

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-043

## ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И СТЕПЕНИ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ АЛЕВРОЛИТА И ИЗВЕСТНЯКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ПРЯМЫМ СДВИГОМ

Усольцева О.М., Востриков В.И., Цой П.А.

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Новосибирск*

Целью работы являлось исследование характеристик сигналов микросейсмической эмиссии (МСЭ) в зависимости от стадии деформирования образцов из алевролита и известняка при прямом сдвиге в зависимости от их степени водонасыщения и коэффициента шероховатости.

По методике лабораторного определения сопротивления сдвигу нарушений сплошности горных пород, составленной на основе стандарта ASTM D 5607–08, были проведены испытания на образцах алевролита и известняка на оборудовании [1]. Нагружение представляло собой прямой сдвиг при граничном условии «постоянная нормальная нагрузка». Скорость сдвига составляла 0,1 мм/мин. Перпендикулярная сжимающая нагрузка составляла 3 МПа для алевролита и 1 МПа для известняка. Чтобы получить образцы с нарушением сплошности, образцы горных пород цилиндрической формы предварительно разделяли на две части методом раскола («бразильская проба»), затем полученные две части использовали для испытаний на сдвиг. Перед началом испытаний поверхности нарушений сплошности были оцифрованы с помощью лазерного 3–D сканера Rangevision PRO 5M. Коэффициент шероховатости поверхности образцов  $JRC$  вычислялся согласно [2]. Были построены зависимости касательного напряжения от времени и сдвига. Для исследования характеристик сигналов микросейсмической эмиссии использовался комплекс для микросейсмических измерений «Пульс» фирмы Брюль и Кьер и акселерометры KD91, которые приклеивались на образцы с нарушением сплошности и находились в зазоре между двумя частями срезной коробки.

На образцах алевролита проводилось исследование влияния коэффициента шероховатости на характеристики сигналов МСЭ. Образцы алевролита испытывались в воздушно–сухом состоянии, коэффициент шероховатости составлял  $JRC \approx 1,7 \div 1,98$  для первой группы и  $JRC \approx 6,3 \div 7,1$  – для второй. Для исследования влияния степени водонасыщения на характер сигналов МСЭ были выбраны образцы известняка, водопоглощения которого составляет  $W_{\max} = 11,3\%$ . Испытания проводились на образцах в воздушно–сухом состоянии  $w=0$  и полностью водонасыщенном состоянии  $w=W_{\max}$ . Для исключения влияния шероховатости образцы подбирались с близкими значениями коэффициента шероховатости:  $JRC \approx 3,1 \div 3,6$ .

Для образцов алевролита с высоким значением шероховатости (рис. 1а, в) поверхности  $JRC \approx 6,3 \div 7,1$  первые сигналы МСЭ появились при значениях касательного напряжения 0,3–0,4 от максимального значения, максимальная амплитуда ускорения составляла 0,1 м/с<sup>2</sup>, полоса частот спектра – 5–28 кГц. Широкая полоса частотного спектра и наличие высокочастотных гармоник определяется срывом мелких частиц на границе среза. При максимальной нагрузке количество сигналов возросло, видимо, в связи с тем, что начали происходить срывы пиков шероховатостей при проскальзывании, и далее количество сигналов оставалось значительным вплоть до точки до участка остаточной прочности. Максимальная амплитуда сигнала ускорения МСЭ увеличилась до 0,35 м/с<sup>2</sup>. Причем, по виду аналогового сигнала можно судить, что сигнал характеризуется резонансной частотой, она равна 18 кГц. За пределами пиковой нагрузки амплитуда сигналов уменьшилась до 0,08 м/с<sup>2</sup>, полоса частотного спектра изменилась до 10–18 кГц. По–видимому, наибольшие значения амплитуды соответствовали срыву высоких пиков шероховатости, и далее, сдвиг происходил уже за счет разрушения более мелких пиков, что соответствовало меньшим значениям амплитуд. При сдвиговом испытании образца алевролита с шероховатостью поверхности  $JRC = 1,8$ , картина изменения характеристик сигналов МСЭ была аналогичной, но с менее

ярко выраженными описанными выше закономерностями.

При прямом сдвиге образцов известняка в полностью водонасыщенном состоянии (рис. 1б и 1г) первые сигналы МСЭ появились при значениях касательного напряжения примерно 0,1 от максимального значения. Количество сигналов незначительное, максимальная амплитуда сигнала ускорения  $0,14 \text{ м/с}^2$ , полоса частотного спектра –  $5 \div 25 \text{ кГц}$ . В окрестности максимальной нагрузки количество сигналов несколько возросло, ширина частотного спектр по-прежнему оставалась широкополосной, амплитуда ускорения практически не изменялась. При постпиковых нагрузках количество сигналов незначительно уменьшалось, максимальная амплитуда составляла  $0,1 \text{ м/с}^2$ , ширина частотного спектра практически не изменялась. Можно заключить, что для образцов известняка, которым характерна высокая степень водополющения, прямой сдвиг образца в водонасыщенном состоянии происходит при монотонном скольжении без ярко выраженных срывов, что подтверждается отсутствием резко выраженных изменений характеристик сигналов МСЭ.

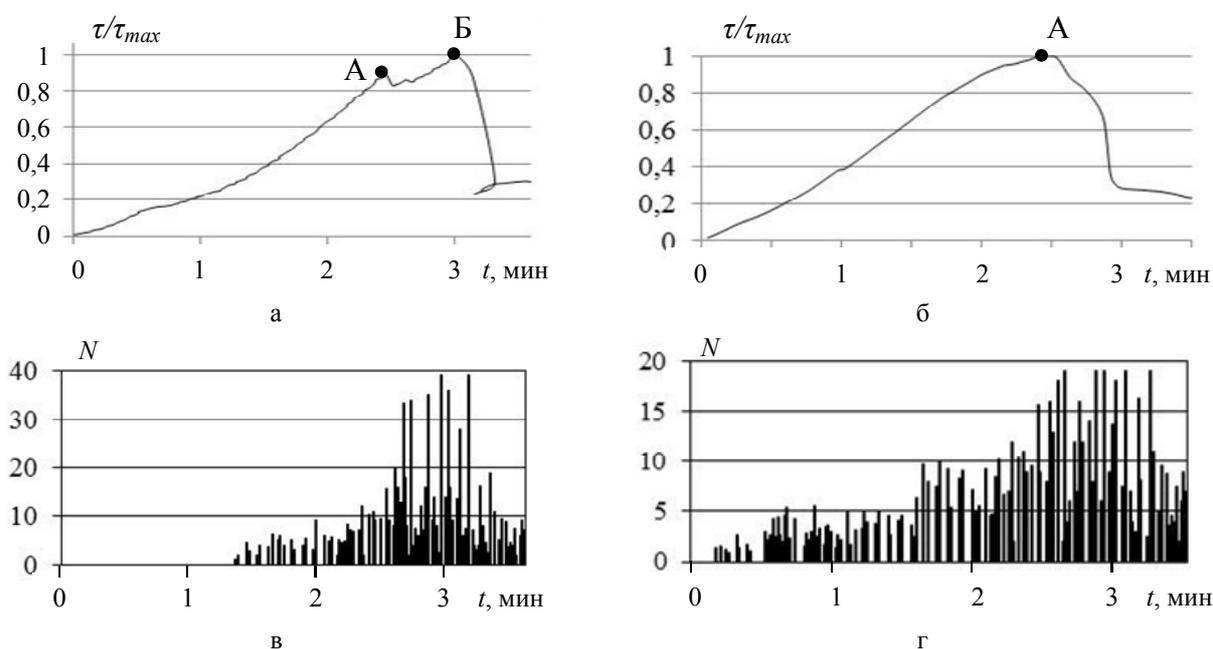


Рис. 1. Зависимости касательного напряжения  $\tau$  от времени  $t$  в (а, б) и зависимости количества  $N$  сигналов МСЭ, просуммированных за интервал 10 секунд в соответствии с диаграммой « $\tau-t$ » (в, г) для образца алевролита со значением шероховатости поверхности  $JRC=7,1$  (а, в) и образца известняка в полностью водонасыщенном состоянии  $w=W_m$  (б, г)

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИГД СО РАН, проект НИР № 0256-2021-0001 на оборудовании ЦКП геомеханических, геофизических и геодинамических измерений СО РАН.*

1. Usoltseva O., Tsoi P., Semenov V. Investigation of strength and microseismic emission characteristics of rock joints under shear loading // 18th International multidisciplinary scientific geoconference, SGEM 2018 : conf. proc., Bulgaria, Albena, 2 July – 8 July 2018. – Sofia : STEF92 Technology Ltd., 2018. Vol. 18, iss. 1.3. Pp. 521–528.
2. Цой П. А., Усольцева О.М. Построение регрессионной зависимости длины профиля нарушения сплошности горных пород от коэффициента шероховатости // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии : тез. док. междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. основателя и первого директора ИФПМ СО РАН акад. Виктора Евгеньевича Панина, Томск, 5–9 окт. 2020 г. Томск : Изд-во ТГУ, 2020. С. 639–640.