

О. В. Мясникова, В. А. Шеков*, Ф. Ф. Горбацевич**,
О. М. Тришина**, М. В. Ковалевский***

ВАРИАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНИТОИДОВ КАРЕЛИИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Горные породы, слагающие литосферу Земли, чрезвычайно разнообразны по своему строению, составу и свойствам, которые определяют область их практического применения.

Для оценки перспектив использования горных пород в качестве строительных материалов нами исследованы состав, структура, физические и механические свойства некоторых гранитоидов различных генетических типов Карелии, расположенных в пределах Свекофеннского подвижного пояса и Карельского геоблока. Тектоническое районирование исследуемого региона и используемые термины взяты из монографии (Светов и др., 1990).

Характеристика объектов исследования

Участки Репояки (РЕ-1) и Кяснесельгский (С-1) расположены в пределах Свекофеннского подвижного пояса, локализованы в границах Салминского массива (юго-западная Карелия) ранней верхнепротерозойской интрузии, вытянутой в северо-западном направлении (Свириденко, 1968).

Участок Репояки (РЕ-1) представлен порфировидными неравнозернистыми биотитовыми гранитами рапакиви с мелкозернистым основным матриксом от розовых до желто-розовых оттенков и соответствует IV интрузивной фазе Салминского массива (Свириденко, 1968). Характерной особенностью гранитов является отсутствие овоидов калиевого полевого шпата, проявление процессов катаклаза, выражающееся в дроблении и смещении табличек ортоклаза, и наличие в гранитах многочисленных миароловых пустот, выполненных кристаллами калиевого полевого шпата и мориона. Порфиновые выделения ортоклаза распределены в породе равномерно, нередко замещаются биотитом и альбитом. При этом процессы альбитизации наиболее характерны для гранитов рапакиви IV интрузивной фазы.

Участок Кяснесельгский (С-1) представлен крупноовоидными гранитами с крупнозернистой ос-

новной массой, темно-красного цвета, относящимися к I интрузивной фазе Салминского массива, – выборгитами (Свириденко, 1968). Характерной особенностью выборгитов является наличие олигоклазовой оболочки вокруг зерен ортоклаза, большей частью она сплошная, реже прерывистая от 1 мм до 5 мм. Порфиновые выделения представлены как овоидами, так и относительно правильными таблитчатыми зернами ортоклаза размером от 1,5 см до 2–4 см по длинной оси. Резкой границы между ортоклазовыми выделениями и основной массой не наблюдается, что объясняется извилистостью краев выделений и их глубоким проникновением между граничащими с ними идиоморфными зернами кварца.

В пределах Карельского геоблока были исследованы два участка: Кашина Гора (юго-восточная Карелия) и Кестеньгский (северная Карелия).

Участок Кашина Гора (КГ-1) сложен плагио-микроклиновыми гранитами – гнейсогранитами архейского возраста, представленными средне-, крупнозернистыми массивными породами от розово-серого до коричнево-серого цвета (Михайлов, Аминов, 2006). Для гранита характерно наличие порфиновых выделений таблитчатых зерен микроклина (от 0,5 до 6–8 мм, чаще 1–3 мм) на фоне гипидиоморфнозернистой основной массы, сложенной таблитчатыми зернами плагиоклаза (размер 2–3 мм) и неправильными, реже округлыми зернами кварца (размер 1–3 мм). В большинстве зерен микроклина наблюдается значительное количество мелких альбитовых вrostков, образующих участки с микропертитовой структурой.

Участок Кестеньгский (К-1) приурочен к массиву щелочных гранитов нижнепротерозойских интрузий, которые залегают в виде изометричных или вытянутых тел и представлены мигматизированными плагиомикроклиновыми гранитогнейсами светло-серого до красного цвета (Родионов, 1999). Характерной особенностью является чередование кварц-полевошпатовой породы с гранобластовой структурой с меланократовыми участками – полосами (скопления биотита, рудного минерала и эпидота), приуроченными к субпараллельным трещинам, вытянутым в направлении сланцеватости. Вдоль трещин наблюдается интенсивное ожелезнение.

* Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск.

** Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты.

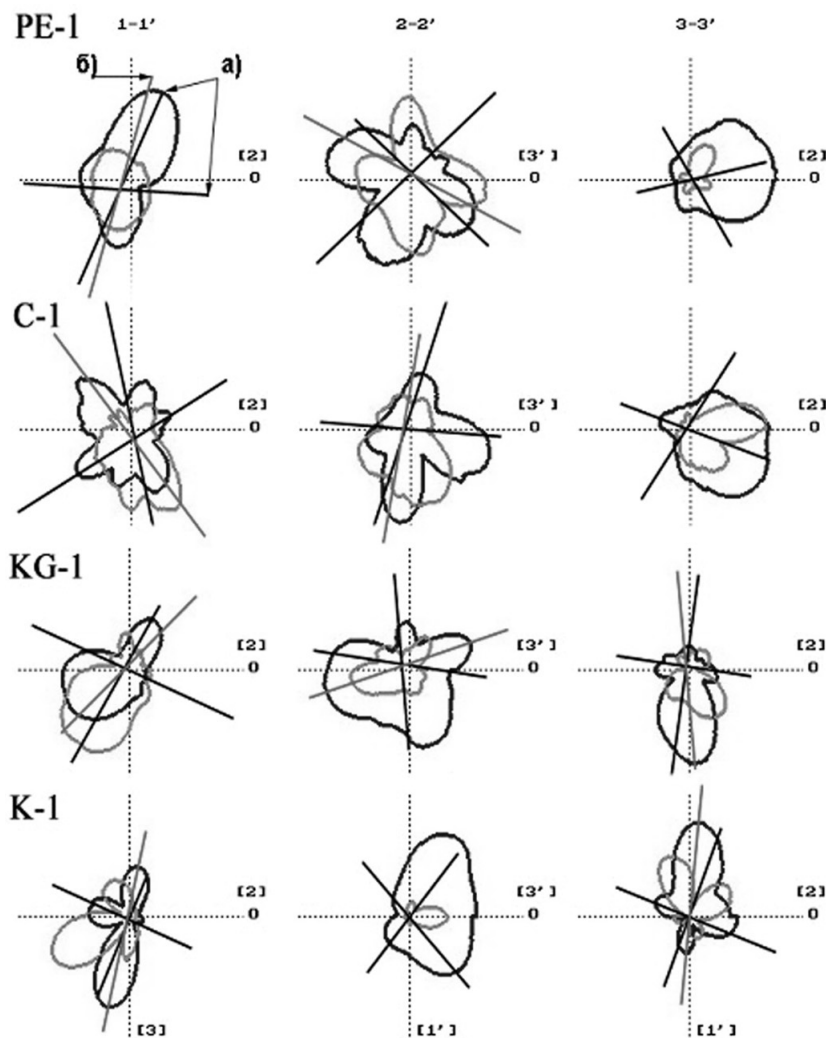
Методика исследования

На всех участках были отобраны представительские пробы и изучены физические и механические свойства, регламентирующие качество данных пород как облицовочного и строительного материала. На отдельных образцах различных генетических типов гранитоидов было изучено пространственное положение элементов упругой симметрии методом акустополяризации (Горбацевич, 2002) и определены упруго-анизотропные свойства пород. Образец помещался на поворотную платформу между излучателем и приемником чисто поперечных линейно-поляризованных колебаний. Измерения амплитуды проходящих колебаний проводили через 1° в пределах угла поворота 360° (Ковалевский, 2003). Согласно методике, на первом этапе измерения амплитуд проходящих колебаний выполняются при параллельных векторах поляризации излучателя и приемника (положение ВП). На втором

этапе векторы поляризации преобразователей устанавливаются под прямым углом (положение ВС) (Горбацевич, 2002). Результатом измерений являются акустополяриграммы ВП и ВС – круговые диаграммы изменения амплитуды огибающей импульса в пределах полного угла поворота поворотной платформы (рис.).

Степень эффекта линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП) определяли по акустополяриграмме, полученной при параллельных векторах поляризации (ВП). Эффект ЛААП позволяет определить направление наибольшего и наименьшего «пропускания» сдвиговых ультразвуковых колебаний, направление наибольшего прохождения света совпадает с ориентацией линейных элементов.

Практически на всех акустополяриграммах наблюдается несоответствие проекций элементов упругой симметрии с направлением, в котором отмечается наименьшее поглощение волны. Данное явление получило название эффекта углового несогласия.



Акустополяризационные диаграммы гранитоидов Карелии различных генетических типов:

PE-1 – граниты рапакиви IV интрузивной фазы; C-1 – граниты рапакиви I интрузивной фазы; KG-1 – плагиомикроклиновые граниты, гнейсограниты; K-1 – гранитогнейсы; а – проекции элементов упругой симметрии, б – направление наибольшего пропускания волн; темная линия – векторы параллельны, светлая – векторы скрещены

Пространственные элементы упругой симметрии (рисунок) переносятся на образец горной породы и на последующих этапах в соответствии с выявленными пространственными направлениями элементов упругой симметрии измеряются скорости распространения двух квазипоперечных (сдвиговых) и одной продольной волн на каждой грани образца. Результаты определений записываются в виде квазиматрицы скоростей (формула) и рассчитываются характеристики упругой анизотропии пород (Горбачевич, 2002):

$$\begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{pmatrix},$$

где V_{11} – скорость распространения продольных колебаний, измеренная в направлении 1-1' кубического образца; V_{22} – то же, в направлении 2-2'; V_{33} – то же, в направлении 3-3'; V_{12} – скорость распространения сдвиговых колебаний, измеренная в направлении 1-1' при ориентировке вектора поляризации излучателя в направлении 2-2'; V_{13} – то же, в направлении 1-1' при ориентировке вектора поляризации в направлении 3-3'. Аналогично обозначены V_{21} , V_{23} , V_{31} , V_{32} .

Механические и плотностные свойства гранитоидов определены согласно ГОСТ 30629. В таблице представлены физические и механические характеристики исследуемых генетических типов гранитоидов.

Результаты изучения

Анализ данных, представленных на рисунке и в таблице, позволяет оценить прочностные, коллекторские, упруго-анизотропные и технологические свойства гранитоидов различных генетических типов.

Наиболее прочными являются плагиомикроклиновые граниты, гнейсограниты участка Кашина Гора с относительно невысоким содержанием калиевого полевого шпата (микроклина) и незначительной степенью вторичных изменений. По данным акустополарископии, этот тип гранитоидов (KG-1) представляет собой слабоанизотропную среду, но с отчетливо выраженным эффектом ЛААП на грани 1 и 3. Это указывает на наличие ориентированной микротрещиноватости. Для плагиомикроклиновых гранитоидов участка Кестеньгский (K-1) невысокие показатели прочности и высокое значение K_p объясняется вторичными изменениями в полевых шпатах, наличием меланократовых участков (скопления биотита, рудного минерала и эпидота), приуроченных к субпараллельным трещинам, а также интенсивным ожелезнением трещин (процессы выветривания). Акустополарископия образца K-1 указывает на отчетливо выраженный эффект ЛААП на грани 1 и 3. Сравнительно небольшое значение коэффициента анизотропии позволяет отнести образец этой породы к слабоанизотропной разновидности. Водопоглощение, характеризующее наличие открытых дефектов в горной породе, для данных гранитоидов имеет более высокие показатели по сравнению с горными породами участка Кашина Гора. Невысокие прочностные свойства, высокое значение водопоглощения и сравнительно низкая величина средней и истинной плотности для крупноовоидных с крупнозернистой основной массой гранитов рапакиви – выборгитов участка Кяснесельгский (C-1), очевидно, связаны не только с крупнозернистостью и формой зерен основных породообразующих минералов, но и с составом и содержанием полевого шпата. Большое содержание калиевого полевого шпата – ортоклаза (от 52 до 67%),

Физические и механические характеристики гранитоидов Карелии различных генетических типов

Участок	Минеральный состав, %	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Показатель анизотропии		α°	ЛААП $D1, D2, D3$	Средняя скорость		Предел прочности при одноосном сжатии, МПа		$K_p, \%$
					$A_p, \%$	$B_s, \%$			$V_{pa},$ км/с	$V_{sa},$ км/с	в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
Репоямки, граниты рапакиви, IV инт. ф. (PE-1)	Ортоклаз – 57 Кварц – 25 Плагиоклаз – 8 Биотит – 6	<u>2,58–2,70</u> 2,65	<u>2,52–2,66</u> 2,58	<u>0,10–1,40</u> 0,40	3,36	1,5	9,8 15,0	0,43 0,09 0,08	3,80	2,48	<u>103–184</u> 163	<u>63–154</u> 122	25
Кяснесельгский, граниты рапакиви I, инт. ф. (C-1)	Ортоклаз – 58 Плагиоклаз – 25 Кварц – 10 Биотит – 3–6	2,68	<u>2,59–2,63</u> 2,61	<u>0,25–0,38</u> 0,35	17,8	28,8	26,3 9,0	0,10 0,06 0,16	5,38	2,18	<u>82–100</u> 89	<u>40–70</u> 51	43
Кашина Гора, Pl-Mic граниты, гнейсограниты (KG-1)	Плагиоклаз – 47 Кварц – 28 Микроклин – 22 Биотит – 5	<u>2,69–2,72</u> 2,71	<u>2,66–2,70</u> 2,69	<u>0,12–0,18</u> 0,15	3,5	15,3	17,8 25,2 13,1	0,62 0,13 0,28	3,95	2,60	<u>142–210</u> 177	<u>94–191</u> 143	19
Кестеньгский, гранито-гнейсы (K-1)	Плагиоклаз – 60 Кварц – 22 Микроклин – 10 Биотит – 3–4	<u>2,66–2,77</u> 2,71	<u>2,62–2,73</u> 2,67	<u>0,20–0,45</u> 0,29	5,0	7,4	12,8 16,0	0,43 0,24 0,18	4,78	2,58	<u>96–124</u> 106	<u>60–78</u> 68	34

Примечание. A_p, B_s – показатели анизотропии по продольным и поперечным УЗК; α – угол между проекциями элементов упругой симметрии и эффекта линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП); D – показатель степени проявления линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП); V_{pa} и V_{sa} – средние величины скорости распространения продольной и квазипоперечной волн; K_p – коэффициент снижения прочности при водонасыщении.

обладающего совершенной спайностью и способностью образовывать двойники, в которых двойниковый шов представляет ослабленную зону, создает условия для развития и накопления различных микродефектов. Акустополяриграммы выборгитов (С-1) свидетельствуют о наличии упругой анизотропии и наличии структурной неоднородности (рисунок). Величины коэффициента анизотропии и показателя анизотропии характеризуют этот образец как высокоанизотропный. На грани 2-2' наблюдается эффект деполаризации сдвиговых волн (ДСВ), сопровождаемый снижением скорости поперечных волн (таблица), что также может служить подтверждением наличия развитой микротрещиноватости в образце. Граниты рапакиви участка Репомяки (РЕ-1) обладают сравнительно высокими прочностными показателями и широким диапазоном водопоглощающих свойств по сравнению с породами других месторождений. Акустополяриграмма гранита РЕ-1 указывает на влияние структурных неоднородностей и направленной микротрещиноватости, проявленной на гранях 1 и 3. У образца РЕ-1 низкие значения средних скоростей продольных и поперечных волн и слабая упругая анизотропия (табл.).

Средняя плотность гранитоидов зависит от состава и содержания полевых шпатов и присутствия темноцветных минералов. Более плотными являются породы с большим содержанием натриево-кальциевых полевых шпатов в составе и присутствием темноцветных минералов.

Учитывая, что характеристикой микротрещиноватости изверженных горных пород может быть водопоглощение в изученных образцах, можно полагать, что невысокие значения параметров анизотропии, полученные для участка Репомяки (РЕ-1), вместе с высокими значениями водопоглощения могут являться свидетельством того, что ориентировка микротрещин в этих образцах скорее хаотичная (Мясникова, Шеков, 2008).

Образцы участка Кяснесельгский (С-1) обладают достаточно высокими значениями водопоглощения и явно выраженной анизотропией, что может свидетельствовать о том, что микротрещины в данной породе имеют упорядоченную ориентировку.

Выводы

Показатели прочности пород в сухом и в водонасыщенном состоянии являются одним из основных параметров, по которым оцениваются гранитоиды как строительный материал. Выявление заметной анизотропии по продольным и поперечным волнам у Кяснесельгских гранитов (С-1) и в меньшей мере у гранитов и гнейсогранитов Кашиной Горы (KG-1) позволяет предположить различную ориентировку микротрещин в этих породах по разным направлениям. Проявление эффекта линейной акустической анизотропии поглощения также может быть связано с наличием направлений ослабления прочности на микроуровне.

ЛИТЕРАТУРА

Горбачевич Ф. Ф. Акустополярископия порообразующих минералов и кристаллических пород. Апатиты, 2002. 140 с.

Ковалевский М. В. К вопросу о совершенствовании методики исследований упругих характеристик геоматериалов методом акустополярископии // Информ. материалы 12-й науч. конф.: Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Сыктывкар, 2003. С. 123–125.

Михайлов В. П., Аминов В. Н. Неметаллические полезные ископаемые: подземные воды и лечебные грязи // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Петрозаводск, 2006. С. 149–227.

Мясникова О. В., Шеков В. А. Некоторые аспекты оценки разрушения горных пород // Строительные материалы. 2008. № 7. С. 26–27.

Родионов В. С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист Q-36-XV, XVI. Объяснительная записка. СПб., 1999.

Светов А. П., Свириденко Л. П., Иващенко В. И. Вулкано-плутонизм свекокарелид Балтийского щита. Петрозаводск, 1990. 321 с.

Свириденко Л. П. Петрология Салминского массива гранитов рапакиви (в Карелии). Петрозаводск, 1968. 115 с.