

## СТРУКТУРНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА И АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ТРЕЩИНЫ

*Соболев Г.А., Лементуева Р.А., Котляр Т.Ф.*

*Институт физики Земли РАН, г.Москва*

### Введение

Проведен анализ результатов экспериментов при медленном нагружении образцов горной породы с помощью невзрывной разрушающей смеси (НРС). При длительной медленно возрастающей нагрузке формируется стадия предразрушения на образцах и моделях горной пород [Соболев, Пономарев 2003; Лементуева и др., 2014].

В работе [Лементуева и др., 2014] установлена миграция акустических событий (АС) и характер расположения центров излучения в хронологическом порядке их возникновения на образцах доломита и мрамора. Одновременно наблюдался ход деформационных изменений и построена кривая деформации сдвига для розетки, установленной вблизи образовавшейся (впоследствии) магистральной трещины.

Однако, ранее, не было рассмотрены характер и изменение амплитуд акустических сигналов (АСмах), знаки первых вступлений АС и частотный спектр сигналов на разных стадиях деформирования.

### Методика и анализ материалов экспериментов

В данном докладе приводятся данные, позволяющие поэтапно охарактеризовать изменение акустической эмиссии. Локальные деформации регистрировались тензорозетками (рис. 1а), на приборе Т-2В, а акустические сигналы (АС) принимались ультразвуковыми датчиками прибора Aline-32D. При регистрации АС отмечены сигналы - шумовые, средние и большие (рис. 1б). К шумовым АС следует отнести слабые АС и аппаратный шум канала регистрации.

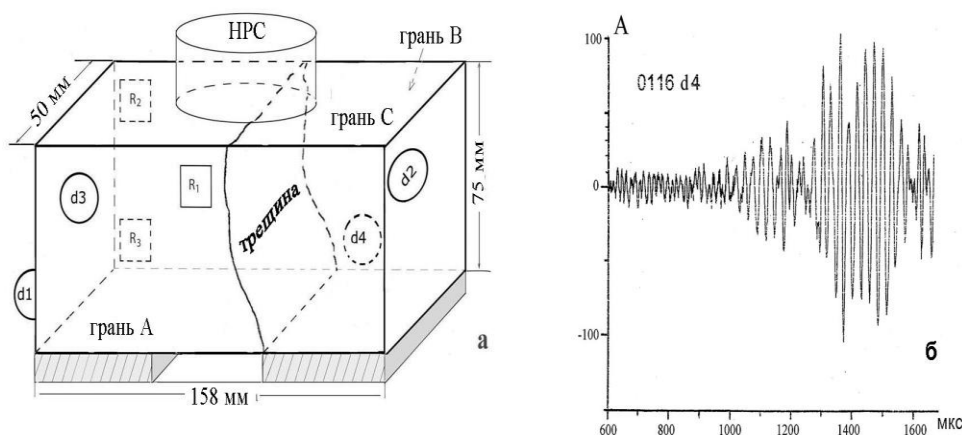


Рис. 1а,б. а – Схематическое изображение установки с образцом.  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – тензорозетки,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  – акустические датчики, НРС – устройство нагружения. б – Акустические сигналы – «средний», «большой» и шум. А – амплитуда. с – время.

На деформационной кривой (рис. 2а) выделены 5 этапов, предшествующих возникновению макротрещины, каждый из которых характеризовался специфическими особенностями акустических сигналов. На этапе 1 при слабом росте деформаций возникали небольшие по амплитуде сигналы простой формы (рис. 3а). Однако шумовой фон при регистрации ясно отличался от слабых сигналов АС (по частоте и амплитуде). По-видимому, в образцах имело место закрытие существующих трещин и образование новых дефектов отрывного типа.

АС характеризовались первыми вступлениями, преимущественно, со знаком ПЛЮС. Отмечено появление нескольких акустических сигналов (в одном файле) с разными вступлениями, различающимися по знаку вступлений и амплитудам.

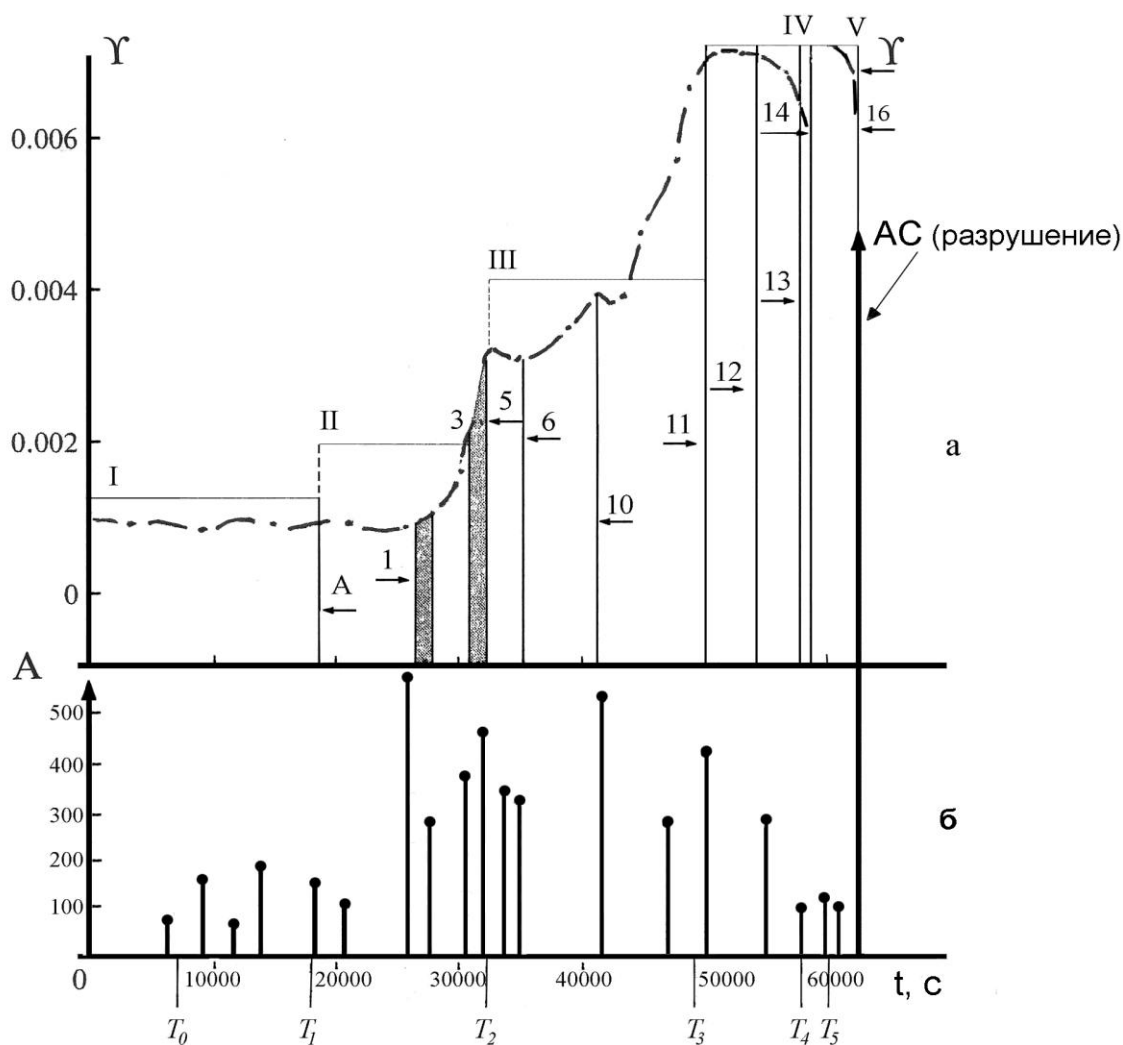


Рис. 2а, б. а – Тензометрическая кривая сдвига  $\gamma$ . I-V – этапы деформирования.  
 1, 2, 3 - номера источников АС в хронологическом порядке.  
 б – Амплитуды акустических сигналов АС в процессе эксперимента.

На этапе II деформации резко возрастали и зарегистрированы серии АС (рис. 3б) более сложной формы с разной полярностью первых вступлений и значительной вариацией амплитуд.

На этапе III рост деформаций замедлился, а фон акустических сигналов стабилизировался.

Отмечено резкое увеличение АС со знаком МИНУС (рис. 3в). Судя по изменению тензора деформаций, на этом этапе в области будущей трещины происходила перестройка напряженного состояния и структуры материала горной породы. Последующие этапы характеризовались АС сложной формы, которые свидетельствуют о возникновении трещин сдвига. Макротрещина образовалась в результате ранее накопленных трещин меньшего размера. Интересно, что в отличие от ряда известных экспериментальных результатов с применением гидравлических прессов, развитие макротрещины происходило ступенчато (этапы IV и V) не при ускорении, а при уменьшении скорости деформаций. Акустические сигналы на стадии разрушения (рис. 3г.) увеличились на два порядка. На каждом этапе нагружения с помощью программно-вычислительного обеспечения Aline-32D были получены плотности энергий ( $E$ ) для каждого АС (рис. 4а,б), которые на качественном уровне показывают частотный спектр сигналов АС.

Отмечено, что на начальных стадиях деформирования в спектре преобладали высокие частоты. На этапах IV и V отмечены низкочастотные сигналы (рис. 4а,б) [Соболев и др., 2013].

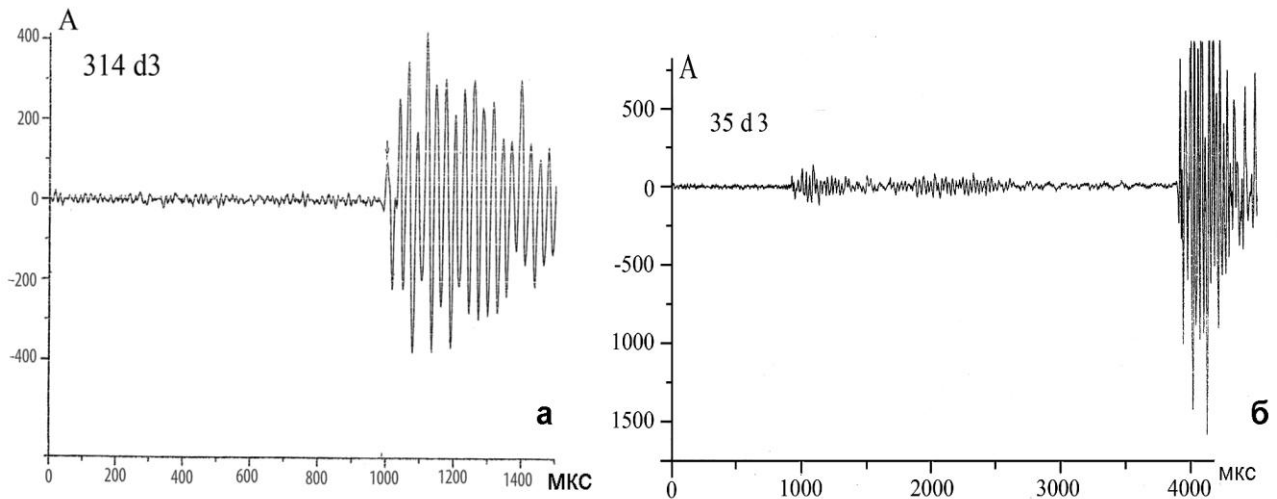


Рис. 3а,б. а – Акустический сигнал на начальной стадии деформации  
 б – Группы АС ( $d_3$ ) на образце мрамора

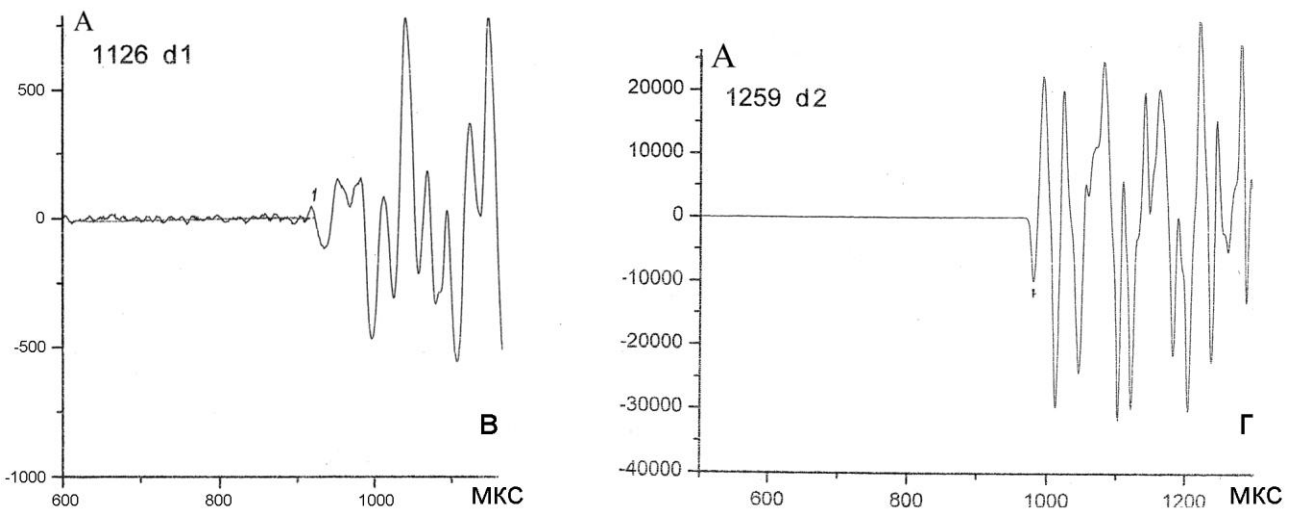


Рис. 3в,г в – Акустический сигнал (стадия предразрушения).  
 г – Акустический сигнал (стадия разрушения).

### Обсуждение результатов

На начальном этапе деформирования возникали микротрещины в зоне растяжения (трещины отрыва) [Ребиндер, 1986; Соболев 2005].

Перераспределение напряжений вблизи неоднородностей в образце вызывало миграцию источников АС [Лементуева и др., 2014] и привело к изменению знаков вступления следующих АС.

По-видимому, при формировании стадии предразрушения (при кластеризации) создаются условия, приводящие к переориентации микротрещин вследствие их сближения (большинство новых дефектов возникает за счет сдвиговых подвижек на микроуровне).

Прохождение магистральной трещины происходит при объединении трещин меньшего масштаба за 3-6 сек.

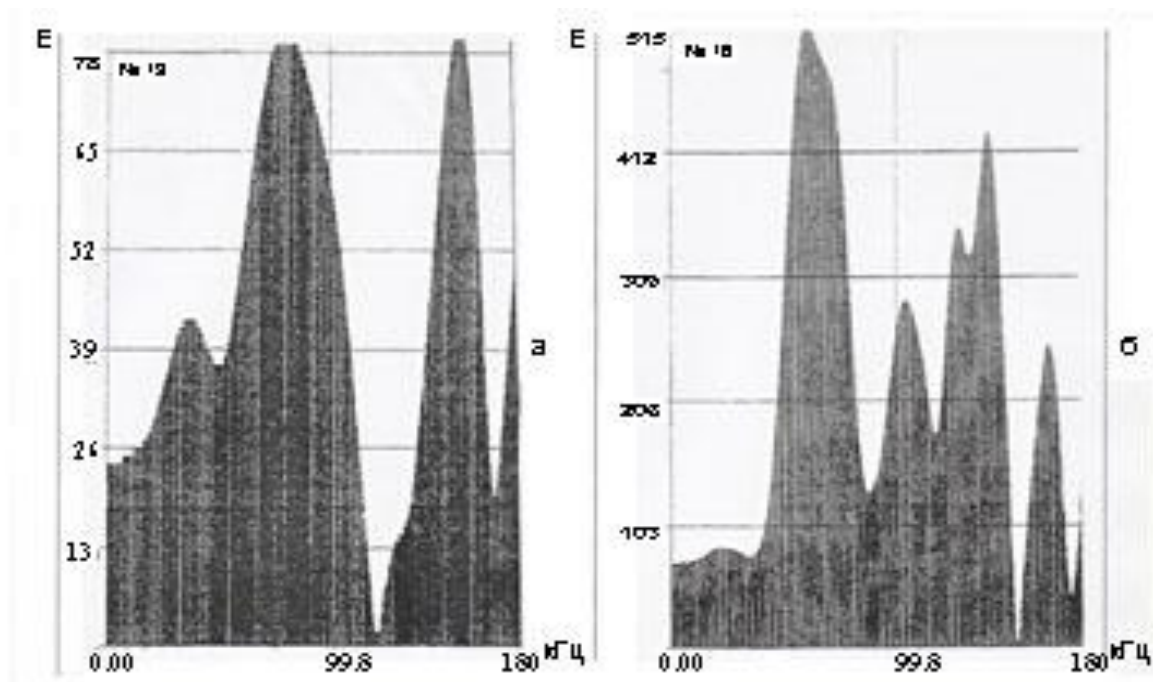


Рис. 4а,б. а - Плотность энергии акустического сигнала (E) на стадии предразрушения.  
 б - Плотность энергии акустического сигнала (E) на стадии разрушения.

### Выводы

На первом этапе нагружения соотношение количества отрывов и сдвигов сохраняется равным. В процессе кластеризации величина и количество сдвиговых микротрещин возрастает. Происходит «схлопывание» отдельных микротрещин, что приводит к смене знаков первых вступлений.

Можно предположить, что при длительном нагружении образцов на стадии «предразрушения» преобладают сдвиговые перемещения микротрещин, приводящие к сближению микродефектов. Эта стадия характеризуется малыми амплитудами АС и низкими частотами в спектре колебаний.

### Список литературы

1. Лементуева Р.А. и др. Особенности формирования магистральной трещины. М. Физика Земли, 2014. № 1, с.34-39.
2. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в твердых телах в процессе их деформации и разрушения // УФН. 1972. Т. 108. № 1.
3. Соболев Г.А, и др. Изучение спектров акустических сигналов. //Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: Тезисы докладов, Иркутск, 2013, с. 84
4. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003.