момента, когда $\alpha = 300^\circ$, после чего вновь резко возросла до величины v_s , имевшейся ранее на дозволённом направлении.

Несколько неустойчивый характер изменения величины v_s имел образец порфировидного уртита с включением апатита. Основным отличием его были резкие перепады v_s , величина которой изменялась в пределах от 2620 до 3720 м/с. Скачкообразный характер скорости, наблюдавшийся в образце порфировидного уртита (3), по всей вероятности, можно объяснить наличием волосяных микротрещин, видимых в исследуемом образце визуально.

Примерно сходный характер изменения величины v_s имел место у образцов горных пород рисчоррита (4а) и уртита (5а). Величина скорости распространения S волн при изменении в них вектора поляризации имела несколько полярных минимумов и максимумов, причем их значения находились в пределах: для рисчоррита $v_{s \text{ макс}} = 4030$ м/с и $v_{s \text{ мин}} = 3180$ м/с, для уртита $v_{s \text{ макс}} = 4380$ м/с и $v_{s \text{ мин}} = 3550$ м/с.

У образцов фашиального пегматита (6) и луаврита (9) характер изменения величины v_s примерно одинаков, хотя амплитуды изменения величины скорости распространения S волн у них разные: для пегматита $v_{s \text{ макс}} = 4420$ м/с и $v_{s \text{ мин}} = 3410$ м/с, в то время как для луаврита они, соответственно, имели следующие значения: 3600 и 2570 м/с.

В какой-то степени величины изменения v_s у образцов среднезернистого массивного уртита (5б), неравномерно-зернистого уртита (7а), луаврита (8), рисчоррита (4б) и уртита (7б) примерно одинаковы. Амплитуда колебаний величины v_s у них весьма значительная. Зачастую она находилась в пределах 100 м/с (имеется в виду разница между $v_{s \text{ макс}}$ и $v_{s \text{ мин}}$ у исследуемых пород).

Более интересный характер изменения v_s имел образец малинита (10), который включал в себя несколько минимумов и максимумов для различных векторов поляризации S волны, экстремальные значения которой были, соответственно, равны 3660 и 4300 м/с.

Для сопоставления результатов, полученных для горных пород, подобные измерения были проведены для образца из оргстекла диаметром 40 мм и высотой 100 мм. Характер изменения v_s для S волн различных поляризаций остался неизменным, что вполне отвечает однородному и изотропному строению исследуемой среды. Горные породы, очевидно, нельзя относить к однородным и изотропным средам, о чем убедительно свидетельствуют результаты измерений величины v_s в исследуемых средах. Вероятно, наблюдавшийся характер изменения v_s у исследуемых горных пород обусловлен в основном двумя причинами: а) неоднородностью строения пород с минеральным составом, включающим нефелин, апатит, эгирин, полевошпат, упругие и плотностные параметры которых значительно отличаются друг от друга; б) наличием в образцах пород микротрещин, контактов, пор и других дефектов, которые в данном случае соизмеримы с длиной волны ($\lambda_s = 1.0 \div 1.5$ см), распространяющейся в образце.

Основываясь на полученных данных (см. рисунок), в таблице представлены результаты определений коэффициента Пуассона для исследуемых горных пород, причем из упругих характеристик горных пород для каждого образца взяты лишь значения скоростей распространения волн, имеющих экстремальные значения ($v_{s \text{ макс}}$ и $v_{s \text{ мин}}$).

Для расчета упругих характеристик горных пород также использовались скорости распространения P и S волн и плотность среды. Поэтому представляет интерес дать возможные пределы их изменения в свете новых данных относительно скорости распространения S волн в исследуемых породах. Экспериментальные значения модулей упругости (E), сдвига (G), коэффициента Пуассона (ν) и модуля объемного сжатия (k) были рассчитаны при нормальных условиях.

Анализ полученных данных, приведенных в таблице, показал, что изменения вычисленных величин в исследуемых горных породах находятся в следующих пределах: $\Delta v_s = 9.2 \div 69.5\%$, $\Delta \nu = 8.4 \div 125\%$, $\Delta E = 32.7 \div 296\%$, $\Delta G = 18.9 \div 196.7\%$, $\Delta k = 7 \div 26.3\%$, причем судя по полученным данным, наиболее подвержены изменениям модули упругости и сдвига.

Таким образом, очевидно, что коэффициент Пуассона и упругие характеристики горных пород являются в основном функцией скорости распространения поляризованной поперечной волны, причем величина скорости S волн в данном направлении зависит от поляризации вектора смещения волны в исследуемой среде. Измерения скоростей распространения S волн при этом необходимо производить на дозволённом направлении, по которому в исследуемой среде распространяется чисто продольная или чисто поперечная волна.

1. Во л а р о в и ч М.П., Б а ю к Е.И., Л е в ы к и н А.И., Т о м а ш е в с к и й И.С. Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях. М.: Наука, 1974.
2. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). М.: Недра, 1976.
3. Д о р о г и н и ц к а я Л.М., П о т а п о в В.М. Результаты определения скорости поперечных волн в образцах пород методом прозвучивания на проходящих и отраженных волнах. — Тр. СибНИИ геологии, геофизики и минерального сырья, 1978, №268, с.84–91.
4. Б а к у л и н В.Н., Г о р б а ц е в и ч Ф.Ф. О влиянии характеристик граничащих сред на амплитуду преломлений поперечной волны. — Акустический ж., 1978, т.24, вып.2, с.288–289.
5. Б а к у л и н В.Н. Методика и результаты определений скоростей и поглощения упругих волн в горных породах Кольского полуострова. — Автореф. канд. дис., Л.: ЛГУ, 1977.
6. Ш у б н и к о в А.В. Оптическая кристаллография. М.—Л.: АН СССР, 1950.

Ю.И.Сычев, Г.П.Глазова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДЕКОРАТИВНОСТИ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ

Высокие эстетические и строительные качества природного камня обеспечили ему преимущественное положение перед другими материалами, используемыми для отделки зданий культурно-бытового назначения. Значительная потребность современного строительства в облицовочных материалах из природного камня обусловила резкое увеличение объемов их выпуска: за истекшее десятилетие объем производства облицовочных материалов из природного камня возрос в 3,5 раза. Одновременно существенно расширился ассортимент облицовочного камня за счет разведки и ввода в эксплуатацию новых месторождений. Так, например, только по Карело-Кольскому региону за последнее время был разведан ряд месторождений мраморовидных доломитов (Белая гора, Красная гора, Ершов Кряж, Пиртвярви и др.), гранитов (Уккомьяки, Имплияэми, Кузреченское и др.), габбро-норитов (Черная Салма), хибинитов (Айкуайвенчорр) и т.д. При этом введены в эксплуатацию месторождения мрамора (Рускеала-П), доломитов (Белая гора), гранитов (Мурсула, Кузреченское) и других материалов.

В этих условиях большое значение приобретают вопросы, связанные с формированием художественно-эстетических требований к камню, как отделочному материалу, а также с методами оценки декоративных качеств камня. Необходимость оценивать декоративность

природного камня возникает на всех стадиях работы с этим материалом: при поисково-разведочных работах, технологическом опробовании, добыче и обработке, а также при проектировании и выполнении облицовочных работ.

Вместе с тем следует признать, что в настоящее время у геологов, работников промышленности по добыче и обработке облицовочных материалов из природного камня, строителей и архитекторов еще нет на вооружении достаточно точных и объективных методов оценки декоративности. В результате имеют место ошибочные суждения и субъективные решения при оценках эстетического уровня того или иного вида облицовочного камня.

В данной статье кратко излагаются основные положения методики оценки декоративности облицовочного камня, разработанные лабораторией декоративного камня института ВНИПИИСтромсырье и достаточно широко апробированные на практике.

Декоративность камня в соответствии с основным принципом квалиметрии [1] может рассматриваться как некоторая сложная совокупность художественно-эстетических свойств его поверхности, которая может варьироваться в зависимости от вида обработки. При этом наиболее обобщенное, комплексное свойство рассматривается как самый низкий (первый) уровень оценки декоративных свойств, а составляющие его частные элементы — как более высокие (второй и третий) уровни.

В соответствии с построенной схемой (см. рисунок) декоративность камня достаточно полно может быть отражена тремя основными объективными параметрами: цветом, текстурой и фактурой. Каждый из этих параметров характеризуется рядом признаков, которые в свою очередь подразделяются на категории, оцениваемые определенным количеством баллов.

Степень весомости каждого признака (в баллах) определена путем опроса группы экспертов с последующим усреднением результатов опроса. При этом, как это будет видно из дальнейшего материала, для установления той или иной категории признака могут использоваться как методы органолептического анализа, т.е. анализа чувственных восприятий человека, так и инструментальные методы физико-химического анализа.

Ниже рассматриваются основные параметры декоративности облицовочного камня. Цвет является одним из главных параметров, характеризующих декоративность камня. Восприятие какого-либо цвета поверхности обуславливается различным распределением энергии по спектру светового потока, попадающего в зрительный анализатор при наблюдении данного объекта. Все цвета могут быть разделены на хроматические и ахроматические и отнесены, соответственно, к I и II категориям цветности. В шкале ахроматических цветов выделяют черный, черно-серый, темно-серый, средне-серый, бело-серый и белый цвета. Среди хроматических цветов различают основные цвета: желтый, синий и красный, а также составные цвета первой степени, получаемые в результате слияния двух основных цветов: оранжевый, фиолетовый и зеленый.

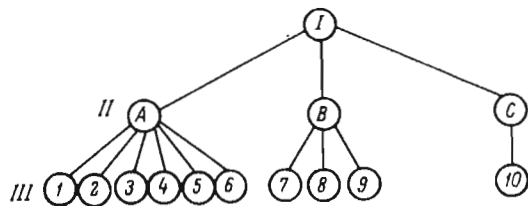


Схема оценки декоративности облицовочного камня.

I уровень - декоративность; II уровень: А - цвет, В - текстура, С - фактура; III уровень: 1 - цветность, 2 - насыщенность, 3 - светлота, 4 - цветовое предпочтение, 5 - однородность, 6 - сочетание цветов, 7 - рисунок, 8 - структура, 9 - просвечиваемость, 10 - полируемость.

Цвет облицовочного камня обусловлен химическим составом горной породы, содержанием в ней примесей [2, 4]. Цвет камня характеризуется следующими основными показателями: цветовым тоном (λ), насыщенностью (Р) и светлотой (В).

Цветовой тон определяется доминирующей длиной волны спектрального цвета, выражаемой в нанометрах. Измерение этого показателя производится с помощью спектрофотометров типа СФ-10, либо колориметров типа КНО-3 и компараторов цвета.

Под насыщенностью цвета понимают степень разбавления спектрального цвета белым. Таким образом, спектральные цвета имеют насыщенность, равную единице, а ахроматические - равную нулю. По степени насыщенности камни хроматических цветов делятся на 4 категории (табл. 1).

Светлота характеризуется степенью интенсивности отражения света поверхностью камня. Измерение светлоты образцов (в % к светлоте эталона) производится с помощью блескомера типа ФБ-2. Показатель В используется обычно для характеристики камня ахроматического ряда в соответствии с 7-ступенчатой шкалой (табл. 2). Диапазон светлоты первых ступеней меньше диапазона светлоты последних, т.е. изменение светлоты темных тонов улавливается зрительным анализатором легче, чем светлых. Крайние ступени (1 и 7) отвечают понятию „черный“ и „белый“ камень, „серые“ камни характеризуются пятью промежуточными ступенями с диапазоном светлоты 5,7-56,0% (в этот же диапазон попадает светлота цветных камней). Среди природных камней ахроматического ряда наиболее декоративными считаются черные и белые. Для этих видов камня произведена классификация, учитывающая разную степень декоративности в зависимости от светлоты (табл. 2).

Помимо трех рассмотренных параметров, используемых в качестве основных цветовых характеристик камня (λ , Р, В), при оценке декоративности камня дополнительно учитывается ряд других важных признаков: цветовое предпочтение (уникальность), игра тонов основного цвета, сочетание цветов.

Таблица 1

Категория насыщенности	Наименование	Величина насыщенности	Примеры облицовочного камня из месторождений СССР
I	Интенсивно насыщенный	0,8-1,0	Красные мраморизованные известняки салиетский и шрошинский; зеленый мрамор кульдурский
II	Средненасыщенный	0,4-0,8	Красно-серый гранит карлахагинский, фиолетово-серый мрамор агверанский
III	Слабонасыщенный	0,1-0,4	Зеленовато-серый туф бердянский, бледно-голубой мрамор сплюдянский, бледно-розовый мрамор кибижкордонский, сероголубой гранит майкульский
IV	Ненасыщенный	0,1	Камни ахроматических цветов с еле уловимым „холодным“ или „теплым“ тоном (бодракский известняк, прохоробаландинский мрамор)

Признак цветового предпочтения характеризует степень редкости и оригинальности расцветок данного образца по отношению к другим природным камням. В соответствии с этим признаком камни по декоративности могут быть подразделены на три категории: I - уникальные (редко встречающиеся в природе) II - сравнительно редко встречающиеся в природе и III - рядовые (табл. 3).

Признак однородности цвета характеризует у одноцветных камней степень однородности расцветки, а у многоцветных - степень однородности основного цвета. В соответствии с этим признаком все облицовочные камни могут быть разделены на две категории: I - однородные и II - неоднородные.

Признак сочетания цветов учитывает степень соответствия окраски камня основным положениям колористики по цветовым контрастам и цветовой гармонии. С этих позиций все камни могут быть разделены на три категории: I - полихромные с благоприятным сочетанием цветов в пределах нюансных гармоний (СН 181-70), при наличии рисунка допускается цветовой контраст; II - монохромные с гармоничными отклонениями от доминирующего тона; III - полихромные с неблагоприятным сочетанием цветов (отсутствие общего рисунка, наличие режущих глаз сочетаний, крупных контрастных включений и т.п.).

Текстура, наряду с цветом, является одним из главных параметров, характеризующих декоративность облицовочного камня. В современной архитектуре под текстурой понимается проявляемое на

Ступени светлоты	Наименование	Категория светлоты	Светлота, %	Примеры облицовочного камня из месторождений СССР (фактура образцов зеркальная)	Примечание
1	Черные	I	3.5-5.7	Лабрадорит головинский, габбро сплинское, ропучейское, мраморизованные известняки хорвирабский, ульянарошенский, агурский и др.	Декоративность повышает белый рисунок
2	Черно-серые	III	5.7-9.0	Лабрадорит турчинский, мраморизованный известняк садахинский и др.	Декоративность повышает наличие рисунка
3	Темно-серые	III	9.0-14.0	Граниты железевский, кулашевский	То же
4	Средне-серые	III	14.0-22.0	Гранит яншевский, мрамор уфалейский	"
5	Светло-серые	II	22.0-36.0	Гранит крошнянский, мраморы лопотский, газганский	"
6	Бело-серые	I	36.0-56.0	Гранит севасайский, мрамор слюдянский (отд. разновидн.)	Декоративность повышает белый рисунок на черном фоне и черный на белом
7	Белые	I	56.0-89.0	Мраморы коелгинский, прохоро-баландинский, известняк бодракский	Декоративность повышает черный рисунок

Вид камня	Категория цветового предпочтения	Доминирующий цвет
Граниты, аналогичные и инверженные породы	I	Нежно-голубой, зеленовато-голубой, бирюзовый, оранжево-желтый и красный
	II	Насыщенно-красный, голубовато-серый, бело-серый
	III	Светло-серый, средне-серый, темно-серый, розовато-серый
Лабрадориты, габбро	I	Предельно-черные, а также лабрадориты с большим количеством крупных радужных включений (свыше 10% от общей поверхности)
	II	Черно-серые и лабрадорит черный и серый с радужными включениями (до 10% от общей поверхности)
	III	Черный, черно-серый и серый без радужных ирризирующих включений
Вулканические туфы	I	Голубой, зеленый, голубовато-зеленый
	II	Желтый, рисунчатый, кирпично-красный, фиолетово-розовый, черный
	III	Рововый, коричневый с включениями неправильной формы
Мраморы, мраморизованные известняки	I	Голубой, синий, зеленый, прозрачный с различными оттенками (оникс, кальцифир)
	II	Насыщенный красный, желтый, черный, розовый
	III	Белый, серый

поверхности изделия строение камня (в сколе, полированной фактуре и т.д.), дающее информацию о его происхождении. Текстура камня характеризуется тремя основными показателями: степенью развития рисунка и проявления структуры, а также просвечиваемостью.

Рисунок природного камня в значительной степени обуславливает его декоративность. Качество рисунка камня оценивается с позиций характера сочетания и числа входящих в него цветов, его оригинальности, масштабности, выразительности, сопряженности ри-

сунка на смежных деталях, четкости его выявления при различных фактурах и т.д. В соответствии с этими признаками природный камень по степени декоративности рисунка разделяется на три категории (табл. 4).

Структура камня дополняет рисунок поверхности, а в ряде случаев и формирует его. В зависимости от вида камня одна и та же структура может по-разному влиять на его декоративные качества. Так, принято считать, что крупнозернистые и гигантозернистые структуры (порфиroidные, рапакиви и т.п.) наиболее приемлемы для цветных гранитов, так как они оживляют общую текстуру поверхности этих камней, повышая их декоративность. В то же время крупнозернистые структуры ухудшают внешний вид мраморов, а также некоторых монокромных камней (габбро, кварциты и т.п.). Исходя из этого облицовочные камни подразделены по структурному признаку на две категории: I - с декоративными и II - с недекоративными структурами. Группирование различных видов камней по категориям структур приведено в табл. 5.

Просвечиваемость характеризует способность верхнего слоя камня частично пропускать свет, выявляя при этом внутренние рисунки и структуру. В зависимости от глубины просвечиваемости природные камни могут быть разделены на три категории (табл. 6).

Фактура лицевой поверхности камня, наряду с цветом и текстурой, играет важную роль при оценке его декоративности. Фактура представляет собой параметр, определяющийся характером и высотой рельефа поверхности. В соответствии с действующими стандартами на облицовочные материалы и изделия из природного камня (ГОСТ 9480-77 и ГОСТ 23342-78) лицевая поверхность может иметь следующие фактуры: полированную, лошеную, шлифованную, пиленую, обработанную ультразвуком, термообработанную, точечную и скальную.

Оценка декоративности камня производится при полированной фактуре. В отдельных случаях на начальной стадии изучения, когда приходится иметь дело с облицовочным камнем нового месторождения, для всесторонней оценки декоративных возможностей материала целесообразно рассматривать его при различных фактурах. По степени полируемости камни разделяются на четыре категории (табл. 7) в зависимости от предельного блеска, который определяется с помощью блескомера модели „НИИКС-М“. Принципы работы этого прибора заключаются в измерении количества световой энергии, отраженной от полированной поверхности камня. При отсутствии блескомера оценку полируемости в виде исключения допускается проводить визуально путем сопоставления оцениваемого камня с образцами, полируемость которых известна. Неполируемые разновидности камня (вулканические туфы, известняки, доломиты и т.п.) условно могут быть отнесены к IY категории (табл. 7). Работа по оценке декоративности камня непосредственно сводится к следующему. В начале необходимо тщательно рассмотреть образец. При этом в соответствии с ранее изложенными основными понятиями декоративности следует установить категорию по каждому из

Т а б л и ц а 4

Вид камня	Категория рисунка	Характеристика рисунка
Граниты и аналогичные изверженные породы	I	Слоистый, облачный с гармонично расположенными прожилками, позволяющими создать в облицовке общий рисунок на смежных плитах
	II	Без рисунка
	III	С рисунком в виде секущих прожилок, лишенных гармонического сочетания с фоном
Мраморы, мраморизованные известняки, доломиты, туфы, песчаники, кварцито-песчаники, кварциты и т.д.	I	Пейзажный древовидный, брекчиевидный, составленный из нескольких цветов, полосчатый, с прожилками, с трещинами типа черепных швов, заполненных цементирующим веществом. Сильно пористые разновидности известняков с закономерно расположенными порами
	III	Неправильный в виде включений, контрастирующих по отношению к общему фону

Т а б л и ц а 5

Вид камня	Категория структуры	Характеристика структуры
Граниты цветные и бело-серые, лабрадориты черные и серые, габбро-нориты, анортозиты	I	Крупно- и гигантозернистая
	II	
Кварциты, граниты серые, сиениты, диориты, гранодиориты, песчаники, мраморы, мраморизованные известняки и т.п.	I	Мелкозернистая

Примечание. Камень, имеющий структуру II категории может быть перемещен в I категорию в том случае, если его структурой сформирован рисунок, относящийся к I категории рисунка (табл. 4).

Таблица 6

Категория просвечиваемости	Глубина просвечиваемости образцов, мм	Аналог
I	< 10-20	Оникс агамзалинский, вулканическое стекло (обсидиан), арагонит
II	> 10-20	Мраморы газганский, прохоробаландинский
III	Не просвечиваются	Гранит яцевский, габбро сплещицкое

Таблица 7

Категория полируемости	Степень полируемости (предельный блеск в ед. шкалы блескомера)	Аналог
I	> 160	Мраморы газганский, маймехский, молитский, ороктойский, коелгинский, лабрадорит головинский, гранит токовский, габбро ропручейское
II	130-160	Мраморизованный известняк хорвиральский, граниты карлахтинский, каменногорский, яцевский, железевский, корнинский, емельяновский, кудашевский габбро головинское
III	70-180	Гранит ламбакский, сланец нигозерский, конгломерат куйбышевский, травертин шахтахтинский
IV	< 70	Доломит мустаевский, доломитизированный известняк березовский, базальт паракарский

основных признаков декоративности данного образца (табл. 1-7). При установлении категории по каждому из признаков декоративности, наряду с органолептическим методом, можно пользоваться и инструментальными методами анализа в соответствии с ранее приведенными рекомендациями. Далее производят предварительную оценку декоративности камня с отдельной оценкой в баллах каждого параметра декоративности в зависимости от категории. Для этого пользуются данными (табл. 8), которые соответствуют распределению весомостей положительных признаков декоративности, полученному в результате экспериментного анализа.

Таблица 8

Основной параметр декоративности	Признак декоративности (положительный)	Классификация признака	Характеристика признака	Оценка, баллы	Примечание
Цвет	Цветность	I	Хроматические	5	Данный признак используется только для хроматического ряда расцветок в соответствии с табл. 1
	Насыщенность	II	Ахроматические	2	
Светлота	Светлота	I	Интенсивно насыщенный (0.8-1.0)	6	
		II	Средне насыщенный (0.4-0.8)	4	
		III	Слабонасыщенный (0.1-0.4)	3	
		IV	Ненасыщенный (0.1)	1	
Цветовое предпочтение	Цветовое предпочтение	I	Черные, бело-серые, белые	4	
		II	Светло-серые, средне-серые	2	
		III	Темно-серые, черно-серые	1	
		I	Уникальные (исключительно редко встречающиеся в природе)	6	
		II	Сравнительно редко встречающиеся	4	

Табл. 3

Основной параметр декоративности	Признак декоративности (положительный)	Категория признака	Характеристика признака	Оценка, баллы	Примечание	
Текстура	Однородность	III	Рядовые	2	В скобках дана оценка для статуарных разновидностей камня	
		I	Однородный тон	2(4)		
		II	Неоднородный тон	4(2)		
		I	Полихромные с благоприятным сочетанием цветов в пределах нюансных гармоний, при наличии рисунка допускается цветовой контраст	5		
	Сочетание цветов	II	Монохромные с гармоническими отклонениями от доминирующего тона	3	Данный признак используется для хроматических цветов	
		III	Полихромные с неблагоприятным сочетанием цветов, не создающих общего рисунка	1		
	Рисунок			Граниты и аналогичные изверженные породы		
			I	Слоистый, облачный с гармонично расположенными прожилками, позволяющими создать в облицовке общий рисунок на смежных плитах	6	Табл. 4
			II	Без рисунка	3	
			III	С рисунком в виде секущих прожилков, лишенных гармонического сочетания с фоном	2	
Мраморы, мраморизованные известняки						
I			Пейзажный, древовидный, брекчиевидный, составленный из нескольких цветов	6	Табл. 5	
II			Полосчатый с прожилками, с трещинами типа черепных швов, выполненных цементирующим веществом, сильно пористые разновидности известняков с закономерно расположенными порами	3		
III			Неправильный, в виде включений, контрастирующих по отношению к общему фону	2		
I	Крупно- и гигантозернистые цветные граниты, лабрадориты, габбро-нориты, анортозиты, мелкозернистые серые граниты, сиениты, диориты, гранодиориты, кварциты, песчаники, мраморы, мраморизо-	4				

Т а б л и ц а 8 (продолжение)

Основной параметр декоративности	Признак декоративности (положительный)	Категория признака	Характеристика признака	Оценка, баллы	Примечание
Фактура	Просвечиваемость	II	Средне- и мелкозернистые цветные граниты, лабрадориты и габбро, средне- и крупнозернистые серые граниты, сиениты, диориты, гранодиориты, кварциты, песчаники, мраморы и мраморизованные известняки	2	
		I	<10-20 мм	3	Табл. 6
		II	>10-20	2	
Фактура	Полируемость	III	Не просвечивается	1	
		I	<180 ед. <u>180</u>	5	Табл. 7
		II	180-180	3	
		III	70-130	2	
		IУ	>70	1	

Т а б л и ц а 9

Параметр декоративности	Вид природного камня	Отрицательные признаки	Корректирующий коэффициент
Цвет	Граниты красные	Желтые оттенки, бурые и темные пятна, подтеки	0,8-0,9
		Локальные скопления темноцветных минералов	0,9
	Граниты серые	Желтые и бурые оттенки, неравномерность расцветки	0,7-0,8
		Лабрадориты	Бурые пятна и подтеки, желтоватые осветленные участки, малая ирризация, отсутствие ирризации
	Лабрадориты черные	Отсутствие ирризации, белесоватые участки	0,7-0,8
		Габбро	Серые оттенки
	Лабрадориты серые	Неравномерность расцветки	0,8
		Мрамор белый статуарный	Неравномерность расцветки, холодный тон, наличие прожилок
	Мрамор белый облицовочн.	Неравномерность расцветки	0,8-0,9
		Мрамор серый	Желтые и бурые оттенки, прямолинейный характер рисунка
	Мрамор черный	Желтоватые и белесоватые участки	0,7-0,8
		Мрамор цветной	Слабая насыщенность основного тона с наличием ахроматических участков
	Известняки, доломиты	Неравномерность окраски, наличие пор, располагаемых незакономерно	0,7-0,8
		наличие включений серые и бурые оттенки	0,6-0,8
	Граниты	Рисунок в виде резких крупных пятен, хорошо заметных с большого расстояния (8-10 м)	0,7-0,8
		Рисунок в виде резких прямолинейных полос	0,9
	Лабрадориты	Неравномерная структура, мелкозернистая структура	0,9
		Габбро	Неравномерная структура
	Мрамор белый	Рисунок в виде мелких пятен, крупнозернистая структура	0,8

Текстура

Параметр декоративности	Вид природного камня	Отрицательные признаки	Корректирующий коэффициент
Фактура	Мрамор цветной, серый и черный	Мелкомасштабный рисунок, крупнозернистая структура	0,8-0,8 0,8-0,8
	Известняки, доломиты	Рисунок в виде мелких и крупных пятен	0,7-0,8
	Граниты, лабрадориты, габбро	Крупнозернистая структура „Шагреновая“ поверхность после полировки, невысокая полируемость	0,8 0,8-0,8
	Мраморы	Наличие неполируемых участков	0,8

Полученная предварительная суммарная оценка по каждому параметру декоративности (цвет, текстура, фактура) уточняется путем ввода соответствующих корректирующих коэффициентов, учитывающих влияние отрицательных признаков (табл. 9). С этой целью суммарная балльная оценка по каждому параметру декоративности умножается на соответствующие этому параметру корректирующие коэффициенты. Если отрицательных признаков у рассматриваемых образцов не обнаружено, корректирующие коэффициенты в балльную оценку не вводятся.

Облицовочные камни, не вошедшие в табл. 9, должны быть отнесены к камням, сходным с ними по структуре и физико-механическим показателям.

После ввода корректирующих коэффициентов производится подсчет итоговой оценки декоративности, получаемой путем суммирования скорректированных балльных оценок. Таким образом, итоговая оценка декоративности равна:

$$A = (\sum C) k_{ц}^1, \dots, k_{ц}^i + (\sum T) k_{т}^1, \dots, k_{т}^i + \Phi k_{ф}^1, \dots, k_{ф}^i,$$

где A - итоговая оценка декоративности (уровень декоративности), баллы; $\sum C$ - суммарная оценка декоративности по признакам цвета, баллы; $k_{ц}^1, \dots, k_{ц}^i$ - корректирующие коэффициенты признаков цвета; $\sum T$ - суммарная оценка декоративности по признакам текстуры, баллы; $k_{т}^1, \dots, k_{т}^i$ - корректирующие коэффициенты признаков текстуры; Φ - оценка декоративности по признаку фактуры (полируемости), баллы; $k_{ф}^1, \dots, k_{ф}^i$ - корректирующие коэффициенты признака фактуры (полируемости). В случае получения

Класс декоративности	Итоговая сценка, баллы	
1	Высокодекоративный	Более 32
2	Декоративный	23-32
3	Малодекоративный	15-23
4	Недекоративный	Менее 15

дробного результата его необходимо округлить до целого числа баллов.

Итоговая оценка декоративности рассчитывается для каждого образца камня, после чего определяется и среднееарифметическое значение соответствующей породы.

Для установления класса декоративности камня необходимо итоговую среднееарифметическую оценку декоративности, полученную в результате расчета по приведенной формуле, сопоставить с классификацией декоративности облицовочных каменных материалов, приведенной в табл. 10, и в зависимости от величины A отнести оцениваемый камень к тому или иному классу.

При решении вопроса о проведении детальной разведки и последующей разработки месторождений облицовочного камня необходимо исходить из следующих положений.

1) Облицовочные камни 1-го класса декоративности, художественно-эстетические качества которых находятся на уровне лучших отечественных и зарубежных образцов-эталонов, должны пользоваться предпочтительным правом на первоочередную доразведку и разработку, исходя из того, что они могут найти применение при строительстве высокохудожественных уникальных сооружений.

2) Облицовочные камни 2-го класса декоративности, обладающие достаточно высоким уровнем эстетичности, должны составить основу сырьевой базы для производства облицовочных материалов для нужд отечественного строительства.

3) Облицовочные камни 3-го класса могут разрабатываться в качестве местных материалов только при наличии достаточно высокой потребности в них в районе разведанного месторождения и отсутствия в данном районе других месторождений более декоративных камней.

В ряде случаев камни этого класса целесообразно использовать с фактурами скальвания, оживляющими лицевую поверхность благодаря светотеневым эффектам и одновременно „гасящими“ цвет и рисунок камня.

4) Камни 4-го класса разведывать и разрабатывать в качестве облицовочных материалов не рекомендуется. В виде исключения может быть допущена их разработка в качестве местного стенового материала, если его использование в местном строительстве экономически оправдано.

Основной параметр декоративности	Признак декоративности (положительный)	Оценка по видам камня, баллы										
		граниты месторождений				габбро-норит (Черная Салма)		кварцит (Шокша)		мраморы месторождений		
		Карлахи (Кузнечное)	Сюсюрия	Кузнечное	Кашина	Кузнечное	Шокша	Белая гора	Ершовский	Русская		
Цвет	Цветность	5	5	5	5	II	5	5	5	5	5	5
	Насыщенность	4	4	III	4	II	4	6	4	4	4	4
	Светлота	4	4	4	4	II	4	6	4	4	4	4
	Цветовое предпочтение	4	4	4	4	II	4	6	4	4	4	4
Текстура	Однородность	2	2	4	2	I	2	2	2	2	2	2
	Сочетание цветов	3	3	3	5	II	3	3	5	3	5	1
	Корректирующий коэффициент	-	-	-	0.8	-	-	-	-	0.9	-	0.8
	Рисунок	3	3	3	3	II	3	3	3	3	6	3
Фактура	Структура	4	4	II	2	II	4	4	4	4	2	2
	Просвечиваемость	1	1	1	1	I	1	1	1	1	1	1
	Корректирующий коэффициент	-	-	-	0.9	-	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	-
	Полируемость	3	3	3	3	I	5	5	3	3	3	3
Итоговая оценка	Корректирующий коэффициент	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Полируемость	3	3	3	3	I	5	5	3	3	3	3
Класс декоративности	Корректирующий коэффициент	29	29	28	26	33	34	35	23	29	25	25
	Полируемость	2	2	2	2	I	1	1	2	2	2	2

В заключение в табл. 11 приведены примеры расчета параметров декоративности для наиболее характерных видов облицовочного камня Северо-Запада района, произведенного в соответствии с изложенной методикой.

Л и т е р а т у р а

1. Азгальдов Г.Г., Райхлин Э.П. О квалиметрии. М.: Стандартгиз, 1973.
2. Беликов Б.П., Петров В.П. Облицовочный камень и его оценка. М.: Недра, 1977.
3. Григорович М.Б. Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке. М.: Недра, 1970.
4. Ферсман А.Е. Цвета минералов. Избр. тр., т. 7, М.: АН СССР, 1962.

В.В. Л а ш у к, Т.Т. У с а ч е в а, Л.Н. Ч е р н о в а

ИЗМЕНЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ
ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Наблюдающееся в настоящее время прогрессирующее разрушение камня в памятниках архитектуры, а также в современных зданиях и сооружениях исследователи объясняют загрязнением окружающей среды [1]. В результате хозяйственной и производственной деятельности человека возрастает выделение в атмосферу веществ, оказывающих агрессивное воздействие на строительные материалы [2, 3]. Увеличение в составе воздуха содержания углекислого газа, сернистого ангидрида и других веществ может вызвать глобальные изменения физико-химических и климатических условий. Предполагается, что тенденция загрязнения атмосферы сохранится, по крайней мере в ближайшем будущем. Поэтому при проектировании долговременных сооружений необходимо учитывать факторы глобального изменения атмосферы и климата [4].

Природный камень применяется преимущественно для облицовки сооружений, имеющих значительный срок службы. Это предъявляет высокие требования к сохранности его декоративных свойств под воздействием агрессивных агентов, т.е. способности камня продолжительное время сохранять блеск полированной поверхности, не обесцвечиваться и не обезображиваться вследствие разрушения слабоустойчивых минералов. Эти явления представляют собой начальную стадию общего процесса поверхностного выветривания, которое не влияет на прочностные свойства камня. Определение срока сохранности декоративных свойств - важная задача геолого-промышленной оценки месторождений облицовочного камня [5]. Изучение этого вопроса весьма актуально для Кольского полуострова, являющегося новой сырьевой базой камнеобрабатывающей промышлен-

ности. Это необходимо в связи с жесткими климатическими условиями Крайнего Севера, а также с перспективой более широкого применения в Мурманской области этого материала для облицовки зданий и сооружений [6-8].

В настоящей работе на основании сравнительного анализа исследований облицовочного камня Кольского полуострова в естественных и лабораторных условиях делается выбор эффективных методов оценки стойкости декоративных свойств.

Объектом исследования послужили облицовочные камни месторождений Кольского полуострова. В качестве эталонов использованы облицовочные камни Карелии: валаамский гранит (Сюскюянсаари) и тивдийский мрамор (Белая гора), которые широко применялись в старых сооружениях Ленинграда и Петрозаводска. Натурными наблюдениями за сохранностью внешней поверхности камня установлено, что в условиях влажного климата северо-западной зоны СССР разрушение гранитов в наружных облицовках начинается через 70-80 лет, а мраморов через 30-50 лет [9].

Декоративные свойства исследуемых облицовочных камней приведены в табл. 1, из которой видно, что большая часть изучаемых горных пород, за исключением метагаббро Мончетундры и доломитового мрамора Пирттиярви, относятся к камням хроматического ряда. По степени насыщенности цвета, за исключением гранита Сюскюянсаари, эти камни слабо насыщены красным и зеленым цветом. Мраморы представлены светлыми породами: от светло-серой до белой ступени светлоты, а остальные - средне- и темно-серые породы. Все облицовочные камни характеризуются отличной и хорошей полируемостью.

Изучаемые горные породы условно можно разделить на две группы. Первую группу составляют интрузивные силикатные породы, а вторую - метаморфизованные осадочные карбонатные породы [10, 11]. Интрузивные горные породы обладают массивным плотным строением. Общей особенностью их вещественного состава является наличие полевых шпатов. В этой группе граниты относятся к кварцсодержащим породам, а у остальных пород кварц отсутствует. Карбонатные горные породы представлены кристаллическими мраморами. Доломит в этих породах является основным породообразующим минералом. В белогорском мраморе необходимо отметить достаточно высокое содержание кварца. Сравнительная характеристика химических составов представленных горных пород приведена в табл. 2, 3.

Как видно из табл. 2, в группе силикатных пород в ряду гранит Кузрека-гранит Сюскюянсаари-метагаббро Мончетундра-хибинит Айкуайвенчорр наблюдается понижение содержания кремнезема, свободной кремнекислоты. По соотношению силикатных и феррических составных частей метагаббро относится к мезократовым, а все остальные - к лейкократовым породам. Кузреченский гранит отличается от гранита Сюскюянсаари более высоким содержанием кремнезема, менее богат щелочами и содержит незначительное количество свободного глинозема. В группе карбонатных пород доломит-

Т а б л и ц а 1

Декоративные свойства облицовочного камня

Порода, месторождение	Категория цветности	Цвет	Степень насыщенности цвета	Ступень светлоты	Светлота по блескомеру ФБ-2, %	Степень полируемости	Блеск по блескомеру НИИКС-М, %
Гранит, Сюскюянсаари	Хроматическая	Красный	Средне-насыщенный	Средне-серые	14.4-18.0	Отличная	170-175
Гранит, Кузреченское	То же	Серовозовый	Слабонасыщенный	То же	20.0-21.0	То же	170-180
Метагаббро, Мончетундра	Ахроматические	Светло-серый	-	" "	17.5-21.9	" "	180-190
Хибинит, Айкуайвенчорр	Хроматическая	Зелено-ваго-серый	Слабонасыщенный	Темно-серые	12.2-14.7	" "	180-185
Доломитовый мрамор, Белая гора	То же	Розовый	То же	Светло-серые-бело-серые	30.6-39.2	" "	160-170
Доломитовый мрамор, Пирттиярви	Ахроматические	Белый	-	Белые	61.0-64.5	Хорошая	150-160

Характеристика химического состава силикатных горных пород

Классификация химических составов	Особенности химического состава	Условные обозначения числовых характеристик, по А.А.Заваришскому	Гранит		Мет агабро, Мончегундра	Хибинит, Айкуй-венчорр
			Сюсюян-саари	Кузрека		
Ряды	Соотношение молекулярных количеств глинозема, извести, щелочей	$Al_2O_3 : CaO : Na_2O, K_2O$	Нормальный состав (Г)	Пересыщенный глинозем (II)	Нормальный состав (Г)	Пересыщенный щелочами (III)
Классы	Минимальное количество свободной кремнекислоты	Q	Пересыщенные (2) 30.5	Пересыщенные (II)	Насыщенные (4) 0.3	Ненасыщенные (6) -33.7
Группы	Содержание щелочей в силикатных частях	a : c	Богатые (3) 9.7	Умеренно богатые (4) 4.1	Очень бедные (15) 0.5	Пересыщенные (20) 22.2
Подгруппы	Отношение силикатных и фемических составных частей	b	Лейкокра- товые (а) 3.3	Лейкокра- товые (а) 4.1	Мезокра- товые (б) 18.5	Лейкокра- товые (а) 7.1
	Содержание кремнезема	S	80.6	82.1	63.0	62.7
	Количество свободного глинозема	a'		3.3	-	-

Примечание. В скобках дана классификация химических составов изверженных горных пород, по А.А.Заваришскому.

Сюсюянские мраморы Пирттярви и Белой горы отличаются друг от друга главным образом различным содержанием кремнезема (табл.3). Таким образом, исследуемые облицовочные камни представлены различными кристаллическими силикатными и карбонатными породами и характеризуются различными декоративными свойствами. Гранит Сюсюянсаари, доломитовые мраморы Белой горы, Пирттярви - это средне- и тонкозернистые однородные равномерно-окрашенные горные породы. Остальные породы - крупнозернистые, пятнистой неравномерной окраски.

Сохранность декоративных свойств облицовочных камней при воздействии агрессивных агентов изучалась на образцах с полированной фактурой, при которой наилучшим образом проявляются цвет и рисунок камня. Результаты ранее проведенных натуральных испытаний облицовочного камня в условиях промышленно развитого города были приняты за основу [11]. В лабораторных условиях эти же камни исследовались на водостойкость и кислотостойкость (табл. 4).

Натурные и лабораторные испытания отличаются физико-химическими условиями и продолжительностью. Вода и серная кислота являются основными агентами, воздействующими на поверхность облицовочного камня.

В естественных условиях на полированную поверхность оказывают воздействие главным образом слабокислые атмосферные осадки, режим которых определяется погодными условиями теплового периода года. Натурные испытания дают наиболее объективные данные о стойкости камня в конкретной физико-климатической обстановке. Одним из существенных недостатков данного метода исследований является его продолжительность.

В лабораторных условиях естественный круговорот воды можно смоделировать в аппарате Сокслета [12], который был использован для изучения водостойкости облицовочного камня. В этом приборе полированные образцы обрабатывались дистиллированной водой. Прибор дает возможность в течение относительно непродолжительного промежутка времени наблюдать и исследовать процессы поверхностного выветривания камня.

Известно, что одним из основных видов загрязнения атмосферных осадков являются серные соединения. Конечный продукт их преобразования представляет собой, по-видимому, слабые растворы серной кислоты. Поэтому серная кислота была выбрана в качестве химического агента для лабораторных исследований стойкости облицовочного камня. Опытным путем был подобран 0.002 Н раствор серной кислоты, создающий слабокислую среду (рН 4.9), которая соответствует кислотности атмосферных осадков в районе натуральных испытаний [11]. Кроме того, образцы облицовочного камня испытывались в кислой среде (рН 2.3), создаваемой 0.1 Н раствором серной кислоты. Испытания осуществлялись методом выдерживания образцов при комнатной температуре в растворах кислоты. При изменении значения рН растворов более чем на две единицы проводилась их замена. Исследование кислотостойкости дает возможность

Т а б л и ц а 3

Характеристика карбонатных горных пород

Оксиды	Химический состав в пересчете на молекулярные кол-ва, %	
	доломитовый мрамор, Белая гора	доломитовый мрамор, Пирттиярви
SiO ₂	33.0	16.3
MgO	16.0	20.9
CaO	18.7	22.2
CO ₂	31.6	39.5
Нерастворимый остаток (Σ RO, R ₂ O, R ₂ O ₃)	0.7	1.1

Т а б л и ц а 4

Основные физико-химические условия экспериментов

Вид испытаний	Продолжительность, мес.	Агенты	pH среды	Температура, °C
Натурные	30	Атмосферные осадки	4.9÷7.7	0±15
Водостойкость	0.4	Дистиллированная вода	5.7÷10.0	25±70
Кислотостойкость	1.5	0.002 Н раствор	4.9÷7.3	20±25
	1.5	0.1 Н раствор	1.8±2.3	20±25

оценить влияние химических примесей и их концентрации в воде на стойкость декоративных свойств облицовочного камня.

Изменение внешнего вида поверхности исследуемых образцов облицовочного камня определялось визуально сопоставлением их с образцами-дубликатами, хранящимися в комнатных условиях.

Натурными исследованиями установлено, что поверхностное выветривание заключается в разрушении полированного слоя и химическом преобразовании слабоустойчивых минералов [11]. На внешней поверхности камня наблюдается понижение блеска, затем химическое изменение минералов, что обуславливает увеличение и понижение светлоты камня. Например, у мраморов понижение блеска и преобразование карбонатов наступает почти одновременно

через 3-10 месяцев. У нефелиновых сиенитов на полированной поверхности образцов нефелин образует как бы вытравленные матовые пятна. После 10-12 месяцев испытаний на нем наблюдается образование молочно-белого вторичного минерала. Незначительное потускнение поверхности образцов после двух лет натуральных испытаний отмечается у гранитов Кузреки и метагаббро Мончегундры. Потускнение участков поверхности гранитов объясняется частичной гидратацией биотита, а у метагаббро оно связано с образованием пленки окислов на поверхности магнетита. Иногда у Кузреченских гранитов наблюдается окисление единичных зерен пирита, который покрывается побежалостью.

После 2.5 лет натуральных испытаний образцов установлено сильное понижение блеска у доломитовых мраморов месторождений Белая гора, Пирттиярви и у хибинитов Айкуайвенчорра. Кроме этого, отмечается увеличение светлоты поверхности камня у белых доломитовых мраморов Пирттиярви, обесцвечивание красных гранитов Сюскюянсаари и розовых доломитовых мраморов Белой горы.

Лабораторными исследованиями установлено существенное изменение внешнего вида образцов, испытанных на кислотостойкость в 0.1 Н растворе серной кислоты. Оно имеет характер четко выраженного химического преобразования минералов. У мраморов и хибинита наблюдается интенсивное растворение слабоустойчивых минералов. В доломитовых мраморах вследствие растворения карбонатов на поверхности образцов выделяется кварц в виде гребенчатых выступов. Кроме этого, на поверхности образцов отмечается образование рыхлого, мучнистого вторичного минерала молочно-белого цвета. При выщелачивании нефелина на поверхности образцов хибинита образуются пустоты, что весьма напоминает внешний вид глыб, встречающихся в коренных обнажениях и особенно в горных ручьях. У метагаббро отмечается осветление плагиоклазов, потускнение магнетита.

Установлено, что дистиллированная вода, циркулирующая в аппарате Сокслета, оказывает более интенсивное воздействие на стойкие силикатные породы (граниты, метагаббро), чем испытания в естественных условиях. Кроме этого, наблюдается большее осветление, обесцвечивание мраморов и красных гранитов Сюскюянсаари. Менее выражены изменения внешнего вида образцов, испытанных в слабом 0.002 Н растворе серной кислоты. Они проявляются главным образом в незначительной потере блеска полированной поверхности мраморов Белой горы и Пирттиярви. Количественно изменения облицовочного камня оценивалось по потере массы образцов, блеска полированной поверхности и по изменению ее светлоты. Результаты испытаний облицовочного камня приведены в табл. 5.

Анализируя результаты проведенных экспериментов, необходимо отметить, что воздействие атмосферных осадков, дистиллированной воды и слабых (0.002 Н) растворов серной кислоты имеет характер поверхностных преобразований камня. Об этом свидетельствует незначительная потеря массы образцов (0.1-0.27%) при весьма существенной потере блеска (2-54%) и изменении светлоты (2-30%) их полированной поверхности.

Изменения свойств образцов облицовочного камня, испытанных в натуральных и лабораторных условиях, % от первоначальной величины

Группа пород	Порода, месторождение	Потеря массы			Потеря блеска			Изменение светлоты					
		на-тур-ных	на-во-до-стой-кость	на кислото-стойкость в растворах H ₂ SO ₄	на-тур-ных	на-во-до-стой-кость	на кислото-стойкость в растворах H ₂ SO ₄	на-тур-ных	на-во-до-стой-кость	на кислото-стойкость в растворах H ₂ SO ₄			
											0,002Н	0,1Н	0,002Н
Силикат-ные	Гранит, Сюсюян-саари Гранит, Кузрека Метагаббро, Мончетундра Хибинит, Айкуай-венчорр	0,01	0,04	0,07	0,12	2	20	12	21	18	15	4	21
		0,03	0,04	0,08	0,19	9	15	15	27	-7	12	9	-11
		0,01	0,09	0,06	0,26	4	16	8	28	-9	13	3	22
Карбонат-ные	Доломитовый мрамор, Белая гора Доломитовый мрамор, Пиртти-ярви	0,05	0,13	0,05	24,30	24	23	13	47	5	17	5	78
		0,01	0,25	0,10	6,19	51	40	20	100	23	28	10	154
		0,03	0,27	0,09	28,60	54	46	37	100	12	30	16	94

П р и м е ч а н и е. Знак минус означает понижение светлоты.

Под таким воздействием потери массы и блеска, а также изменение светлоты поверхности доломитовых мраморов в среднем больше чем в 1,5 раза выше, чем у изверженных. При испытании на кислотостойкость в растворах серной кислоты более высокой концентрации (0,1Н) отмечается существенное увеличение потери массы мраморов (на 2-3 порядка), более чем в 2 раза увеличивается потеря блеска и изменение светлоты их полированной поверхности относительно пород силикатного состава.

В группе силикатных пород особо следует выделить хибинит, у которого, как и у мраморов, после испытаний в 0,1 Н растворе серной кислоты отмечается увеличение потери массы образцов, блеска и повышение светлоты поверхности. Кроме того, у хибинитов и после натуральных испытаний отмечается существенная потеря блеска поверхности, которая более чем в 3 раза превышает показатели остальных пород силикатного состава. Лабораторными исследованиями установлено, что потеря блеска хибинита после испытаний на водостойкость в аппарате Сокслета близка к таковой в естественных условиях, при испытании на кислотостойкость в слабом растворе серной кислоты она в 2 раза меньше, а в 0,1Н растворе - в 2 раза выше, чем при натуральных испытаниях. По-видимому, это можно объяснить высокой химической активностью атмосферных осадков, которые обычно осаждаются на поверхности образцов в виде тонкого слоя, что создает условия интенсивного протекания химических процессов, или повышенной кислотностью осадков, у которых в отдельные периоды возможно рН выше значений 4,9.

Анализируя петрохимические, минералогические особенности исследуемых облицовочных камней и результаты испытаний, необходимо отметить, что их стойкость при воздействии различных химических агентов определяется главным образом их вещественным составом. У силикатных пород водостойкость прямопропорциональна содержанию кремнезема (S) и кварца (Q) (см. табл. 2). Значения этих числовых характеристик понижаются, а потеря массы образцов возрастает последовательно от более к менее стойким камням: граниты Кузреки, Сюсюянсаари-метагаббро Мончетундры-хибинит Айкуайвенчорра. В группе карбонатных пород невысокая водостойкость доломитового мрамора Пирттиярви относительно белогорского мрамора обуславливается более низким содержанием в нем кварца [1]. Кислотостойкость камня зависит от содержания в нем слабостойчивых минералов. Группу некислотостойких пород составляют доломитовые мраморы и хибиниты, у которых потеря массы образцов в 1-2 порядка выше, чем у других горных пород. В этой группе более высокая кислотостойкость отмечается у белогорского мрамора, что объясняется его значительным окварцеванием. В интрузивных горных породах отрицательное влияние на стойкость декоративных свойств оказывают включения сульфидов, реже магнетита повышенное (>5%) содержание биотита.

Наблюдавшееся явление обесцвечивания розовых доломитовых мраморов Белой горы и красных гранитов в натуральных условиях, а также под воздействием дистиллированной воды и 0,1 Н раствора

Количественная оценка полированной поверхности облицовочного камня после испытаний

Порода, месторождение	Испытания			
	натурные	на водостойкость	на кислотостойкость в растворах серной кислоты	
			0,002 Н	0,1 Н
Гранит, Сюсюянсаари	0,985	0,970	0,985	0,970
Гранит, Кузрека	0,850	0,850	0,970	0,850
Метагаббро, Мончетундра	0,865	0,850	0,970	0,850
Хибинит, Айкуайвенчорр	0,570	0,750	0,820	0,100
Доломитовый мрамор, Белая гора	0,535	0,535	0,920	0,290
Доломитовый мрамор, Пирттярви	0,535	0,535	0,775	0,200

серной кислоты, по-видимому, можно объяснить тем, что окраска полевых шпатов в гранитах и доломита в мраморах обусловлена наличием окисного железа (гематита), присутствующего в виде микровключений. При воздействии химических агентов гематит переходит в гидроксиды железа, которые легко растворяются и выносятся водой [13].

Для оценки состояния полированной поверхности облицовочного камня использовался метод экспертных оценок, разработанный для изучения защитных свойств лакокрасочных покрытий [14]. Если разрушение поверхности отсутствует, относительная оценка равна 1, при недопустимой степени разрушений она равна 0. Хорошее состояние поверхности материала (I категория) соответствует количественному показателю в пределах значений 1-0,9, удовлетворительное (II категория) - 0,9-0,7 и плохое (III категория) - менее 0,7. Оценка состояния полированной поверхности изучаемых облицовочных камней, испытанных в лабораторных условиях, приводится в табл. 6.

По результатам испытаний условно можно выделить три группы стойкости облицовочного камня: стойкие (1) - граниты и метагаббро, нестойкие (3) - мраморы; промежуточное место занимает хибинит (2), который характеризуется одновременно как водостойкий и слабокислотостойкий материал.

Анализ данных табл. 5, 6 показывает, что на поверхность камня наибольшее воздействие оказывает 0,1 Н раствор серной кислоты, наименьшее - 0,002 Н раствор. Показатели потери блеска и изменения светлоты, близкие к показателям, полученным в естественных условиях, можно получить методом испытания образцов под

воздействием дистиллированной воды, циркулирующей в аппарате Сокслета.

В целом анализ данных натуральных и лабораторных испытаний дает возможность определить критический уровень загрязнения окружающей среды (при pH дождевых осадков < 4,9 и концентрации серной кислоты > 0,002 Н), при котором облицовочные камни карбонатного состава, нефелиновые сиениты следует применять в строительстве с защитными покрытиями внешней поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. В e r g e r D. Kolloquium zu Problem des steinkonservierung von 3 bis 5. Mai 1971 in Dresden, Karl-Marx-Stadt in Torgau. - Geologie, Berlin, 1972, Н. 3, S. 305-317.
2. М у р а в ь е в а А.К. Человек и атмосфера. Л.: Знание, 1974
3. М у р з а к а е в Ф.Г. Соединение серы и окружающая среда. М.: Знание, 1977.
4. Б у д ы к о М.И. О возможных изменениях глобального климата. - В кн.: Международный симпозиум по комплексному глобальному мониторингу загрязнения окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1978, с. 30-32.
5. Б о р з у н о в В.М. Принципы геологопромышленной оценки месторождений облицовочного камня. - В кн.: Облицовочные камни. М.: Наука, 1974, с. 15-20.
6. Г о р б у н о в Г.И., А н д р е е в Г.Н. Актуальные проблемы охраны природы Крайнего Севера. - В сб.: Природа и хозяйство Севера. Вып. 4. Мурманск, 1976, с. 3-14.
7. К р ю ч к о в В.В. Проблемы освоения Крайнего Севера. - Природа, 1972, № 1, с. 74-82.
8. С а в о с т и н И.А. О целесообразности создания в Мурманской области камнеобрабатывающих предприятий. - В кн.: Экономические проблемы развития и размещения производственных сил Мурманской области. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1978, с. 119-124.
9. П у д о в к и н В.Г. О долговечности облицовочных камней Карелии. - В сб.: Минеральное сырье Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977, с. 57-64.
10. Л а ш у к В.В. и др. Декоративные заполнители из отходов горнодобывающих и камнеобрабатывающих предприятий Кольского полуострова. - В кн.: Природные и техногенные силикаты для производства строительных и технических материалов. Л.: Наука, 1977, с. 83-90.
11. Л а ш у к В.В. Натурные испытания климатической стойкости облицовочного камня Кольского полуострова. - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального и техногенного сырья Кольского полуострова. Л.: Наука, 1979, с. 53-65.
12. П е д р о Ж. Экспериментальные исследования геохимического выветривания кристаллических пород. М.: Мир, 1971.

13. Григорович М.Б. Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1976.

14. Карякина М.И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий. М.: Химия, 1977.

Б.А.Брянцев, А.Д.Журбенко

АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

В настоящее время камнеобрабатывающие заводы на операциях фактурной обработки природного камня используют преимущественно абразивные инструменты из карбида кремния на магнезиальной связке [1]. Простота технологии изготовления, высокая прочность при истирании, низкие адгезионные свойства и удовлетворительная удельная производительность на всех операциях шлифования поверхности камня придают абразивным инструментам на магнезиальной связке универсальность. К недостаткам таких инструментов следует отнести их значительную чувствительность к действию воды [2]. Как на стадии выдержки их при твердении, так и при эксплуатации в условиях воздействия влаги неблагоприятно сказывается на прочностных характеристиках, обуславливая неравномерное изнашивание инструмента. Улучшение технических свойств абразивных инструментов, наряду с применением более эффективных абразивных материалов (алмаза, кубического нитрида бора, карбида бора), возможно за счет использования более эффективных связок. Перспективными в этом плане представляются керамические связки. Следует отметить, что в настоящее время около 60-70% всех абразивных инструментов, выпускаемых отечественной промышленностью, изготавливаются на керамических связках.

В литературе имеются рекомендации по выбору характеристик и применению абразивных инструментов на керамической связке из карбида кремния и электрокорунда для обработки ряда неметаллических материалов [3-5]. Способ обработки хрусталя, керамических плит для радиотехники, монокристаллов германия и кремния для транзисторов ничем не отличается от обработки металлов и сплавов (абразивные инструменты работают периферией круга, при малой продольной подаче и ширине среза, многопроходным методом), что неприемлемо для крупномасштабных площадей при фактурной обработке.

В зарубежной и патентной информации имеются сообщения по применению абразивных инструментов на керамической связке для фактурной обработки облицовочных материалов и изделий из природного камня [6]. Так, наиболее приемлемым типом связки для обработки камня специалисты итальянской фирмы „Ронкорони“ считают керамическую связку (структура инструмента - средняя,

тип 4,5, твердость - мягкие, типы Н-К). Выпускаемый инструмент выполняется в виде торцевых кругов с канавками для охлаждающей жидкости или отдельных сегментов. В качестве абразива для шлифовки природного камня используются зерна светло-зеленого карбида кремния, характеризующегося повышенной режущей способностью. Количество стадий шлифовки изделий из природного камня, а также характеристику инструмента на каждой стадии подбирают опытным путем в зависимости от конкретных условий работы (вид камня, типа станка и др.). Фирма считает, что благодаря высокой стоимости компонентов такой инструмент успешно конкурирует с алмазными кругами, а в некоторых случаях даже превосходит их по экономическим показателям.

Поскольку абразивные инструменты на керамической связке почти не применяются при фактурной обработке камня, отсутствуют сравнительные технико-экономические данные их работы и работы алмазных инструментов или широко зарекомендовавших себя во многих странах инструментов на магнезиальной связке.

Исследования, результаты которых приводятся в статье, являются первой попыткой разработки технологии изготовления абразивных инструментов на керамической связке специально для фактурной обработки природного камня в промышленных условиях.

Одним из направлений работы являлось определение работоспособности и износостойкости инструмента на керамической связке при обработке гранита на всех операциях по сравнению с инструментом, изготовленным на магнезиальной связке. В качестве объекта исследования использовали абразивный инструмент из карбида кремния типа ПП 100x60x32 на синтезированной связке, изготовленный по усовершенствованной технологии. Абразивные инструменты соответствовали 8-10-й структуре, твердости М2-СМ1.

Испытания абразивных инструментов проводили на лабораторной шлифовальной установке, имевшей следующие технические характеристики: плоское шлифование торцом круга с углом наклона торца к обрабатываемой поверхности, равным 2° , мощность двигателя на валу 2 кВт, скорость вращения шпинделя 980 об/мин., прижимное усилие* не жесткое 130 кг, поверхность торца круга 50 см², продольное возвратно-поступательное перемещение стола 10 м/мин., расход охлаждающей воды до 10 л/мин., площадь обрабатываемой поверхности 491 см².

Оценка эксплуатационных показателей шлифования производилась по следующим критериям: съем материала камня в единицу времени, см³/мин., износ инструмента в единицу времени, см³/мин., удельная производительность.

Износ шлифовального круга и съем материала изделия определяли часовым индикатором типа И440-5, продолжительность работы -

* Наличие маятниковой системы прижима шлифовального инструмента к обрабатываемой детали позволило сохранить постоянным удельное давление независимо от разновысотности плоскости обрабатываемой детали.

секундомером. По известной площади, глубине резания определяли объемы снятого материала и износ абразивного инструмента.

Подбор рецептуры для изготовления абразивных изделий производили по методике ВНИИАШ. Основной задачей являлся подбор таких шихтовых составов, на основе которых абразивные инструменты имели бы рациональные эксплуатационные показатели при обработке гранита. За основу расчетов шихт требуемых характеристик абразивных инструментов была взята зависимость существующей шкалы твердости от объемного содержания зерна, связки и пор в процентах [4]. Для расчетов плотность карбида кремния принималась равной 3,2 г/см³, связки - 2,45 г/см³. Требуемая навеска шихты для абразивного инструмента рассчитывалась по известному объему прессформы и объемной массе приготовленной шихты по рецептуре, в частях: карбид кремния - 100, керамическая связка - 21-27, увлажнитель - 3,8-4,6.

Формирование изделий производилось заподлицо (до заданного объема). Сушка осуществлялась в сушильном шкафу при температуре 105°C в течение 3 час. Обжиг проводился при 850-1100°C по режиму: подъем температуры - 7 час., выдержка - 2 час., охлаждение - при выключенной печи. Обожженные изделия испытывались на шлифовальной установке на режущую способность и износостойкость. При этом испытанию подвергались абразивные изделия 4-12-й структур и твердости М1, М3 и СМ2 (табл. 1).

Результаты испытаний показали, что значения производительности шлифования для всех структур остаются соизмеримыми и в среднем равны 2,5 см³/мин. Наблюдается увеличение скорости шлифования очень мягкими инструментами, что, по существу, приближает это значение к значению при работе несвязанным абразивом. Скорость износа инструмента 6-12-й структуры также имеет соизмеримое значение и в среднем равно 0,24 см³/мин. Инструменты с низким номером структуры быстро изнашиваются. С увеличением номера структуры износостойкость увеличивается, достигая максимального значения (10-я структура), а потом начинает уменьшаться. Значение удельной производительности в среднем равно 10, а при максимальной износостойкости она достигает 57.

Аналогичные испытания были проведены с помощью абразивных инструментов с зернистостью № 50, 12, 4 и твердостью М1, М3 и СМ2. При этом наблюдалась та же закономерность - максимальное значение удельной производительности шлифования соответствовало 9-10-й структуре абразивного инструмента при различных твердостях. Исходя из значений эксплуатационных параметров абразивных инструментов рациональных составов, видно, что с уменьшением зернистости абразивного материала в инструменте при одной и той же твердости, например М1, скорость износа возрастает (табл. 2). Это указывает на недостаточную прочность связывания зерен. С другой стороны, увеличение твердости инструментов с зернистостью № 4 (от М1 до СМ2) ведет к тому, что с уменьшением скорости износа резко падает производительность шлифования. На операции грубого обдира (зернистость № 125) при максимальной про-

Результаты испытаний абразивных инструментов из карбида кремния на керамической связке (зернистость № 125, твердость М3) на операции грубого обдира гранита

Номер структуры	Величина сошлифованного гранита, см	Объем сошлифованного гранита, см ³	Величина износа инструмента, см	Объем израсходованного на шлифование инструмента, см ³	Производительность шлифования, см ³ /мин	Скорость износа инструмента, см ³ /мин	Удельная производительность, см ³ /см ²
4	0.039	19.15	0.294	14.70	3.83	2.94	1.30
5	0.020	9.82	0.058	2.90	1.96	0.58	3.38
6	0.025	12.28	0.022	11.10	2.46	0.22	11.18
7	0.019	9.33	0.020	1.00	1.87	0.30	9.35
8	0.015	7.37	0.034	1.70	1.47	0.34	4.32
9	0.026	12.77	0.015	0.75	2.56	0.15	17.07
10	0.029	14.24	0.005	0.25	2.85	0.05	57.00
11	0.022	10.80	0.023	1.15	2.16	0.23	9.39
12	0.026	12.27	0.029	1.45	2.55	0.29	8.79

Примечание. Площадь обрабатываемого гранита 491 см², время шлифования 5 мин., площадь рабочей части абразивного инструмента 50 см².

Таблица 2

Значения эксплуатационных параметров абразивных инструментов из карбида кремния на керамической связке при обработке гранита

Рациональная структура и эксплуатационные параметры абразивных инструментов	№ зернистости и твердость абразивных инструментов					
	125			50		
	M1	M3	CM2	M1	M3	CM2
Номер структуры	11	10	9	9	8	7
Скорость шлифования гранита, см ³ /мин	2.7	2.8	2.7	2.1	2.8	1.9
Скорость износа инструмента, см ³ /мин	0.06	0.06	0.07	0.10	0.19	0.15
Удельная производительность шлифования, см ³ /см ³	45.0	56.0	38.0	20.6	15.0	12.5

Рациональная структура и эксплуатационные параметры абразивных инструментов	№ зернистости и твердость абразивных инструментов					
	12			4		
	M1	M3	CM2	M1	M3	CM2
Номер структуры	11	9	8	10	9	9
Скорость шлифования гранита, см ³ /мин	3.0	3.7	3.0	12.2	7.6	2.2
Скорость износа инструмента, см ³ /мин	0.27	0.20	0.37	0.65	1.12	0.18
Удельная производительность шлифования, см ³ /см ³	11.0	18.7	8.2	18.7	6.8	12.0

изводительности инструмента из карбида кремния высокие значения удельной производительности получаются за счет повышенной износостойкости.

Для сравнения эксплуатационных характеристик инструментов на керамической и магнезиальной связках были выполнены исследования (табл. 3) с помощью инструментов на магнезиальной связке, полученных с камнеобрабатывающих заводов и изготовленных по общепринятой технологии [1].

Как видно из данных табл. 3, по удельной производительности работоспособность инструмента на керамической связке значительно выше инструмента на магнезиальной связке. С уменьшением номера зернистости абразивного материала наблюдается их интенсивный износ (пылевыделение и образование аэрозоля). С другой стороны, абразивные инструменты на керамической связке при

Таблица 3

Результаты сравнительных испытаний абразивных инструментов из карбида кремния при обработке гранита

Операция шлифования; № зернистости абразива	Связка	Производительность шлифования гранита, г/см ³	Скорость износа инструмента, см ³ /мин	Удельная производительность, см ³ /см ³
Грубый обдир, 125	Магнезиальная	0.88	0.85	1.04
	Керамическая	2.80	0.06	46.28
Грубое шлифование; 50	Магнезиальная	1.67	2.06	0.74
	Керамическая	2.65	0.15	15.88
Шлифование; 12	Магнезиальная	2.16	1.43	1.51
	Керамическая	3.73	0.28	12.60
Чистовое шлифование; 4	Магнезиальная	1.37	1.66	0.83
	Керамическая	12.17	0.65	12.50

шлифовании и чистовом шлифовании на обрабатываемой поверхности оставляют царапины, при этом происходит налипание шлама на абразивный инструмент, наблюдается искрение. Шлифовальная бабка вибрирует. Для этих операций необходимо, по-видимому, уменьшить удельное давление прижима.

На основании анализа результатов проведенных сравнительных испытаний эксплуатационных характеристик инструментов на керамической и магнезиальной связках можно заключить, что удельная производительность инструмента на керамической связке на начальных операциях на порядок выше, чем инструмента на магнезиальной связке. Такое повышение удельной производительности обусловлено высокой износостойкостью инструмента и более интенсивным объемом обрабатываемого материала. На доводочных операциях обработки гранита абразивный инструмент на керамической связке делает задиры с появлением вибраций ставка. Подобное явление обусловлено, вероятно, взаимодействием поверхности обрабатываемого материала и стеклокерамической связки вследствие образования высоких температур в зоне обработки камня.

Л и т е р а т у р а

1. Инструкция по технологии производства и применению шлифовального инструмента АКМ для фактической обработки природных отделочных материалов. Киев: НИИСМИ, 1971.
2. Чернявска Е. Исследование возможности повышения сопротивления магнезиальных вяжущих воздействию воды. - Cement. Wopno. Gips., 1977, т. 31, № 6, 159-163 (польск).

3. Абразивные материалы и инструменты. М.: Машиностроение, 1976.
4. И п л о т в Г.М. Абразивно-алмазная обработка. М.: Машиностроение, 1969.
5. Э ф р о с М.Г. Абразивный инструмент из карбида кремния зеленого на реакционноспособной керамической связке для обработки твердых неметаллических изделий. - Абразивы, 1977, № 5, с. 4.
6. С ы ч е в Ю.И. Шлифовально-полировальный инструмент для обработки природного камня. - В сб.: Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов. Сер. 7, В. 1. М., 1980, с. 51-54.

Б.И. Б и б и к о в

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Кольский полуостров, располагая значительными ресурсами высокодекоративного, своеобразного, часто уникального облицовочного камня, может быть выделен в самостоятельную природно-каменную провинцию. Однако до сих пор горные породы его почти не использовались для производства облицовочных материалов. Технология обработки этих пород практически не разработана, за исключением некоторых разновидностей [1, 2], т.е. как сырье для камнеобрабатывающей промышленности они не изучались. В настоящее время облицовочный камень Кольского полуострова становится реальной сырьевой базой камнеобрабатывающей промышленности, по существу, одним из сырьевых узлов Северо-Запада Европейской части СССР. Поэтому закономерным и своевременным является исследование технологических свойств и параметров обрабатываемости новых видов облицовочного камня, представленных породами различных генетических групп (гранитов Кузреченского и гранодиоритов Б.Сормозерского, диоритов Шонгуйского месторождений, габбро и метагаббро Мончетундры, хибинитов месторождения Айкуайвенчорр и луавритов Ловозерского щелочного массива). Проведено разделение этих пород на технологические группы, характеризующиеся различными режимами обрабатываемости, и их сравнение с известными, хорошо изученными аналогами с целью определения положения новых видов камня в общей классификационной технологической схеме облицовочного камня страны.

Изученные виды облицовочного камня интересны теми эмпирическими связями физико-механических свойств и обрабатываемости пород различного генезиса, основой которых являются закономерности минерального состава и их структурно-текстурные особенности. Именно в таком аспекте представляется наиболее целесообраз-

ным исследование и интерпретация технологических параметров обрабатываемости горных пород Кольского полуострова.

Вследствие незначительной пористости исследованных пород, определяемой значениями, не превышающими 1-2%, не принималось во внимание ее влияние на технологические показатели процесса обрабатываемости [3]. В связи с этим фактор влияния минерального состава имеет определяющую роль и приобретает значение минералогического критерия обрабатываемости облицовочного камня. Изменение этого фактора на процесс обработки камня предлагается учитывать через соотношение групп минералов с различной твердостью и плотностью, для чего введено понятие минералогического критерия обрабатываемости (M_K).

В основе признака твердости, определяющего ту или иную группу минералов, предполагается использовать определенный, довольно узкий диапазон значений, позволяющих обобщить минералы по отношению к разрушающей нагрузке. Первоначально следует выделить группы на основе сопоставимости их относительной твердости (по шкале Мооса). В дальнейшем по результатам исследования микротвердости представляется возможным уточнить и более конкретно определить совокупность минералов одной группы твердости, возможно предварительно распределившихся по значениям относительной твердости в различных группах. Определяющую роль в этом случае имеют постгенетические изменения, весьма существенно сказавшиеся на физических свойствах породообразующих минералов.

Весьма характерным примером является изменение твердости нефелина в луавритах вследствие процесса шпреуштейнизации. Незаменимый или слабо измененный нефелин, обладающий относительной твердостью 5-6 [4, 5], по нашим данным, имеет микротвердость 41-782 кг/мм^2 (6.29-7.67 ГПа) в ловозерских луавритах и 772-1077 кг/мм^2 (7.57-8.89 ГПа) в неизменных разновидностях хибинитов Хибинского массива. В результате процесса шпреуштейнизации микротвердость нефелина существенно уменьшается до 357-423 кг/мм^2 (3.50-4.15 ГПа), т.е. почти в 2 раза. Таким образом, нефелин распределяется в зависимости от степени шпреуштейнизации по различным группам твердости.

По-видимому, исходя из преимущественного распределения минералов по группам твердости и их содержания в породе, целесообразно определить две основные минеральные группы, в основе определяющие абразивные свойства породы и как следствие параметры их обрабатываемости. Что касается группы минералов с высоким содержанием и существенно малым значением микротвердости, то она, по нашему представлению, должна повышать абразивные свойства породы, в определенной степени выполняя (моделируя) роль пористости в абразивном инструменте. Следует обратить внимание, что при выделении групп минералов по твердости необходимо исходить из характера соотношения абсолютных значений микротвердости. Группы минералов, связанные постепенным, перекрывающимся характером изменения твердости, объединены в одну группу, а сам фактор постепенности перехода снижает абразивные свойства породы и ее технологические свойства на стадии распиловки.

Анализ результатов исследований показывает, что в общей схеме изученных горных пород (как в кварцсодержащих, так и в бескварцевых) обнаруживается общая тенденция снижения значений минералогического критерия обрабатываемости от 0,56 (для гранитов месторождения Сюскюянсаари) до 0,15 (хибиниты месторождения Айкуайвенчорр) [табл. 1, см. вкл.].

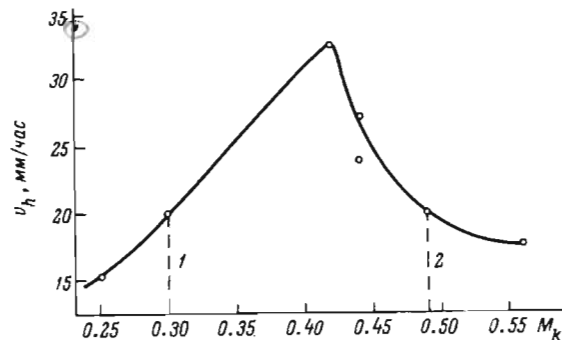
Изменение значений агрегатной (среднезвешенной) микротвердости происходит в том же направлении, однако несколько обособленно по группам пород: в ряду кварцсодержащих пород от 10,56 до 7,79 ГПа, для бескварцевых – от 9,08 до 8,21 ГПа (трахитоидные луавриты характеризуются аномально низким значением, равным 6,84 ГПа, занимая особое положение в ряду пиллности облицовочного камня).

Тенденция изменения вертикальной скорости распиловки (подачи и опускания рамы станков) и технологической производительности носит двойной характер: параметры обрабатываемости при распиловке повышаются до уровня, соответствующего значению M_K , равному 0,42, достигая максимального значения 32,2 мм/час при распиловке гранодиорита Б. Сормозерского месторождения на станке „1925“, а далее, в ряду бескварцевых пород, уменьшаются. Агрегатная микротвердость соответствует показателям обрабатываемости и, как было отмечено выше, также уменьшается.

Сопоставив закономерности изменения этих показателей изученных пород, приходим к выводу, что наиболее оптимальные значения минералогического критерия, соответствующие максимальным скоростям распиловки горных пород, определяются значениями 0,49–0,3. При более высоких значениях M_K существенно возрастает агрегатная микротвердость, прочность при сжатии, уменьшается абразивность породы и как следствие снижается скорость распиловки, т.е. определяющее влияние на режим обработки начинает оказывать содержание кварца.

При значениях $M_K < 0,3$ существенно возрастает однородность пород вследствие преобладания в них минеральной группы одной твердости и плотности. Тем самым снижается способность породы к механической дезинтеграции абразивом, т.е. начинает преобладать процесс собственно истирания за счет уменьшения интенсивности процесса выкрашивания, более типичного при видимом различии минеральных групп по твердости и плотности. В этом случае при обработке алмазным инструментом может проявляться эффект „засаливания“. Таким образом, по диапазону значений минералогического критерия обрабатываемости установлен оптимальный минеральный состав облицовочного камня (см. рисунок), позволяющий достичь наиболее высокой скорости обработки горных пород при распиловке.

Особый интерес вызывает то обстоятельство, что в круг исследования были вовлечены наиболее перспективные по различным признакам горные породы, которые, имея различный состав, являются, по существу, представителями одного генетического типа. Изучены породы интрузивных массивов, сформировавшихся в заключительные



зависимость скорости рабочей подачи рамы (V_h) и минералогического критерия обрабатываемости (M_K).

Между 1 и 2 – зона оптимального минерального состава облицовочного камня.

стадии орогенеза в условиях их консолидации. Это предполагает возможность наибольшей сопоставимости как в минералого–петрографическом, так и в технологическом отношении различных свойств горных пород, прежде всего параметров их обрабатываемости.

Минералогический критерий, являясь принципиально новым прогностическим и классифицирующим показателем обрабатываемости, не опровергает таких классифицирующих признаков и понятий, как агрегатная твердость (Р), интегральная твердость (J_{TB}) и коэффициент абразивности (С), положенных в основу технологической классификации ВНИПИИСтромсырье [6], а уточняет и расширяет диапазон признаков и делает этот комплекс более директивным и целенаправленным, так как предполагает более точный уровень диагностики (с учетом структурно–текстурных особенностей горных пород).

По результатам исследований коэффициент абразивности изученного генетического типа пород характеризуется значениями 1,22–1,78, что в общем случае достаточно хорошо согласуется с характером изменения параметров обрабатываемости облицовочного камня Кольского полуострова. Поэтому он в полной мере может играть роль классифицирующего признака. Этот коэффициент позволяет определить три основные категории абразивности горных пород в рамках принятой классификации. Значения коэффициента абразивности С приобретают уровень аномальных лишь вследствие специфичности минерального состава пород, являющегося основной генетической чертой щелочных интрузий (имеются в виду луаврит Ловозерского и хибинит Хибинского массивов). Минералогический критерий обрабатываемости луаврита (табл. 1), равный 0,2, предполагает достаточно высокую однородность породы, что при значении

коэффициента абразивности 1.28 (минимальное значение 1.12) характеризует его как малоабразивный камень, соответственно, предполагая низкие скорости распиловки. При исследовании характера обрабатываемости луявритов необходимо принимать во внимание, что распиловка проводилась параллельно ориентировке трахитоидности, а операции шлифовального цикла, следовательно, перпендикулярно, т.е. по поверхности трахитоидности. Поэтому при анализе характера зависимости параметров обрабатываемости от физико-механических и технологических свойств как исходных, планирующих признаков следует исходить из более узкого диапазона прочностных и других характеристик. При направлении действия сжимающей нагрузки, параллельном трахитоидности, прочность при сжатии находится в пределах 148-272 МПа (среднее значение 232 МПа), значительно ниже значений при других ориентировках трахитоидности. Тем не менее обращает на себя внимание несоответствие указанных выше классифицирующих признаков, а также показателей плотности и прочности луявритов, более характерных для пород III группы обрабатываемости и высокой скорости распиловки (табл. 1). По-видимому, в процессе распиловки луявритов параллельно отчетливо выраженной трахитоидности, обусловленной план-параллельной ориентировкой полевых шпатов (относительная твердость 6-6.5), формируются поверхности ослабления вследствие создания дополнительных напряжений как результата раскливающего действия свободного абразива (дуби), более свободно внедряющегося по межслоевым участкам, выполненным нефелином, твердость которого на порядок ниже твердости полевых шпатов и эгирина. Кроме того, трахитоидность определяет преобладающее направление разрушения породы, что закономерно находит отражение и в характере прочностных свойств. Четко выраженное, закономерно ритмичное чередование по направлению распила групп минералов с различными значениями твердости и плотности повышает абразивные свойства луявритов в плоскости, перпендикулярной трахитоидности, и тем самым определяет аномально высокие значения параметров распиловки. В этом заключается основная особенность обрабатываемости трахитоидных луявритов, не столь четко выраженная в формировании прочностных и упругих свойств породы. Следует отметить, что технологическая особенность луявритов не находит отражения в характере показателей истираемости (табл. 2), так как плоскостное и круговое воздействия абразива на поверхность породы при определении потери при истирании уравниваются, исключая селективный характер контакта абразива с минералами различных групп.

Основной чертой связи параметров обрабатываемости и свойств горных пород бескварцевого ряда является общая тенденция снижения скорости вертикальной распиловки (подачи-опускания рамы) как наиболее прямого, опосредствованного показателя (на станках „1925“ от 19.7 мм/час - для шонгуйских диоритов до 15.2 мм/час - для габбро Мончетундры; на станках ЛВГ-1У: от 29.0 мм/час - для диоритов до 14.36 мм/час - для хибинитов), коэффициента абразив-

Т а б л и ц а 2

Основные критерии и параметры абразивно-фактурной обрабатываемости облицовочного камня

Облицовочный камень	Минералогический критерий	Плотность породы, г/см ³	Коэффициент абразивности породы, С	Агрегатная микротвердость породы, ГПа	Интегральная твердость породы, г·мм ⁻²	Истираемость породы, г·см ⁻²
Гранодиорит сормозерский	0.42	$\frac{2.63-2.70}{2.67}$	2.20	7.79	535	$\frac{0.07-0.14}{0.11}$
Гранит кузнецкий	0.44	$\frac{2.66-2.72}{2.68}$	3.16	8.49	487	$\frac{0.04-0.06}{0.06}$
Диорит шонгуйский	0.30	$\frac{2.73-2.81}{2.76}$	2.33	9.08	607	$\frac{0.12-0.13}{0.12}$
Луяврит	0.20	$\frac{2.49-2.84}{2.71}$	1.64	6.84	545	$\frac{0.14-0.21}{0.17}$
Габбро мончегорское	0.25	$\frac{2.85-2.96}{2.88}$	2.23	8.96	612	$\frac{0.02-0.14}{0.08}$
Хибинит	0.15	$\frac{2.62-2.68}{2.65}$	1.50	8.21	551	$\frac{0.14-0.29}{0.21}$

Т а б л и ц а 2 (продолжение)

Облицовочный камень	Технологические параметры абразивно-фактурной обрабатываемости							Полируемость		
	тип станка	шлифование, м ² /мин.			пошение, м ² /мин.	полирование, м ² /мин		средняя суммарная скорость обработки м ² /час	по фотоблеск-комеру ФБ-2	по блеск-комеру НИИКС-М
		грубое (обдирочное)	получистовое	чистовое		инструментальное	накатка глянца, (войлок + ОХ)			
Гранодиорит сормозерский	ЖБ-500	0.10-0.27 0.14	0.18-0.49 0.36	0.23-0.99 0.44	0.30-0.82 0.53	0.31-1.09 0.66	0.25-0.98 0.56	3.85	-	170-185
	СМР-013	0.15-0.27 0.20	0.28-0.95 0.31	0.27-0.35 0.31	0.24-0.34 0.30	0.39-0.55 0.45	0.39-0.55 0.46	3.61		
Гранит кузнецовский	ЖБ-500	0.05-0.25 0.12	0.11-0.68 0.31	0.21-0.87 0.48	0.28-0.95 0.55	0.22-0.57 0.43	0.22-0.75 0.53	3.37	40-60	160-185
	СМР-013	0.06-0.42 0.14	0.16-0.41 0.25	0.26-0.83 0.53	0.20-0.81 0.40	0.18-0.63 0.44	0.23-0.76 0.42	3.37		
Диорит шонгуйский	ЖБ-500	0.07-0.22 0.12	0.14-0.29 0.23	0.29-0.99 0.49	0.23-0.71 0.39	0.34-1.63 0.81	- -	3.24	40-59	160-180
	СМР-013	0.03-0.21 0.09	0.09-0.40 0.26	0.15-0.70 0.41	0.09-0.55 0.29	0.11-0.77 0.42	- -	2.53		
Луаврит	ЖБ-500	0.11-0.25 0.16	0.15-0.89 0.33	0.18-0.97 0.34	0.21-1.07 0.66	0.38-1.07 0.55	0.21-0.37 0.30	3.18	39-69	175-200
	СМР-013	0.08-0.17 0.12	0.08-0.43 0.16	0.13-0.29 0.23	0.21-0.43 0.29	0.36-0.48 0.40	0.46-0.64 0.58	2.38		
Габбро мончегорское Хябинит	ЖБ-500	0.03-0.18 0.06	0.08-0.57 0.23	0.04-0.33 0.18	0.15-0.42 0.33	0.07-0.57 0.31	- -	1.77	43.9-52	150-180
	ЖБ-500	0.08 0.08	0.09 0.09	0.09 0.09	0.10 0.10	0.33 0.33	- -	1.28	62.5-76	160-170
		995-202 424	262-590 114	256-483 363						

ных особенностей, физико-механических и технологических свойств горных пород и зависимости их от параметров обрабатываемости,

Технологические параметры абразивно-фактурной обрабатываемости

Полнуремкость

Обли- ный каме	Гранит зерс	Гран рече	Дног гудс	Луле	Виды породы		Положение в технологической классификации и характеристика обрабатываемости	
					Средняя м/час	технологическая производитель- ность, м ² /час		
0	0	0	0	0	0.10	0.38-0.96 0.65	Группа III, подгруппа „б“ (труднообрабатываемые средней абразивности)	
					0.23-0.86			
					0.52-1.03 0.78			
					0.48-1.42 0.81			
					0.70-1.09 (до 1.84) 0.91	Группа II, подгруппа „в“ (среднеобрабатываемые, высокой абразивности)		
					1.69-2.79 2.17			
					1.98-3.48 (до 4.21) 2.40			
					0.72-1.33 (до 1.63) 0.93			
					0.30-0.44 0.36			Группа III, подгруппа „б“ (труднообрабатываемые, средней абразивности)
					1.13-1.97 1.60			
0.90-2.82 1.70								
0.68-1.19	Группа II, подгруппа „б, в“ (среднеобрабатываемые,							

Габ
четс
Хиб

сти и значений минералогического критерия обрабатываемости, отражающего повышение однородности пород (от 0.3 до 0.15) и как следствие уменьшение их абразивной способности (табл. 1). Эта закономерность логично сопровождается увеличением агрегатной и интегральной твердостей, а также средневзвешенной микротвердости. Для операций абразивно-фактурной обработки тенденция снижения средних суммарных скоростей шлифования-полирования имеет более устойчивый характер, логично и последовательно контролируемый минералогическим критерием обрабатываемости M_K и коэффициентом абразивности C . Скорость обрабатываемости изменяется от 3.85 до 2.6 м²/час (табл. 2). Интегральная твердость и агрегатная микротвердость для этой стадии обработки исследованного ряда пород не образуют отчетливо выраженной связи.

Сущность процесса алмазно-дисковой обработки облицовочного камня Кольского полуострова на фрезерно-окантовочных станках достаточно полно отражена табл. 3 в сопоставлении с рассмотренными выше показателями свойств и состава камня (табл. 1, 2). В качестве комплексного показателя, объединяющего показатели твердости, плотности, минерального состава и в определенной степени структурно-текстурные особенности пород по соотношению минеральных групп, может быть использован минералогический критерий обрабатываемости M_K . Общий характер закономерности связи свойств горных пород и параметров их обрабатываемости сохраняется и для алмазно-дискового резания пород.

Из сказанного, по-видимому, можно сделать один из выводов, что параметры процесса обработки отражают достаточно высокие технологические свойства изученных видов облицовочного камня Кольского полуострова, а обрабатываемость гранитоидов (кузнецких гранитов и сормозерских гранодиоритов) как по вертикальной скорости распиловки, так и в целом по технологической производительности значительно (в 1.5-2 раза) превосходит соответствующие показатели гранитов Карельской АССР.

В дополнение к изложенному выше следует отметить, что при анализе характера связи параметров обрабатываемости изученных разновидностей облицовочного камня с комплексом их свойств обращалось внимание на необходимость определения доминирующих факторов, влияющих на формирование технологических свойств и тем самым определяющих возможность их использования в качестве планирующих (прогнозных) признаков предварительной оценки горных пород в качестве облицовочного камня. Прочность при сжатии, обнаруживая общую тенденцию соответствия характеру изменения минералогического критерия обрабатываемости, в столь узком ряду генетически обобщенных пород проявляет лишь общий характер прогнозирующего признака обрабатываемости и не имеет классифицирующей роли (табл. 1).

В результате проведенных исследований установлены определенные тенденции изменения минерального состава, структурно-текстурных особенностей, физико-механических и технологических свойств горных пород и зависимости их от параметров обрабатываемости,

Таблица 3

Технологические параметры алмазно-дисковой обрабатываемости облицовочного камня

Облицовочный камень	Показатели резания (подачи) на фрезерных станках (инструмент - алмазные отрезные круги АОК 500 А500/400 М50 50-75%)								
	станок МП-600			станок МПЖ-6			станок мод. „310“		
	глубина резания за 1 проход, мм	количество фрез	горизонтальная скорость, м/мин.	глубина резания за 1 проход, мм	количество фрез	горизонтальная скорость, м/мин.	глубина резания за 1 проход, мм	количество фрез	горизонтальная скорость, м/мин.
Гранодиорит сормозерский	30	1	<u>1.52-2.77</u> 2.09	-	-	-	-	-	-
	30	2	<u>0.78-1.33</u> 1.05	-	-	-	-	-	-
Гранит кузнецкий	30	2	<u>0.98-1.47</u> (№6) 1.23	-	-	-	-	-	-
	30	2	<u>1.28-2.41</u> (№3) 1.93	30	1	<u>1.11-2.35</u> 1.53	-	-	-
	30	2	<u>0.78-1.12</u> (№4) 0.92	60	-	<u>0.38-0.60</u> 0.48	-	-	-
Диорит шонгуйский	-	-	-	30	1	<u>1.08-2.64</u> 1.53	-	-	-
	-	-	-	40	1	<u>1.14-1.20</u> 1.17	30	1	<u>0.49-1.11</u> 0.74
Луаврит	20	2	<u>0.85-1.25</u> 1.12	-	-	-	-	-	-
	40	2	<u>0.93-1.59</u> 1.03	40	1	<u>0.57-0.95</u> 0.77	-	-	-
Габбро мончегорское	30	1	<u>0.90-0.92</u> 0.91	-	-	-	-	-	-
	30	2	<u>0.45-1.13</u> 0.50	-	-	-	-	-	-
	40	2	<u>0.30-0.71</u> 0.47	-	-	-	-	-	-
Хибинит	30	2	<u>0.48-0.60</u> 0.50	-	-	-	-	-	-

Облицовочный камень	Технологическая производительность отрезного круга, см ² /мин.			Примечание
	станок МП-600	станок МПЖ-6	станок мод. „Торпедо 310“ (фирм. Карл Майер)	
Гранодиорит сормозерский	<u>456-831</u> 627 <u>234-399</u> 315	-	-	1. Окружная скорость резания на станках: МП-600 - 39 м/с, МПЖ-6 - 38 м/с, мод. „310“ - 30-35 м/с. 2. Оптимальная производительность некоторых видов облицовочного камня а) габбро, лабрадорит 300-400 см ² /мин; б) граниты типа Железевского, Шальского (3-я группа трудности обработки) 200 см ² /мин; в) граниты типа Новоданиловского (2-я группа трудности обработки) 150 см ² /мин.; г) граниты типа Янцевского, Токковского (1-я группа трудности обработки) 80-100 см ² /мин.
Гранит кузнецкий	<u>294-441</u> 369	-	-	
Диорит шонгуйский	<u>384-723</u> 579	<u>333-705</u> 459	-	
	<u>234-336</u> 276	<u>228-360</u> 288	-	
	-	<u>324-792</u> 459	<u>147-333</u> 222	
Луаврит	<u>170-250</u> 224	<u>228-380</u> 308	-	
	<u>372-636</u> 412	-	-	
	<u>270-276</u> 273	-	-	
Габбро-мончегорское	<u>135-339</u> 150	-	-	
	<u>120-284</u> 188	-	-	
	<u>144-180</u> 150	-	-	

приобретающие характер закономерности, и, следовательно, логично обоснован выбор классификационных критериев, предполагающей использование их в качестве основы технологической классификации облицовочного камня Карело-Кольского региона. Анализируя наиболее обоснованную технологическую классификацию ВНИИАлмаз и ВНИПИИСтромсырье [6, 7], нетрудно заметить, что используемые в качестве классифицирующих показателей интегральная (комплексная) твердость и коэффициент абразивности не всегда несут универсальную, объективную информацию несмотря на то, что они основаны на использовании одних и тех же исходных показателей свойств (интегральной микротвердости и твердости по штампу). Это наиболее ощутимо в технологической диагностике облицовочного камня для относительно узких генетических рядов. Предлагая в качестве основного классификационного критерия минералогический критерий обрабатываемости M_k , предполагающий уточнение и расширение диапазона признаков и более точный уровень диагностики, прежде всего исходили из того, что, имея в основе физическую сущность взаимного абразивного воздействия камнеобрабатывающего инструмента и породы, этот показатель объединяет по существу свойства твердости, плотности, минерального состава и структурно-текстурных особенностей пород, а также обнаруживает более гибкий характер оценки обрабатываемости облицовочного камня и предполагает возможность определения наиболее технологичных видов природно-каменного облицовочного сырья. В настоящей статье не ставилась задача описать собственно технологическую классификацию. Здесь представляется лишь классификационное положение изученных видов облицовочного камня Кольского полуострова.

С целью более полной оценки обрабатываемости горных пород и определения категории их абразивности в процессе исследований был использован коэффициент абразивности [6, 7] в качестве дополняющего и уточняющего классификационного критерия, который в дальнейшем предполагает апробацию на уровне непосредственного определения абразивности горных пород. Агрегатную (средне-взвешенную) микротвердость, агрегатную твердость (твердость по штампу) и интегральную (комплексную) твердость, по-видимому, следует использовать в качестве признаков. В результате положение исследованных видов облицовочного камня в классификации определилось принадлежностью к 5-8-й категориям обрабатываемости или группе II (среднеобрабатываемым породам) и к 3^а, 4, 5-й категориям абразивности или преимущественно подгруппам „б“ и „в“ (средне- и малоабразивным).

Надо полагать, что основы технологической классификации облицовочного камня Кольского полуострова могут быть использованы для создания научных основ развития камнеобрабатывающей промышленности в Мурманской области. Одновременно это не исключает возможности перспективного районирования Кольского полуострова с определением более конкретного, целевого направления изучения минерально-сырьевой базы созданной камнедобывающей промышленности. Методическая обоснованность разработки классификации

представляет существенный интерес для оптимизации режимов основных технологических операций по производству облицовочных изделий из природного камня Карело-Кольского региона.

Л и т е р а т у р а

- Б и б и к о в Б.И. и др. Технологические свойства гранитоидов Кольского полуострова и Карелии как облицовочного камня. - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального и техногенного сырья Кольского полуострова. Л.: Наука, 1979, с. 65-71.
- Б и б и к о в Б.И. и др. Минералогический критерий оценки облицовочного камня и технологические параметры обрабатываемости габброидов месторождения Мончетундра. - В кн.: Строительные и технические материалы из минерального сырья и отходов промышленности. Л.: Наука, 1980, с. 45-53.
- С е р г е е в Е.М. и др. Грунтоведение. М.: МГУ, 1971.
- Д и р У.А., Х а у и Р.А., З у с м а н Дж. Пороодообразующие минералы. Т. 1-5. М.: Мир, 1965-1966.
- Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. М.: Недра, 1975.
- Эксплуатация алмазных штрипсовых пил при распиловке блоков природного камня (инструкция). ВНИИАлмаз. М.: НИИМаш, 1978.
- Эксплуатация алмазных отрезных сегментных кругов при обработке природного камня (инструкция). ВНИИАлмаз. М.: НИИМаш, 1978.

И. С ы ч е в

ВОПРОСУ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД СЕВЕРО-ЗАПАДА

Разнообразные по своему минеральному и химическому составу, также по физико-механическим свойствам карбонатные породы Карело-Кольского региона относятся главным образом к протерозойским осадочно-метаморфическим образованиям и представлены в основном полностью метаморфизованными доломитами и доломитизированными известняками (значительно реже - мраморами). большей частью окварцованными и сильно скарнированными; многие из этих пород содержат до 50% скарновых минералов: кварца, тремолита, актинолита, диопсида, полевых шпатов и т.д. [1].

Высокие декоративные качества карбонатных пород рассматриваемого региона (для отдельных разновидностей уровень декоративности достигает 35-38 баллов), ограниченное число карбонатных месторождений облицовочного камня и значительная потребность в этом сырье камнеобрабатывающих предприятий Северо-Запада (в г. Кондопоге, Ленинграде, Мончегорске) делают весьма актуальной задачу научно обоснованной оценки обрабатываемости карбонатных пород.

Анализ основных месторождений облицовочного камня карбонатных пород Карело-Кольского региона (Белая гора, Пирттиярви, Рускеала II и др.) позволил выявить некоторые общие технологические особенности этих пород, непосредственно влияющие на их обрабатываемость: 1) высокое содержание кварца и прочих твердых минералов с микротвердостью свыше 5000 МПа (средневзвешенное содержание SiO_2 для доломитовых мраморов Белая гора составляет 18.2%, для мраморов Рускеала II - 7.4%); 2) повышенная трещиноватость как естественного происхождения, так и техногенная, приводящая к снижению механической прочности камня.

Оба приведенных фактора существенно влияют на технологическую обрабатываемость карбонатных пород при производстве облицовочных материалов и изделий: первый затрудняет обработку, особенно распиловку, даже при использовании высокоэффективного алмазного инструмента, второй - обуславливает снижение пооперационного выхода материалов, что в конечном счете также ведет к увеличению трудоемкости обработки единицы продукции.

При оценке обрабатываемости карбонатных пород Карело-Кольского региона были использованы основные методические положения технологической классификации кварцсодержащих мраморов, разработанные в лаборатории декоративного камня института ВНИПИИСтромсырье [2]. В результате установлено, что в отличие от изверженных пород, для которых выявлены определенные математико-статистические закономерности распределения минералов [3, 4], распределение кварца и других скарновых минералов в карбонатных породах не подчиняется законам математической статистики.

Исследования и технологические испытания показали, что основным фактором, влияющим на трудоемкость обработки упомянутых пород, является не их механическая прочность, а наличие включений твердых минералов. Для количественной оценки степени влияния числа и размеров этих включений на трудоемкость обработки введено понятие комплексного показателя влияния включений (U_B), определяемого из выражения:

$$U_B = H_C \eta_B, \quad (1)$$

где H_C - агрегатная микротвердость породы, МПа; η_B - коэффициент, характеризующий долю твердых включений с размером 5 мм и более в общем количестве твердых включений в данной породе.

Агрегатная микротвердость представляет собой средневзвешенную микротвердость минералов, составляющих породу, т.е.

$$H_C = \frac{n_1 h_1 + n_2 h_2 + \dots + n_i h_i}{100}, \quad (2)$$

где h_1, h_2, \dots, h_i - микротвердости отдельных минералов, входящих в состав породы, МПа; n_1, n_2, \dots, n_i - содержание этих минералов в породе, %.

Наличие в выражении для U_B параметра агрегатной микротвердости H_C достаточно полно отражает механизм процесса разру-

шения породы при алмазной обработке камня: как известно, микротвердости минералов h_i в соответствии со стандартной методикой определяются на приборе МПТ-3 по отпечатку алмазной пирамидки, навливаемой в породу при заданной нагрузке; процесс же механической обработки карбонатных пород (резание, шлифование) представляет собой результат массового воздействия на породу единичных алмазных зерен, которые при определенной нагрузке внедряются в камень, процарапывая микроборозды на обрабатываемой поверхности.

Однако показатель H_C еще недостаточен для полной характеристики технологического критерия U_B . Практический опыт свидетельствует о том, что если твердые минералы присутствуют в породе в виде тонкодиспергированных частичек, более или менее равномерно распределенных, то это в принципе не затрудняет течение процесса обработки камня. Проявление же кварца и других твердых минералов в виде включений (линзы, «цепочки», прослойки и т.п.) начинает играть при встрече с рабочим инструментом роль армозащитного фактора, препятствуя проникновению режущего инструмента в камень.

Лабораторные исследования и производственные наблюдения показали, что на операциях алмазного резания ощутимое влияние на производительность обработки оказывают включения минералов с микротвердостью свыше 5000 МПа, имеющих размер (по максимальной стороне) 5 мм и выше. По-видимому, это связано с тем, что при указанных размерах включение может полностью перекрыть рабочее сечение инструмента (штрипса, отрезного круга). Таким образом, показатель η_B в выражении (1) должен характеризовать долю включений твердых минералов с максимальным размером 5 мм и более в общем количестве включений в карбонатной породе. Этот параметр определяется по формуле:

$$\eta_B = 1 + \frac{m}{100}, \quad (3)$$

где m - процентное содержание включений твердых минералов с размерами 5 мм и более в общем количестве твердых включений в данной породе, %.

Для расчета показателя U_B приняты следующие исходные данные: 1) минералогический состав отдельных видов карбонатных пород Карело-Кольского региона; 2) средняя микротвердость отдельных породообразующих минералов [2, 5] (МПа): кальция - 1500, кварца - 13000, гематита - 10000, эпидолита - 6500, апатита - 3000, актинолита - 7000, хлорита - 500, биотита - 1000, графита - 100, граната - 12500, турмалина - 11500, эгирина - 8000, ортоклаза - 8000, сфена - 6700, эвдиалита - 6000.

Полученные для различных видов карбонатных пород значения U_B соответствующей ему величины технологических параметров распиловки приведены в табл. 1.

Коэффициент относительной обрабатываемости карбонатных пород (K_0), приведенный в табл. 1, рассчитан для случая алмазноштрип-

совой распиловки блоков на современных рамных станках (СМР-08, Диага-40, Ралидор, ДМ-75, ДМС-500 и т.д.):

$$k_0 = \frac{(v_n)_i}{(v_n)_k}, \quad (4)$$

где $(v_n)_i$ - скорость рабочей подачи на рамном станке при распиловке блоков рассматриваемой породы, мм/час.; $(v_n)_k$ - скорость рабочей подачи при распиловке блоков эталонного материала (коелгинского белого мрамора), мм/час.

Математико-статистический анализ показывает, что параметр K_0 для карбонатных пород Карело-Кольского региона находится в линейной зависимости от комплексного показателя

$$K_0 = 1.221 - 0.000147 U_B. \quad (5)$$

Используя вышеприведенные результаты исследований, в ближайшем будущем можно осуществить разработку технологической классификации карбонатных пород Карело-Кольского региона для оценки трудоемкости основных операций обработки камня при техническом нормировании трудозатрат (классификационными критериями могут служить параметр U_B и зависящий от него показатель K_0).

Другим важным фактором, существенно влияющим на трудоемкость обработки карбонатных пород, является трещиноватость, обуславливающая снижение пооперационного выхода полуфабрикатов и продукции. Удельная трещиноватость карбонатных пород большинства месторождений облицовочного камня Карело-Кольского региона лежит в пределах 1.2-2.0 пог.м/м², в результате чего выход продукции из 1 м³ блоков сравнительно невысок и составляет, например, для рускеальского мрамора 11-14 м²/м³, для доломитового белогорского мрамора - 7-10 м²/м³ и для доломитового мрамора месторождения Ершов Кряж - 8-11 м²/м³ (при толщине плит 20-30 мм). Распределение потерь по видам для указанных пород приведено в табл. 2.

Как видно из табл. 2, потери карбонатного сырья при обработке пород весьма высоки и в сумме составляют от 70 до 78,8% от общего объема перерабатываемых блоков. Невысокий выход продукции при обработке камня косвенно повышает трудоемкость его обработки. К примеру, мрамор месторождения Рускеала-П имеет коэффициент относительной обрабатываемости 0.73, т.е. обрабатывается примерно в 1.4 раза труднее, чем эталонный коелгинский мрамор. Однако, учитывая, что фактический выход плит коелгинского мрамора из 1 м³ блоков составляет 24 м²/м³, что в 2 раза выше выхода рускеальского мрамора (12 м²/м³), затраты труда на обработку 1 м² этого мрамора будут превышать соответствующий показатель для коелгинского мрамора в 1.4 * 2 = 2.8 раза. Это обстоятельство необходимо учитывать при проведении технологической классификации карбонатных пород для технического нормирования трудозатрат на их обработку.

Анализ обрабатываемости карбонатных пород Карело-Кольского региона позволяет сделать несколько важных практических выводов:

Т а б л и ц а 1

Обрабатываемость карбонатных пород Карело-Кольского региона

Наименование породы, месторождения	Параметры				
	физико-механические			технологические	
	агрегатная микротвердость H_c , МПа	коэффициент включения γ_B	комплексный показатель влияния включения U_B	скорость рабочей подачи U_n , мм/час	коэффициент относительной обрабатываемости k_0
доломитовый мрамор, белая гора	3900	1.52	5900	60-80	0.35
то же, Ершов Кряж	3000	1.31	3900	100-140	0.60
мрамор, Рускеала-П	23500	1.28	3000	130-160	0.73
доломит, Рттиярви	1850	1.12	2100	160-180	0.85

Т а б л и ц а 2

Распределение потерь сырья при обработке карбонатных пород (в % по объему)

Наименование породы, месторождения	Удельный выход плит толщиной 20-30 мм, м ² /м ³		Основные потери, %					
			теоретический	практический	суммарные	на пропилы	на недопил и корки при распиловке	на окол
	теоретический	практический						
доломитовый мрамор, белая гора	40	8.5	78.8	22.2	28.0	14.6	10.0	4.0
то же, Ершов Кряж	40	10.0	75.0	22.2	25.1	13.7	11.0	3.0
мрамор, Рускеала-П	40	12.0	70.0	22.2	18.4	15.8	10.6	3.0

1. Решающими факторами, существенно влияющими на трудоемкость обработки карбонатных пород, являются наличие твердых включений и повышенная трещиноватость. Их необходимо учитывать при разработке технологической классификации для нормирования трудозатрат на обработку горных пород. При этом в качестве классификационного критерия рекомендуется пользоваться комплексным показателем влияния включений U_B либо зависящим от него коэффициентом относительной обрабатываемости K_0 .

2. С увеличением скорости резания степень влияния твердых включений на трудоемкость процесса обработки карбонатных пород снижается. Так, например, если при алмазно-штрипсовой распиловке белогорского доломитового мрамора коэффициент относительной обрабатываемости составляет 0.35 (см. табл.1), то при алмазно-дисковом резании этот же показатель равен 0.55. Отсюда следует практическая рекомендация о целесообразности использования для распиловки блоков карбонатных пород Карело-Кольского региона ортогональных алмазно-дисковых станков; такое оборудование можно устанавливать непосредственно на месторождениях (в прикарьерных цехах), откуда получаемый полуфабрикат в виде пиленых плит-полос следует перевозить на камнеобрабатывающие предприятия для последующей обработки.

3. Учитывая невысокий выход продукции и значительное количество потерь, образующихся при обработке карбонатных пород Карело-Кольского региона, с целью снижения материалоемкости при производстве облицовочных материалов представляется необходимым осуществлять утилизацию отходов по следующим основным направлениям: производство декоративных плит из плоского и объемного скола (мозаичных, брекчиевидных, орнаментных клееных и т.п.); организация выпуска облицовочных плит на основе шламов (газосиликатных, на магнезиальном, цементном либо полимерном связующем).

Л и т е р а т у р а

1. Борисов П.А. Каменные строительные материалы Карелии. Петрозаводск, 1963.
2. Сычев Ю.И., Селуянов В.Н. О технологии классификации кварцсодержащих мраморов. - В сб.: Тр. ВНИИ Железобетон. Вып.22. Нерудные строительные материалы. М.: Стройиздат, 1978.
3. Родионов Д.А. К вопросу о функциях распределения содержания элементов в изверженных горных породах. ДАН СССР, 1961, т.141, № 3, с.719-722.
4. Макарян Л.М. Некоторые вопросы статистической оценки распределения минералов в горных породах для выявления их абразивных свойств. - В сб. научных работ аспирантов и соискателей НИИКС. Ереван, 1967.
5. Лебедева А.Н. Микротвердость минералов. М.: АН СССР, 1946.

О Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие.....	3
1. А.В. Рылеев. Перспективы развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности Карельской АССР.....	4
2. А.Ф. Туркин, О.Н. Крашенинников. Сырьевая база облицовочного камня Кольского полуострова.....	14
3. И.А. Савостин. Перспективы промышленного освоения месторождений облицовочного камня Карело-Кольского региона	20
4. А.Н. Виноградов. Граниты северо-западной части Кольского полуострова - перспективное сырье для получения блочных облицовочных материалов.....	30
5. И.С. Бартенев, М.К. Радченко. Перспективная оценка массива базит-гипербазитов Федоровых тундр на подолочный и облицовочный камень.....	34
6. Н.Н. Веселовский. Перспективы использования ультрабазитов Карело-Кольского региона в качестве облицовочных и подолочных материалов.....	39
7. А.А. Николаев. Высокодекоративные гранит-порфиры Тироярви (Северная Карелия).....	45
8. Г.В. Алексеев. Методика предварительной оценки регионов и массивов горных пород Кольского полуострова на блочный облицовочный камень.....	48
9. В.Г. Пудовкин. Зона современного выветривания на некоторых месторождениях облицовочного камня Карелии.....	60
10. А.С. Ткачев. Возможности ультразвуковых методов в определении дефектности горных пород	67
11. В.Н. Бакулин. К методике изучения физических свойств горных пород.....	75
12. Ю.И. Сычев, Г.П. Глазова. Методика оценки декоративности облицовочного камня.....	80
13. В.В. Лашук, Т.Т. Усачева, Л.Н. Чернова. Изменение декоративных свойств облицовочного камня Кольского полуострова под воздействием внешней среды.....	97
14. Б.А. Брянцев, А.Д. Журбенко. Абразивный инструмент на керамической связке для обработки природного камня.....	108
15. Б.И. Бибииков. Обрабатываемость и основы технологической классификации облицовочного камня Кольского полуострова	114
16. Ю.И. Сычев. К вопросу обрабатываемости карбонатных пород Северо-Запада.....	125

УДК 553.5:691.2

Перспективы развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности Карельской АССР. Рылеев А.В. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 4-13.

В статье рассматривается современное состояние минерально-сырьевой базы камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности Карельской АССР, перспективы ее расширения, наиболее рациональное размещение новых предприятий по добыче и обработке камня и возможность полной утилизации горной массы, добываемой в карьерах блочного камня. Библи. — 4 назв., табл. — 1.

УДК 553.5+691.21

Сырьевая база облицовочного камня Кольского полуострова. Туржин А.К., Крашенинников О.Н. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 14-20.

Приведены результаты исследований облицовочного камня ряда основных месторождений Кольского полуострова. Показано, что Кольский регион обладает большим разнообразием горных пород, в том числе уникальных, пригодных для производства высококачественных облицовочных материалов, что создает основу для развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности. Библи. — 8 назв., ил. — 1.

УДК 553.521

Перспективы промышленного освоения месторождений облицовочного камня Карело-Кольского региона. Савостин И.А. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 20-29.

Рассматриваются основные направления промышленного освоения месторождений облицовочного камня на Северо-Западе РСФСР. Приводятся данные о рациональном размещении камнедобывающих и обрабатывающих предприятий в исследуемом регионе. Отмечается целесообразность комплексного подхода при освоении месторождений камня. Табл. — 2.

УДК 553.52+691.21

Граниты северо-западной части Кольского полуострова — перспективное сырье для получения блочных облицовочных материалов. Виноградов А.Н. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 30-34.

В северо-западной части Кольского полуострова термодинамические и тектонические обстановки, благоприятные для образования крупноблочных гранитов, возникали в период становления четырех гранитоидных формаций: верхнеархейских анатектит-гранитов и палингено-метасоматических гранитов стабильных зон, раннепротерозойский кремниво-кальцевых метасоматитов и гранодиорит-гранитов. С учетом состава, декоративности и блочности

од, а также наличия транспортных путей выделено 6 участков, наиболее перспективных для получения облицовочных материалов из поргубольских, губольских, пещоранских, кирикованских и сайдагубских гранитов. Библи. — 4 назв., табл. — 1.

УДК 553.521 (470.21)

Перспективная оценка массива базит-гипербазитов Федоровых тундр на подельный и облицовочный камень. Бартеенев И.С., Радченков М.К. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 34-39.

Приводятся сведения о географическом положении, геологии, структуре, текстуре, петрографическом составе и трещиноватости пород Федоровотундровского массива базит-гипербазитов. На основании ряда благоприятных признаков, главными из которых являются: хорошая обнаженность, незначительная мощность четвертичных отложений, слабая изменчивость пород, хорошая проницаемость и др., в число перспективных площадей для проведения специальных оценок работ на облицовочный и поделочный камень выделен структурный блок Б. Ихтегипаха, сложенный крупно- и среднезернистыми габброидными светло-зеленого цвета пятнистой и полосчатой текстуры. Библи. — 3 назв., ил. — 1.

УДК 553.5+552.3 (470.21+470.22)

Перспективы использования ультрабазитов Карело-Кольского региона в качестве облицовочных и поделочных материалов. Веселовский Н.Н. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 39-45.

Показано распространение ультраосновных пород различных формационных типов на территории Карелии и Кольского п-ва. С учетом размеров массивов, особенностей их строения, степени геологической изученности, географо-экономического положения, комплексности и других факторов выделены объекты для проведения специализированных работ с целью выявления облицовочных и поделочных материалов. Библи. — 22 назв.

УДК 553.521:591.2

Высокодекоративные гранит-порфиры Тироуры (Северная Карелия). Николасов О.А., Виноградов А.Н. — В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 45-48.

Представлены данные о новом виде облицовочного камня. Для рассматриваемых гранит-порфиров характерны высокие декоративные качества, обусловленные сочетанием красноватой окраски основной массы с крупными вкраплениями светлого полевого шпата и опаловидного кварца. По геологическим данным породы комплекса порфиридных гранитов довольно широко развиты в Северной Карелии. В связи с этим ставится вопрос о проведении поисково-оценочных работ. Библи. — 4 назв., табл. — 2.

УДК 553.5+691.21 (470.21)

Методика предварительной оценки регионов и массивов горных пород Кольского полуострова на блочный облицовочный камень. Алексеев Г.В. В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 48-60.

Рассматриваются методические вопросы предварительной оценки перспективности регионов и массивов на блочный облицовочный камень. Выделяются этапы оценочных работ, указываются основные методические приемы для каждого из них. Как пример рассматриваются оценочные работы по основным и карбонатным породам в Печенгском районе. Библ. - 27 назв., ил. - 1, табл. - 2.

УДК 553.58+551.31.22

Зона современного выветривания на некоторых месторождениях облицовочного камня Карелии. Пудовкин В.Г. - В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 60-67.

Изучение физико-механических свойств и химического состава гранитов и габбро-диабазов, проведенное по керну скважин, показывает, что на месторождениях облицовочного камня Карелии имеется зона затронутых выветриванием пород мощностью от 0.3-0.5 м. Эти породы внешне не отличаются от свежих пород, однако, они будут иметь меньшую долговечность. Выход плит из блоков, полученных из зоны выветривания, на 5-17% меньше, чем из пород, не затронутых выветриванием. Библ. - 24 назв., ил. - 1, табл. - 1.

УДК 553.004.12

Возможности ультразвуковых методов в определении дефектности горных пород. Ткачева А.С. - В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 67-75.

Приведены результаты исследований упругих свойств горных пород, проведенные с целью выяснения возможности определения дефектности горных пород ультразвуковыми методами. Рассмотрены некоторые вопросы распространения упругих волн в горных породах с позиции теории упругости микро- и макродефектности сред. Показана необходимость комплексирования акустических методов с другими, позволяющими оценивать микро- и макродефектность минералов. Библ. - 9 назв., ил. - 2, табл. - 1.

УДК 553.5+691.21

К методике изучения физических свойств горных пород. Бакulin В.Н. В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 75-80.

Показано, что коэффициент Пуассона и упругие характеристики горных пород являются в основном функцией скорости распространения поляризованной поперечной волны, причем v_s в исследуемых горных породах зависит от поляризации вектора смещения S волны в данном направлении (по одному и тому же пути). Измерения v_s при этом необходимо производить по

«введенному» направлению, по которому в исследуемой среде распространяется чистопоперечная волна. Библ. - 6 назв. ил. - 1, табл. - 1.

553.521

Методика оценки декоративности облицовочного камня. Сычев Ю.И., Азова Г.П. - В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 80-97.

Рассматриваются основные положения методики оценки декоративности облицовочного камня. Декоративность в этом случае рассматривается как сложная совокупность художественно-эстетических свойств его поверхности, варьирующая в зависимости от вида обработки. Библ. - 4 назв., ил. - 1, табл. - 11.

691.2:66.018 (98K)

Изменение декоративных свойств облицовочного камня Кольского полуострова под воздействием внешней среды. Лашук В.В., Усачева Т.Т., Ернова Л.Н. - В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 97-108.

Приводятся результаты исследования сохранности декоративных свойств некоторых облицовочных камней Кольского полуострова и Карелии под воздействием атмосферных агентов промышленно развитого города (г. Мончегорск), раствором серной кислоты. Делается попытка сравнительного анализа выветривания камня в естественных и лабораторных условиях. Показано, что результаты, близкие к полученным при натурных испытаниях, за относительно короткий промежуток времени можно получить методом испытания полированных образцов воздействием дистиллированной воды в аппарате Сокслета. Библ. - 14 назв., табл. - 6.

621.992:666.3/7:691.3:679.8

Развивный инструмент на керамической связке для обработки природного камня. Брянецев Б.А., Журбенко А.Д. - В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 108-114.

Приведены результаты исследований по разработке керамической связки для развивного инструмента из карбида кремния для фактурной обработки природного камня. Установлено, что на начальных операциях обработки камня инструмент на керамической связке имеет удельную производительность на порядок выше, чем инструмент на магнезиальной связке, применяемой в настоящее время. Библ. - 6 назв., табл. - 3.

553.5+691.21 (470.21)

Обрабатываемость и основы технологической классификации облицовочного камня Кольского полуострова. Бибииков В.И. - В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 114-125.

Предложен новый метод оценки обрабатываемости облицовочного камня на основе минералогического критерия (M_n), имеющего в основе показатели твердости, плотности, минерального состава и структурно-тектонические особенности. Этот критерий учитывает соотношение минеральных групп различной твердости и плотности. Исследованы параметры обрабатываемости основных видов облицовочного камня Кольского полуострова, установлен характер связи с минеральным составом, физическими и технологическими свойствами пород. Определены основы технологической классификации облицовочного камня. Библ. - 7 назв., табл. - 3, ил. - 1.

УДК 553.521

К вопросу обрабатываемости карбонатных пород Северо-Запада. С ы ч е в Ю.И.
В кн.: Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, с. 125-130.

На основании анализа обрабатываемости карбонатных пород Карело-Кольского региона делаются выводы о том, что решающими факторами, влияющими на трудоемкость обработки карбонатных пород, являются наличие твердых включений и трещиноватость. В качестве оценочного критерия рекомендуется использовать комплексный показатель влияния включений (U_B) или коэффициент относительной обрабатываемости (k_0). Библ. - 5 назв., табл. - 2.

Т а б л и ц а 1

Состав, свойства и положение облицовочного камня Кольского полуострова в технологической классификации по обрабатываемости на рамных распиловочных станках

Породы, месторождения	Структурно-текстурные особенности	Минеральный состав, %		Микро-твердость минералов, ГПа	Агрегатная микро-твердость породы ГПа	Плотность породы, г/см ³	Прочность породы при сжатии, МПа	Агрегатная твердость Р, МГ/мм ²	Интегральная твердость J _{тв} , кг/мм ²	Коэффициент абразивности, С	Минералогический критерий обрабатываемости, М _к	Скорость распиловки породы			Положение в технологической классификации и характеристика обрабатываемости
		минералы	диапазон значения									тип станка	подача (опускание) рамы, мм/час	технологическая производительность, м ² /час	
Гранит, Сюсюянсаари	Мелкозернистый, гнейсовидная текстура	Кварц	30-40 35.5	10.62-15.14 13.69	10.56	2.63	253-265 260	479-532 515	745	2.24-2.02 2.09	0.56	1925*	11.98-23.10 17.6	0.38-0.96 0.65	Группа III, подгруппа „б“, (труднообрабатываемые средней абразивности)
		Полевой шпат	55-70 63.0	8.33-9.66 9.02								ЛВГ-1У	5.2-12.2 8.15	0.23-0.86 -	
		Биотит	1-3 1.5	0.90-1.20 1.10											
Гранит, Кашина гора	Среднезернистый, массивная, реже слабогнейсовидная текстура	Кварц	- 26.68	10.65-14.32 12.44	8.41	2.72	145-207 176	301-461 378	569	2.85-1.86 2.27	0.49	1925*	14.3-24.6 19.9	0.52-1.03 0.78	Группа II, подгруппа „б“, (среднеобрабатываемые, средней абразивности)
		Полевой шпат	- 54.87	7.57-10.01 8.71								„Адидже“	7.7-14.4 10.6	0.48-1.42 0.81	
		Биотит+серпентин	- 16.5	2.24-2.72 2.56											
Гранит, Кузреченское	Крупнозернистый, порфировидный, массивная или слабо трахитоидная текстура	Кварц	25-30 27.5	13.52-15.95 15.04	8.49	2.66-2.72 2.68	145-200 178	194.5-332.5 274	487	4.45-2.60 3.16	0.44	1925*	19.7-27.5 (до 45.0) 23.8	0.70-1.09 (до 1.84) 0.91	Группа II, подгруппа „в“, (среднеобрабатываемые, высокой абразивности)
		Полевой шпат	55-70 62.5	6.05-8.10 6.08								„Адидже“	21.2-35.0 27.5	1.69-2.79 2.17	
		Биотит	5-15 10.0	0.82-1.17 1.04								ЛВГ-1У	35.7-43.0 (до 60.0) 40.0	1.98-3.48 (до 4.21) 2.40	
Гранодиорит, Большое Сормозеро	Неравномерная, средне-крупнозернистая порфировидная структура, трахитоидная текстура	Кварц	20-30 25	8.89-12.89 11.41	7.79	2.63-2.70 2.67	162-285 210	234-601 361	535	3.39-1.32 2.20	0.42	1925*	23.7-43.8 (до 53.7) 32.3	0.72-1.33 (до 1.63) 0.93	Группа II, подгруппа „б“, (среднеобрабатываемые, средней абразивности)
		Полевой шпат	45-70 60	7.10-9.41 7.96											
		Биотит	10-20 15	0.89-1.16 1.05											
Диорит	Среднезернистый, массивная текстура	Полевой шпат (кальциевый, плагиоклазы)	65-85 72.3	8.33-10.65 9.35								1925*	16.2-23.8 19.7	0.30-0.44 0.36	Группа III, подгруппа „б“, (труднообрабатываемые, средней абразивности)
		Пироксены	7-17 12.3									„Адидже“	15.0-26.0 21.20	1.13-1.97 1.60	
		Амфиболы	1-15 5.1	7.03-9.66 8.36								ЛВГ-1У	15.7-33.3 29.0	0.90-2.82 1.70	
Шонгуй		Биотит	2-10 6.0		9.08	2.73-2.81 2.76	168-291 222.5	251-623 297.5	607	3.69-1.49 2.33	0.30				
		Второстепенные	1-10 4.3												
Луаврит трахитоидный, Алуайв	Среднезернистая порфировидная структура, отчетливая тонкотрахитоидная текстура	Нефелин неизменяемый	31.5-46.9 36(9.0)	6.29-7.67 6.79	6.84	2.49-2.84 2.71	148-272 232	202-558 426	545	3.45-1.25 1.64	0.20	1925*	20.0-35.0 27.0	0.68-1.19	Группа II, подгруппа „б, в“, (среднеобрабатываемые, средней и малой абразивности)
		Полевой шпат	29.4-53.2 38	6.92-10.28 8.73								ЛВГ-1У	25.0-45.0 31.9	1.49-2.67	
		Пироксены (эгирин)	8.9-24.0 20	7.01-7.97 7.42											
		Нефелин шпрудер-низированный	- 27%	3.50-4.15 3.91											
		Эвдиалит и др.	0.1-11.6 2.5	5.49-7.47 6.25											
Габбро, Мюччегундра	Средне-крупнозернистая структура, массивная, пятнистая текстура	Плагиоклазы (лабрадор)	57-84 70.5	7.32-10.18 9.00	8.96	2.82-2.96 2.87	173-282 227	262-590 410	612	3.49-1.55 2.23	0.25	1925*	10.0-23.3 15.2	0.19-0.82 0.44	Группа III, подгруппа „б“, (труднообрабатываемые, средней абразивности)
		Пироксены (гиперстен, диопсид-геденбергит или авгит)	6-35 20.5	7.65-10.62 8.73								ЛВГ-1У	8.75-35.0 18.50	0.43-1.03 0.62	
		Амфиболы (роговая обманка, актинолит)	8-13 9.9	8.52-10.67 9.20											
Хибинит, Аякуайвенчорр	Средне-крупнозернистая структура, массивная, слабо-трахитоидная текстура	Нефелин	30-40 35	7.57-8.89 8.08	8.21	2.62-2.68 2.65	172-250 211	258-483 363	551	2.14-1.14 1.50	0.15	ЛВГ-1У	12.50-20.00 14.36	0.62-0.99 0.71	Группа II, подгруппы „б“, (среднеобрабатываемые, средней и малой абразивности)
		Полевой шпат	45-55 51	7.97-9.22 8.46											
		Пироксены (эгирин)	10-15 12.5	7.03-8.33 7.86											
		Эвдиалит	1-3 1.5	7.45-6.15 5.35											