

## **Физические и механические свойства гранитоидов различных генетических типов**

О. В. Мясникова<sup>1</sup>, Ф. Ф. Горбачевич<sup>2</sup>, В. А. Шеков<sup>1</sup>, О. М. Тришина<sup>2</sup>, М. В. Ковалевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск,

<sup>2</sup>Геологический институт Кольского НЦ РАН, Апатиты

Получено 31 марта 2010; опубликовано 5 июня 2010.

Статья посвящена изучению состава, строения, физических и механических свойств некоторых гранитоидов различных генетических типов Карелии, расположенных в пределах Свекофенского подвижного пояса и Карельского геоблока, и перспектив их использования в качестве строительного материала.

Установлена зависимость средней плотности гранитоидов 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.

Показано, что наряду с минеральным составом, размером и формой зерен основных породообразующих минералов, одним из важных факторов, влияющих на прочность гранитоидов и определяющих пути их практического использования, является микронарушенность горной породы. Учитывая, что характеристикой микротрещиноватости изверженных горных пород может быть водопоглощение в изученных образцах, можно полагать, что невысокие значения параметров анизотропии, полученные для гранитов рапакиви IV интрузивной фазы Салминского массива вместе с высокими значениями водопоглощения, могут являться свидетельством того, что ориентировка микротрещин в этих образцах скорее хаотичная; Образцы гранита рапакиви I интрузивной фазы Салминского массива - выборгиты обладают достаточно высокими значениями водопоглощения и явно выраженной анизотропией, что может свидетельствовать о том, что микротрещины в данной породе имеют упорядоченную ориентировку.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* гранитоиды

**Ссылка:** Мясникова О. В., Ф. Ф. Горбачевич, В. А. Шеков, О. М. Тришина, М. В. Ковалевский (2010), Физические и механические свойства гранитоидов различных генетических типов, *Вестник ОНЗ РАН*, 2, NZ6024, doi:10.2205/2010NZ000042, 2010

Горные породы, слагающие литосферу Земли, чрезвычайно разнообразны по своему строению, составу и свойствам, которые предопределяют 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 Свекофенского подвижного пояса и Карельского геоблока. Тектоническое районирование исследуемого региона и используемые термины взяты из монографии [Светов и др., 1990].

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

Участок Репоямки (РЕ-1) представлен порфировидными неравномернозернистыми биотитовыми гранитами рапакиви с мелкозернистым основным матриксом от розовых до желто-розовых оттенков и соответствует IV интрузивной фазе [Свириденко, 1968] Салминского массива. 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 представлен крупноовоидными гранитами с крупнозернистой основной массой, темно-красного цвета, относящимися к I интрузивной фазе [Свириденко, 1968] Салминского массива – выборгитами. 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 длине 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 Кестенгский (северная Карелия).

Участок Кашина Гора сложен плагиомикроклиновыми гранитами – гнейсогранитами архейского возраста [Михайлов и Аминов, 2006], представленными средне-, крупнозернистыми массивными породами от розово-серого до коричнево-серого цвета. Для гранита характерно наличие порфирированных 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 м). В большинстве зерен микроклина наблюдается большое количество мелких альбитовых вростков, образующих участки с микропертитовой структурой. Участок Кестенгский приурочен к массиву щелочных гранитов нижнепротерозойских интрузий [Родионов, 1999], которые залегают в виде изометричных или вытянутых тел и представлены мигматизированными плагиомикроклиновыми гранитогнейсами светло-серого до красного цвета. Характерной особенностью является чередование кварц-полевошпатовой породы с гранобластовой структурой с меланократовыми участками – полосами (скопления биотита, рудного минерала и эпидота), приуроченные к субпараллельным трещинам, вытянутым в направлении сланцеватости. Вдоль трещин наблюдается интенсивное ожелезнение.

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 акустополярископии [Горбацевич, 2002; Ковалевский, 2003] и определены упруго-анизатропные свойства пород. 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.1.

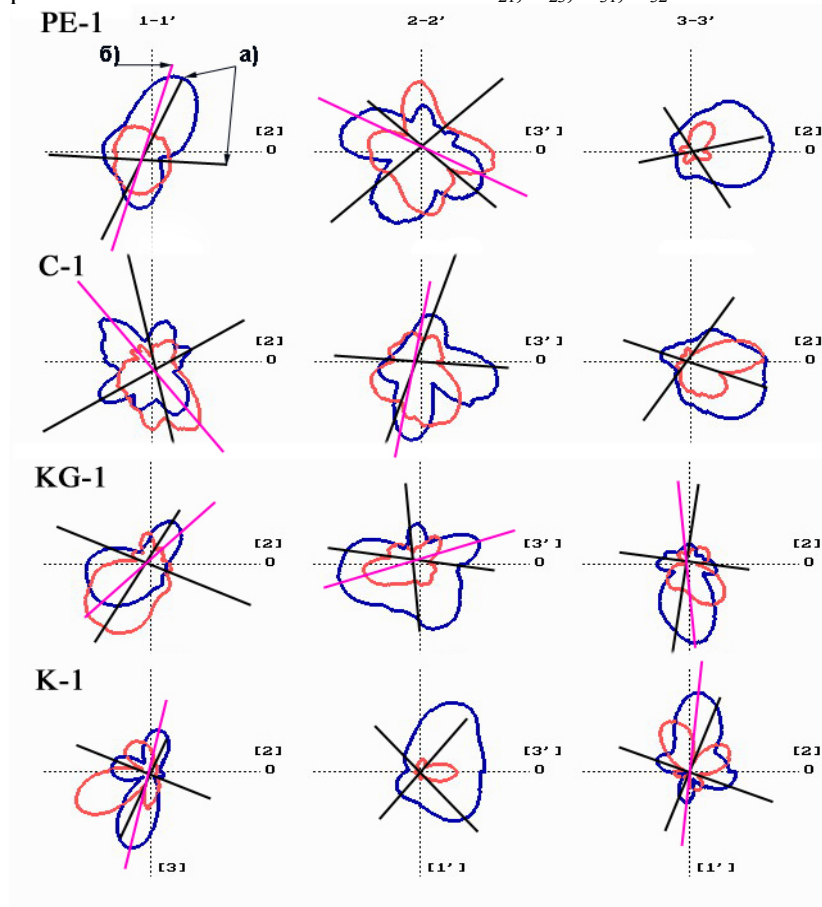
Степень эффекта линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП) определяли по акустополяриграмме, полученной при параллельных векторах поляризации (ВП). Эффект ЛААП позволяет определить направление наибольшего и наименьшего «пропускания» сдвиговых ультразвуковых колебаний, направление наибольшего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

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

Выявленные пространственные элементы упругой симметрии Рис.1 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 [Горбацевич, 2002] и рассчитываются характеристики упругой анизотропии пород:

$$\begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

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  $V_{21}$ ,  $V_{23}$ ,  $V_{31}$ ,  $V_{32}$ .



**Рис. 1** Акустополаризационные 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 – вектора параллельны, светлая – вектора скрещены.

Механические и плотностные свойства гранитоидов определены согласно ГОСТ 30629. В Таб. 1 представлены физические и механические характеристики исследуемых генетических типов гранитоидов.

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 данный 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 гранитогнейсов 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 коэффици-

МЯСНИКОВА И ДР.: ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНИТОИДОВ

Таблица 1. Физические и механические характеристики гранитоидов Карелии различных генетических типов

Участок	Минеральный состав, %	Истинная плотность г/см <sup>3</sup>	Средняя плотность г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Показатель анизотропии		$\alpha^\circ$	ЛААП $D_1, D_2, D_3$	Средняя скорость		Предел прочности при одноосном сжатии, МПа		$K_p, \%$
					$A_p, \%$	$B_s, \%$			$V_{раб},$ км/с	$V_{са},$ км/с	в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
Репомяки граниты рапакиви IV интр.ф. (PE-I)	Ортоклаз – 57	$\frac{2,58-2,70}{2,65}$	$\frac{2,52-2,66}{2,58}$	$\frac{0,10-1,40}{0,40}$	3,36	1,5	9,8	0,43	3,80	2,48	$\frac{103-184}{163}$	$\frac{63-154}{122}$	25
	Кварц – 25												
	Плагиоклаз – 8												
	Биотит – 6												
Кяньсельгский граниты рапакиви I интр.ф. (C-I)	Ортоклаз – 58	2,68	$\frac{2,59-2,63}{2,61}$	$\frac{0,25-0,38}{0,35}$	17,8	28,8	26,3	0,10	5,38	2,18	$\frac{82-100}{89}$	$\frac{40-70}{51}$	43
	Плагиоклаз – 25												
	Кварц – 10												
	Биотит – 3 - 6												
Кашина Гора Рf-Mic граниты, гнейсограниты (KG-I)	Плагиоклаз – 47	$\frac{2,69-2,72}{2,71}$	$\frac{2,66-2,70}{2,69}$	$\frac{0,12-0,18}{0,15}$	3,5	15,3	17,8	0,62	3,95	2,60	$\frac{142-210}{177}$	$\frac{94-191}{143}$	19
	Кварц – 28												
	Микроклин – 22												
	Биотит – 5												
Кестеньгский гранитоиды (K-I)	Плагиоклаз – 60	$\frac{2,66-2,77}{2,71}$	$\frac{2,62-2,73}{2,67}$	$\frac{0,20-0,45}{0,29}$	5,0	7,4	12,8	0,43	4,78	2,58	$\frac{96-124}{106}$	$\frac{60-78}{68}$	34
	Кварц – 22												
	Микроклин – 10												
	Биотит – 3 - 4												

Примечание:  $A_p, B_s$  – показатели анизотропии по продольным и поперечным УЗК;

$\alpha$  – угол между проекциями элементов упругой симметрии и эффекта линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП);

$D$  – показатель степени проявления линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП);

$V_{раб}$  и  $V_{са}$  – средние величины скорости распространения продольной и квазипоперечной волн;

$K_p$  – коэффициент снижения прочности при водонасыщении.

ента 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 (С-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%), обладающего совершенной спайностью и способностью образовывать двойники, в которых двойниковый шов представляет ослабленную зону, создает условия для развития и накопления различных микродефектов. Акустополариграммы выборгитов (С-1) свидетельствуют о наличии упругой анизотропии и наличии структурной неоднородности (см. Рис.1). На грани 2-2' наблюдается эффект деполяризации сдвиговых волн (ДСВ), сопровождаемый снижением скорости поперечных волн, что также может служить подтверждением наличия развитой микротрещиноватости в образце.

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 [Мясникова и Шеков, 2008], можно полагать, что невысокие значения параметров анизотропии, полученные для участка Репомьяки (РЕ-1) вместе с высокими значениями водопоглощения, могут являться свидетельством того, что ориентировка микротрещин в этих образцах скорее хаотичная.

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 (КГ-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.

*Работа поддержана грантом РФФИ № 07-05-00100.*

## Литература

- Горбачевич Ф. Ф. (2002), *Акустополарископия породообразующих минералов и кристаллических пород*, Изд. Кольского научного центра РАН, Апатиты.
- Ковалевский М. В. (2003), К вопросу о совершенствовании методики исследований упругих характеристик геоматериалов методом акустополарископии, *Информ. материалы 12-й науч. конф.: структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*, Геопринт Сыктывкар, с.123-125.
- Михайлов В. П., В. Н. Аминов (2006), Неметаллические полезные ископаемые: подземные воды и лечебные грязи, *Минерально-сырьевая база республики Карелия. Книга 2*, Петрозаводск: Карелия, с. 149-227.
- Мясникова О. В., В. А. Шеков (2008), Некоторые аспекты оценки разрушения горных пород, *Строительные материалы*, №7, 26-27.

## МЯСНИКОВА И ДР.: ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНИТОИДОВ

Родионов В. С. (1999), *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000*. Лист Q-36-XV, XVI. Объяснительная записка. С-Пб.

Светов А. П., Л. П. Свириденко, В. И. Иващенко (1990), *Вулканно-плутонизм свекокарелид Балтийского щита*, Изд. Карельский научный центр АН СССР, Петрозаводск.

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

О. В. МЯСНИКОВА<sup>1</sup>, Ф. Ф. ГОРБАЦЕВИЧ<sup>2</sup>, В. А. ШЕКОВ<sup>1</sup>, О. М. ТРИШИНА<sup>2</sup>, М. В. КОВАЛЕВСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск, 8 142 76-60-40; факс; 8 142 76-96-00, e-mail: [okmyasn@krc.karelia.ru](mailto:okmyasn@krc.karelia.ru)

<sup>2</sup>Геологический институт Кольского НЦ РАН, Апатиты, тел. 8 1555 79-626; e-mail: [gorich@geoksc.apatity.ru](mailto:gorich@geoksc.apatity.ru)