

УДК 622.611:620.179.16

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД К РАЗЛИЧНЫМ ВИДАМ ПРИРОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Корчак А. В., Закиров А. А., Иньков В. Н.,  
Черепецкая Е. Б., Шкурятник В. Л.  
(МГГУ, г. Москва, Россия)

*Розглянуто результати експериментальних досліджень ступеня вивітрювання зразків піроксенів під впливом чинників різної фізичної природи з використанням методів лазерної ультразвукової спектроскопії.*

*The results of the experimental investigations of the degree of weathering of pyroxenes under the influence of the factors of different physical nature using laser ultrasonic spectroscopy techniques are considered.*

Ультразвуковые (УЗ) методы широко используются для структурной диагностики геоматериалов. Тем не менее, потенциальные возможности этих методов до настоящего времени полностью не реализуются из-за применения относительно узкополосных зондирующих сигналов [1].

В качестве одного из приоритетных направлений развития ультразвуковых методов исследования геологических объектов всегда рассматривалось расширение частотного диапазона упругих импульсов с тем, чтобы их длины волн были соизмеримы, превышали и были менее характерных размеров искомых дефектов. Это позволяет использовать для их выявления весь спектр волновых явлений и эффектов (отражение, дифракция, рассеяние и т.д.). Реально достижимые значения параметров упругих импульсов продольных и поперечных волн, возбуждаемых в горных

породах с помощью лазерных источников, составляют: для длительности - менее 100 нс, амплитуды давления - до 10 МПа, пространственной протяженности – менее 0,4 мм, ширины области генерации - порядка 2 мм. Такие значения обеспечивают высокие абсолютную чувствительность, лучевую и фронтальную разрешающую способность, а также незначительную (менее 0,4 мм) мертвую зону. Это, в свою очередь, позволяет исследовать практически любые образцы, в том числе и малых размеров, причем с использованием как режимов прозвучивания, так и эхолокации [2].

В настоящей работе проиллюстрированы возможности лазерной ультразвуковой спектроскопии на примере исследования изменения внутренней структуры образцов пироксенов рудника «Железный» Ковдорского ГОКа, подвергнутых полному циклу факторов выветривания.

Использовались два режима лазерной ультразвуковой спектроскопии: режим «проходящих» и режим «отраженных» волн. В обоих случаях поглощение лазерного импульса происходило в специальной сильнопоглощающей свет генераторной среде. Локальный нагрев этой среды и ее последующее расширение приводили к генерации коротких импульсов продольных волн со строго контролируемой формой.

Режим «проходящих» волн был реализован в разработанной в МГГУ совместно с сотрудниками Международного лазерного центра МГУ им. М. В. Ломоносова установке «Геоскан-02М», где использовался твердотельный лазер, работающий в режиме модуляции добротности. Энергия лазерного импульса варьировалась от 50 мДж до 260 мДж, а его длительность составляла 10 нс. В этом случае амплитуда давления возбуждаемых ультразвуковых сигналов регулировалась выбором пиковой интенсивности лазерного импульса и достигала значений 10 МПа, а их длительность составляла 100 нс, что соответствовало частотному диапазону от 300 кГц до 30 МГц. В режиме «проходящих» волн регистрировался временной профиль импульсов, прошедших через образец. По этому профилю рассчитывались частотные зависимости скорости продольных волн и коэффициенты затухания. В режиме эхоскопии при одностороннем доступе к образцу в генераторной среде возбуждались два импульса: первый из них служил опорным, распространялся назад в направлении пьезоприем-

ника; второй поступал непосредственно в образец и рассеивался на его неоднородностях. Импульсы, отраженные от дефектов, а также донный сигнал от тыльной стороны образца регистрировались пьезоприемником. Таким образом, выполнялась сканирование по его поверхности с определенным шагом. На основе полученных акустических треков, обработанных специальным методом [2], строились изображения внутренней структуры образца.

Образцы для исследования были изготовлены из кернов в форме дисков диаметром 25 мм и толщиной 5,1 мм. На рис. 1 представлены результаты исследования одного из исходных образцов пироксена в режиме эхоскопии. В приведенном изображении (рис. 1 а) более светлым участкам соответствуют области с большим значением акустического импеданса. Верхняя (темная) часть изображения на рис. 1 а соответствует мертвой зоне, то есть временному диапазону от 4,0 мкс до 4,3 мкс. Эта часть изображения не несет полезной информации. Внутренняя структура образца (рис. 1 а) достаточно однородная с незначительными разуплотнениями, в акустическом треке (рис. 1 б) хорошо виден донный сигнал от тыльной стороны образца.

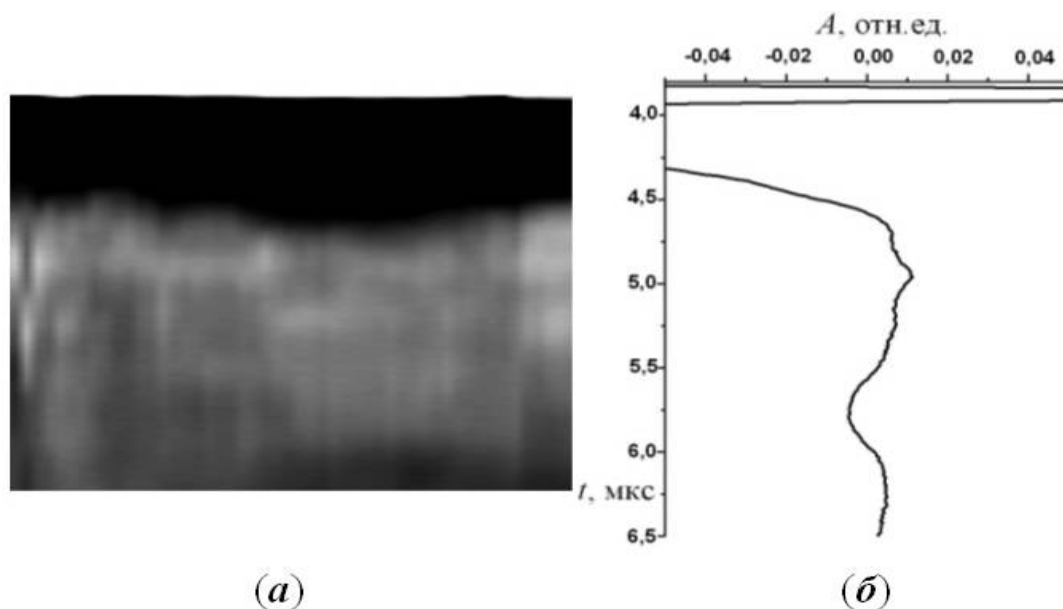


Рис. 1. Структурограмма (а) исходного образца пироксена, построенная с помощью акустического трека (б)

На рис. 2 а и 2 б представлены результаты исследований того же образца, проведенные в режиме «проходящих» волн в час-

тотном диапазоне от 1 МГц до 3 МГц. Нижняя граница выбранного частотного диапазона связана с геометрическими размерами образца, а верхняя – с сильным затуханием более высоких частот. В выбранном диапазоне практически отсутствовала дисперсия скорости продольных волн (рис. 2 а, кривая 1), само значение составляло  $(4550 \pm 50)$  м/с. Коэффициент затухания изменялся в пределах от  $2,1 \text{ см}^{-1}$  при частоте 1 МГц до  $2,4 \text{ см}^{-1}$  при 3 МГц.

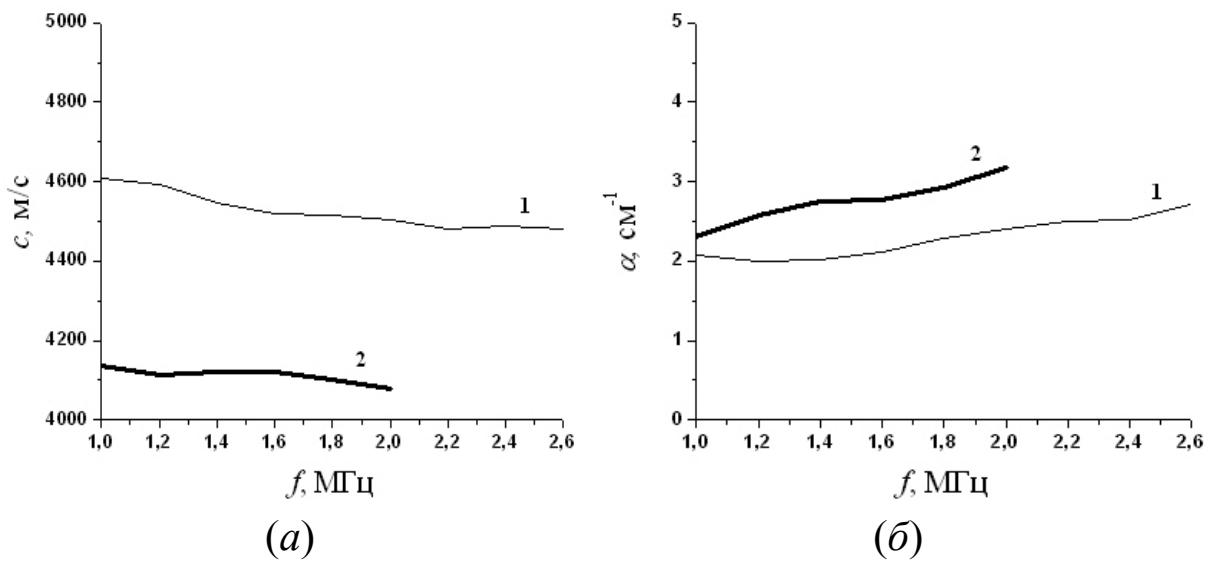


Рис. 2. Частотные зависимости скорости распространения (а) и коэффициента затухания (б) продольных волн в образцах пироксена: кривая 1 – до воздействия, кривая 2 – после воздействия

Затем данные образцы, представлявшие собой рудовмещающие породы рудника «Железный», подвергались воздействию факторов выветривания и далее определялись их морозостойкость, солестойкость, кислотостойкость, атмосферостойкость и водостойкость.

Морозостойкость, солестойкость и кислотостойкость образцов определялась по ГОСТ 30629-99 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытания». Атмосферостойкость и водостойкость - по методикам определения в лабораторных условиях долговечности облицовочного камня [3].

Морозостойкость образцов горных пород испытывалась в течение 150 циклов (1250 часов) попеременного замораживания и оттаивания в воде (20°C) по 4 часа.

Солестойкость образцов горных пород определялась в течение 30 циклов (240 часов) попеременного выдерживания в насыщенном растворе сернокислого натрия и высушивания в сушильном шкафу при температуре 30°C по 4 часа. Раствор готовился на основе дистиллированной воды и безводного сернокислого натрия. После каждого цикла раствор меняли на новый.

Атмосферостойкость горных пород изучалась в аппарате искусственной погоды ИПЗ-1 (везерометре). Образцы подвергались тепловому и ультрафиолетовому облучению с дождеванием через каждые 30 минут в течение 480 часов.

Водостойкость образцов испытывалась по двум методикам. По первой из них образцы выдерживались в течение 90 часов при температуре 74°C в аппарате Сокслета, который позволяет моделировать круговорот воды; по второй - образцы выдерживались в течение 2736 часов в дистиллированной воде при температуре 300°C.

Кислотостойкость образцов горных пород изучалась следующим образом. Каждая серия образцов, находящаяся в отдельном стакане с крышкой, заливалась раствором серной кислоты с различным рН в соотношении 1:5 и выдерживалась 4 суток. Затем раствор менялся на новый и испытания продолжались. Кислотостойкость проверялась в двух условиях: при рН-5.2 в течение 1032 часа и при рН 3,25 в течение 1200 часов.

После воздействия данные образцы также исследовались в двух режимах. В полученных в режиме эхоскопии акустических треках полностью отсутствует донный сигнал (рис. 3 б), что свидетельствует об увеличении рассеяния на неоднородностях. В изображении структуры образца наблюдается значительные разрушения и обусловленные ими появившиеся темные области (рис. 3 а).

Изменение структуры образцов хорошо прослеживается в результатах исследований методом «проходящих» волн. В этом случае затухание сигналов настолько велико, что не удастся рассчитать скорость продольных волн в диапазоне от 2 МГц до 3 МГц.

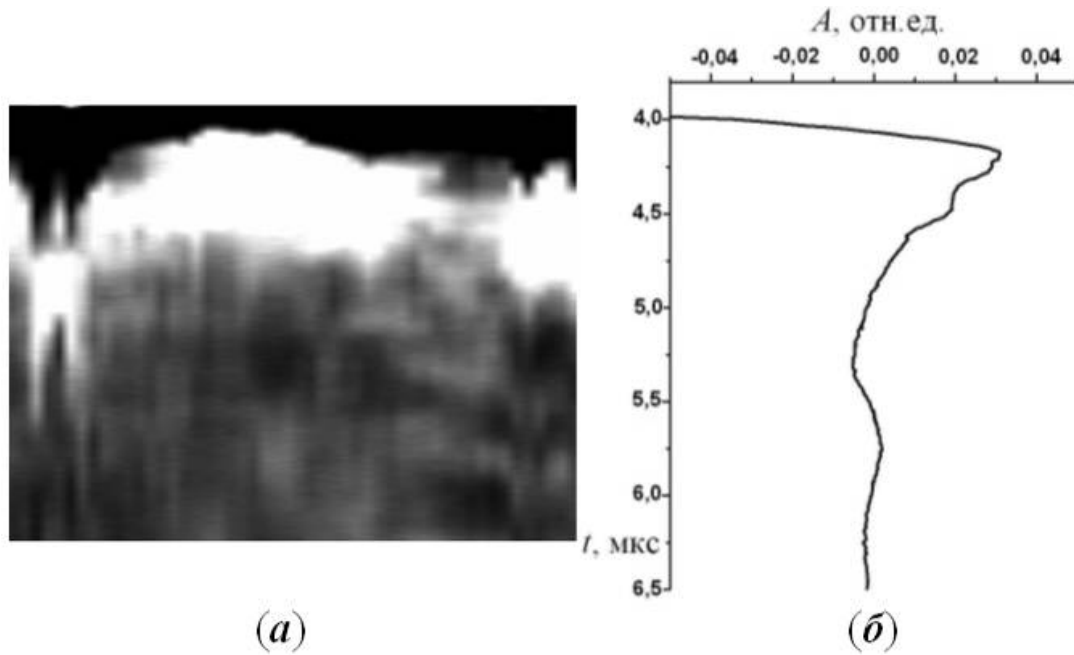


Рис. 3. Структурограмма (а) образца пироксена после воздействия, построенная с помощью акустического трека (б)

В диапазоне 1 – 2 МГц ее значение существенно меньше, чем до воздействия и составляет  $(4110 \pm 20)$  м/с (рис. 2 а, кривая 2). Коэффициент затухания (рис. 2 б, кривая 2) соответственно увеличился и варьировался от значения  $2,6 \text{ см}^{-1}$  при частоте 1 МГц до  $3,2 \text{ см}^{-1}$  при 2 МГц.

Результаты исследований показали, что методы лазерной ультразвуковой спектроскопией позволяют отслеживать изменения внутренней структуры в результате процессов выветривания.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Ямщиков В. С., Шкуратник В. Л. Акустическая спектроскопия массива горных пород. // ФТПРПИ. – 1978. - № 2. – С. 116-123.
2. Иньков В. Н., Карабутов А. А., Макаров В. А., Черепецкая Е. Б., Шкуратник В. Л. Ультразвуковая эхоскопия геоматериалов с использованием термооптических источников продольных волн. // ФТПРПИ. – 2004. - № 3 – С. 16-24.
3. Лащук В. В. Долговечность облицовочного камня Кольского полуострова. Апатиты: Издательство КНЦ РАН, 1996 г.