© Е.Б. Черепецкая, В.Н. Иньков, 2005

УДК 622.611:620.179.16

*Е.Б. Черепецкая, В.Н. Иньков*

# *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ ГОРНЫХ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ АППАРАТУРЫ ЛАЗЕРНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО СТРУКТУРОСКОПА «ГЕОСКАН – 02М»**

Анализ природы акустической и упругой анизотропии в различных генетических типах горных пород показывает, что причинами ее возникновения могут быть кристаллографическая ориентация зерен минералов, ориентация зерен минералов по форме, ориентация микротрещин и пор, тонкая слоистость, напряженное состояние, воздействие на среду электрических, тепловых полей и т.д. [1]. Очевидно, вклад каждого из рассмотренных факторов в каждом конкретном случае может быть различным и в реальных горных породах они могут проявляться в различных сочетаниях. Очень важно оценить степень влияния каждого из них, чтобы в дальнейшем прогнозировать возможность их проявления в реальном геологическом разрезе.

Для количественной оценки анизотропии упругих свойств используются различные меры, которые имеют ограниченное применение. Исторически сложилось так, что при исследовании анизотропии горных пород доминировали слоистые модели. В этих моделях рассматривались коэффициенты анизотропии, которые представляли собой отношение величин изучаемых свойств, измеренных перпендикулярно и вдоль слоистости. Подобная относительная мера анизотропии свойств трансверсально-изотропных сред базируется на прочной теоретической основе, так как материальные тензоры второго ранга такой среды являются одноосными, а их характеристические поверхности - эллипсоиды вращения. Однако, учитывая трудность разделения эффектов анизотропии и неоднородности, исследований скоростей упругих волн в двух направлениям недостаточно. Поэтому для оценки анизотропии скоростей упругих волн используют методику трех ортогональных направлений, согласованную с видимыми текстурными признаками горных пород.

Для оценки акустической анизотропии чаще всего используют методику, предлагающую измерение скоростей распространения продольных волн $c_p$ в трех ортогональных направлениях $x, y, z$, одно из которых согласовано с видимыми текстурными признаками исследуемого геоматериала [2, 3]. По полученным значениям $c_{px}, c_{py} < c_{px}, c_{pz} < c_{px}$ вычисляют коэффициент анизотропии:

$$A_{c_p} = \frac{c_{px} - c_{py}}{c_{px}} \quad , A^*_{c_p} = \frac{c_{px} - c_{pz}}{c_{px}} \qquad (1)$$

При исследовании упругих свойств интрузивных горных пород следует учитывать, что в процессе их формирования под влиянием перемещений на различных горизонтах земной коры возникает разномасштабная структурная упорядоченность. Действие несоосных деформаций в данных породах приводит к переориентировке структурных элементов. Более того, при перемещениях на более высокие горизонты происходит изменение термодинамических условий и смена элементарных механизмов их деформирования. Эти процессы вызывают увеличение числа микротрещин и некоторую преимущественную их ориентацию. Поэтому исследование анизотропии образцов интрузивных пород, взятых с разных горизонтов, должно давать представление о процессах, происходящих при их формировании. В данном случае

*Работа выполнена при государственной поддержке ведущих научных школ (грант № НШ-1467.2003.5).

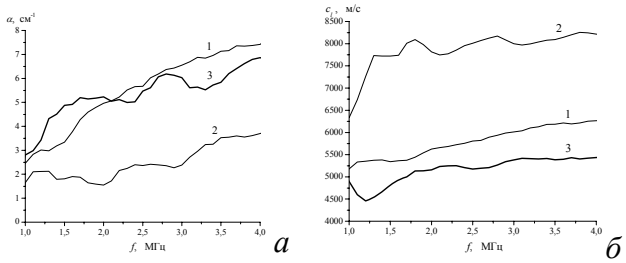


***Рис. 1 Частотные зависимости коэффициента затухания (а) и скорости (б) распространения упругих волн в трех взаимно перпендикулярных направлениях для образца № 1 интрузивной породы***

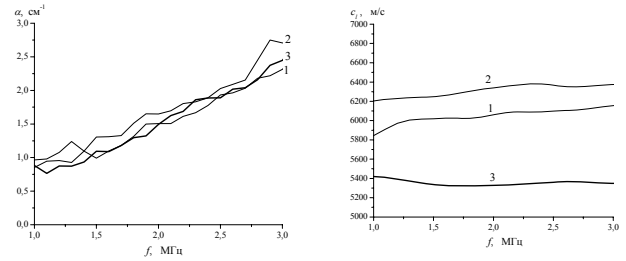


***Рис. 2 Частотные зависимости коэффициента затухания (а) и скорости (б) распространения упругих волн в трех взаимно перпендикулярных направлениях для образца № 2 интрузивной породы***

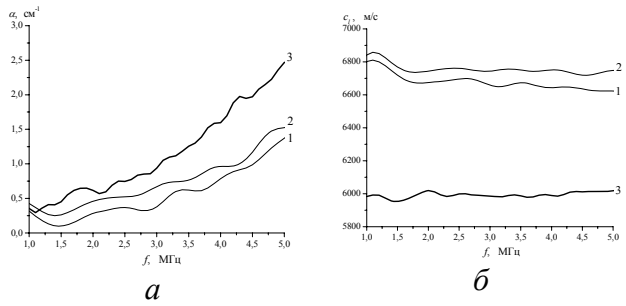


***Рис. 3 Частотные зависимости коэффициента затухания (а) и скорости (б) распространения упругих волн в трех взаимно перпендикулярных направлениях для образца № 3 интрузивной породы***

введение одного информативного параметра (скорости распространения упругих волн) оказывается недостаточным для проведения исследований.

В настоящей работе проведено исследование анизотропии методами лазерной ультразвуковой спектроскопии. Введено два параметра анизотропии: первый – для скорости распространения упругих волн, второй – для коэффициента затухания.

Исследования выполнены на установке «Геоскан-02М» [4]. Зондирующие импульсы упругих волн имели следующие параметры: их длительность составляла 100 нс, амплитуда давления достигала 10 МПа. Использовался иммерсионный метод, когда образец погружался в дистиллированную воду.

Изучались образцы интрузивных пород, взятых с различных глубин. Из каждого образца были выпилены пластинки в трех взаимно перпендикулярных направлениях с учетом их текстуры. На рис. 1, 2, 3, представлены частотные зависимости коэффициента затухания $\alpha(f)$ и скорости звука $c(f)$ для этих направлений. Верхняя частота для каждого образца определяется спектром прошедшего через них сигнала, а нижняя – толщиной соответствующей пластины. Рассмотрим подробнее каждый образец.

Образец № 1 обладает нарушенной структурой и явно выраженной анизотропией коэффициента затухания (рис. 1*а*) и скорости звука (рис. 1*б*). В области частот от 1,75 – 3,0 МГц дисперсионные кривые коэффициента затухания (рис. 1*а*) для направлений 1 и 3 практически совпадают и отличаются от направления 2 в 2,5 раза. Это говорит о том, что концентрация рассеивателей с масштабами 0,3-0,5 мм в этих направлениях в 2,5 раза больше по сравнению с направлением *2*. Наименьший коэффициент затухания и максимальная скорость звука наблюдаются в

направлении *2*. Значение скорости звука составляла 7700±100 м/с и было наибольшим для всех образцов. Максимальные коэффициенты анизотропии по коэффициенту затухания и скорости звука составляют 0,6 и 0,4, соответственно. Данные зависимости $\alpha(f)$ и $c(f)$ для образца № 1 позволяют отнести его к трансверсально-изотропным средам.

Существенно меньшей анизотропией обладал образец № 2. Дисперсионные кривые коэффициента затухания для трех различных направлений (рис. 2а) лежат достаточно близко и в некоторых местах пересекаются, что позволяет говорить об отсутствии анизотропии затухания звука и равномерном распределении масштабов рассеивателей в этих направлениях. В отличие от коэффициента затухания скорость распространения продольных волн (рис. 2б) обладает анизотропией, хотя и значительно меньшей, чем для образца № 1. Максимальное значение коэффициента анизотропии для скорости составляет 0,13. Дисперсии скорости звука в трех различных направлениях не наблюдается.

Кривые частотных зависимостей коэффициента затухания для трех различных направлений образца РТ-18 в области 1,5 – 3,0 МГц (рис. 3а) расположены практически эквидистантно друг от друга и ей соответствует максимальная анизотропия затухания, равная 0,8. В диапазоне 3 – 5 МГц расстояние между кривой 3 и кривыми 1, 2 начинает увеличиваться, и коэффициент анизотропии затухания уменьшается до 0,5. Применяя метод, описанный в [4], были оценены характерные размеры рассеивателей в этих направлениях: в 1 они составляли 0,3 и 0,5 мм; 2 – 0,3, 0,4 и 0,6 мм; 3 – 0,4, 0,6 и 0,8 мм. Максимальному затуханию (кривая 3, рис. 3а) соответствует минимальная скорость распространения продольных волн (кривая 3, рис. 3б). Дисперсия скорости звука отсутствует в пределах ошибки измерений, которая составляет 2 %, но анизотропия сохраняется и ее максимальное значение составляет 0,12.

Таким образом, исследования анизотропии образцов интрузивных пород показали, что анизотропия проявляется как в скорости распространения упругих волн, так и в коэффициенте затухания. При чем эти две величины отвечают за различные эффекты: скорость характеризует упругие свойства, затухание – размеры рассеивателей.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***


1. *Александров К.С., Продайвода Г.Т.* Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Новосибирск, 2000.
2. *Ржевский В.В., Ямщиков В.С.* Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. – М.: Наука, 1973.
3. *Милеев В.С., Голосов В.П., Гранковский С.Л., Виноградов Ф.В.* Определение анизотропии горных пород с помощью лазера // Докл. АН СССР. – 1980. - № 3. - С. 685–688.
4. Белов М.А, Черепецкая Е.Б., Шкуратник В.Л., Карабутов А.А., Макаров В.А., Подымова Н.Б.. Количественная оценка размеров минеральных зерен методом лазерной ультразвуковой спектроскопии // ФТПРПИ.- 2003.- № 5. – С. 3–8.


## *Коротко об авторах*


*Черепецкая Елена Борисовна* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики,
*Иньков Виктор Николаевич* – аспирант кафедры физики,

Московский государственный горный университет.