

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ НАГРУЖЕНИИ КУБИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ГЕОМАТЕРИАЛОВ ДО РАЗРУШЕНИЯ

Ольга Михайловна Усольцева

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат физико-математических наук, руководитель ЦКП ГГГИ СО РАН, тел. (383)330-96-41, e-mail: usoltseva57@mail.ru

Владимир Иванович Востриков

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат технических наук, зав. лабораторией горной геофизики, тел. (383)205-30-30, доп. 117, e-mail: vvi.49@mail.ru

Павел Александрович Цой

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, тел. (383)330-96-41, e-mail: paveltsoy@mail.ru

Владимир Николаевич Семенов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, главный специалист, тел. (383)330-96-41, e-mail: centre@misd.nsc.ru

Комплексный анализ эволюции сигналов микросейсмической эмиссии при одноосном нагружении до разрушения кубических образцов из искусственного геоматериала позволил установить взаимосвязь закономерностей изменения сигналов с уровнем нагрузки. Деформационные процессы, развитие микрповреждений, нарушение сплошности и формирование плоскости магистрального разрыва приводит к существенной трансформации спектрального состава сигналов микросейсмической эмиссии. Генерация мощных низкочастотных гармоник при нагрузках, приближающихся к пиковым, может служить предвестником выхода разрыва на поверхность и, соответственно, разрушения геоматериала.

Ключевые слова: лабораторный эксперимент, одноосное сжатие, геоматериал, микросейсмическая эмиссия, напряжение, деформация, разрушение.

REGULARITIES IN VARIATIONS OF MICROSEISMIC EMISSION SIGNAL PARAMETERS ACCORDING TO DEFORMATION STAGE IN LOADING OF CUBIC SPECIMENS OF GEOMATERIALS UP TO FAILURE

Olga M. Usol'tseva

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, Ph. D., Head of The Shared Use Center for Geomechanical, Geophysical, and Geodynamic Measurements, SB RAS, tel. (383)330-96-41, e-mail: usoltseva57@mail.ru

Vladimir I. Vostrikov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, Ph. D., Head of Mining Geophysics Laboratory, tel. (383)205-30-30, extension 117, e-mail: vvi.49@mail.ru

Pavel A. Tsoi

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx prospect, Ph. D., Researcher, tel. (383)330-96-41, e-mail: paveltsoy@mail.ru

Vladimir N. Semenov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, Main Specialist, tel. (383)330-96-41, e-mail: centre@misd.nsc.ru

The integrated analysis of microseismic emission signal evolution under uniaxial failure loading of artificial geomaterial specimens enabled to establish interrelation of signal variation regularities versus a load. Deformation processes, microdefect evolution, discontinuities, and formation of the main fracture plane induce essential transformation of spectral composition of microseismic emission signals. Generation of powerful low-frequency harmonics under close-to-peak loads can serve a symptom of feasible fracturing exposure to the daylight surface with respective geomaterial failure.

Key words: laboratory test, uniaxial compression, geomaterial, microseismic emission, stress, strain, failure.

Обзор отечественной и зарубежной литературы за последние годы показывает, что имеется ряд работ, посвященных мониторингу сейсмических сигналов для исследования физико-механических свойств горных пород, а также их изменению в процессе деформирования [1 – 6].

Данная работа, как продолжение [7] посвящена исследованию эволюции сигналов микросейсмической эмиссии при одноосном нагружении до разрушения образцов из искусственного геоматериала. Проведена серия экспериментов на кубических образцах с размером ребра 200 мм (угол напластования составлял $\Psi = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) из искусственного геоматериала, описанного выше, фотографии образцов приведены на рис. 1. Испытания кубических образцов геоматериалов проводились при одноосном сжатии до разрушения со скоростью перемещения подвижного захвата 0,1 мм/мин. На 4-х боковых гранях куба устанавливалось по 4 микросейсмических датчика KD 91 для записи сигналов МСЭ. Перемещение и усилие в осевом (вертикальном) направлении регистрировалось измерительной системой пресса 8802. Перемещения в двух ортогональных горизонтальных направлениях регистрировались с помощью датчиков Solartron DP10S, расположенных в плоскости, перпендикулярной нормальному усилию. Общий вид кубического образца, установленного в захватах пресса Instron 8802, с микросейсмическими датчиками KD 91 и датчиками Solartron DP10S, приводится на рис. 2.

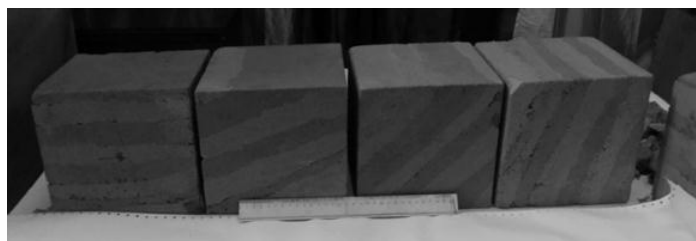


Рис. 1. Кубические образцы с размером ребра 200 мм (угол напластования составлял $\Psi=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$)

Предел прочности для образцов с углом напластования $\Psi = 0$ и 90° составляет $\sigma^s = 6,3$ МПа, для образцов с углом напластования $\Psi = 45^\circ$ – 4,1 МПа. На рис. 3 приведена зависимость « $P/P_{max} - t/t_m$ » при одноосном сжатии кубического образца с углом напластования $\Psi = 45^\circ$, где P/P_{max} – отношение текущего значения осевой нагрузки к максимальной P_{max} , t/t_m – отношение текущего значения времени эксперимента к значению t при $P = P_{max}$.

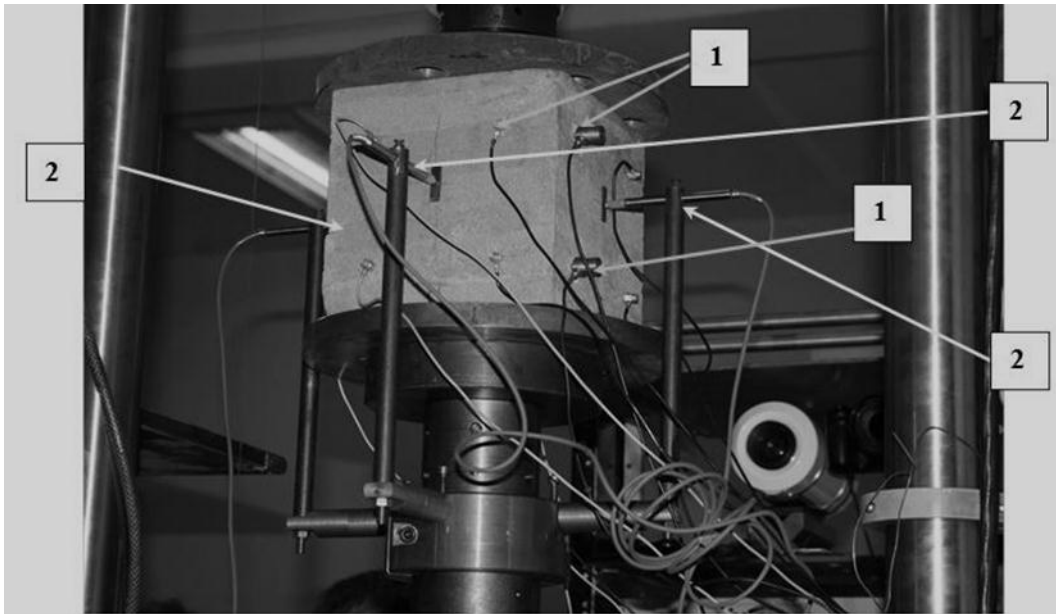


Рис. 2. Общий вид кубического образца, установленного в захватах прессы Instron 8802, с микросейсмическими датчиками KD19 (1) и датчиками перемещения Solartron DP10S (2)

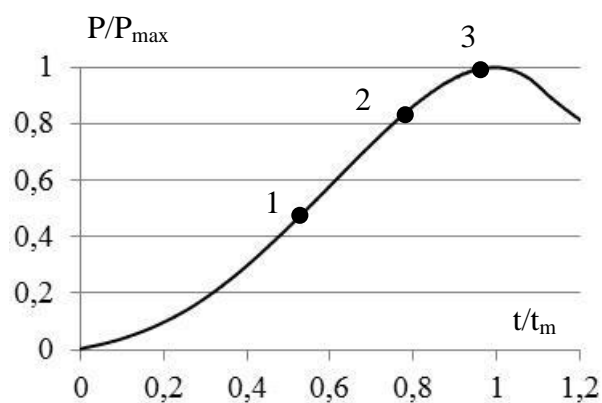


Рис. 3. Диаграмма « $P/P_{max} - t/t_{max}$ » при одноосном сжатии кубического образца с углом напластования $\Psi = 45^\circ$

Для кубических образцов было обработано большое количество микросейсмических сигналов, ниже на рис. 4 приводятся типовые сигналы, полученные для различных стадий деформирования (это точки 1, 2, 3, 4, 5, 6 на диаграмме « $P/P_{max} - t/t_{max}$ » рис. 3).

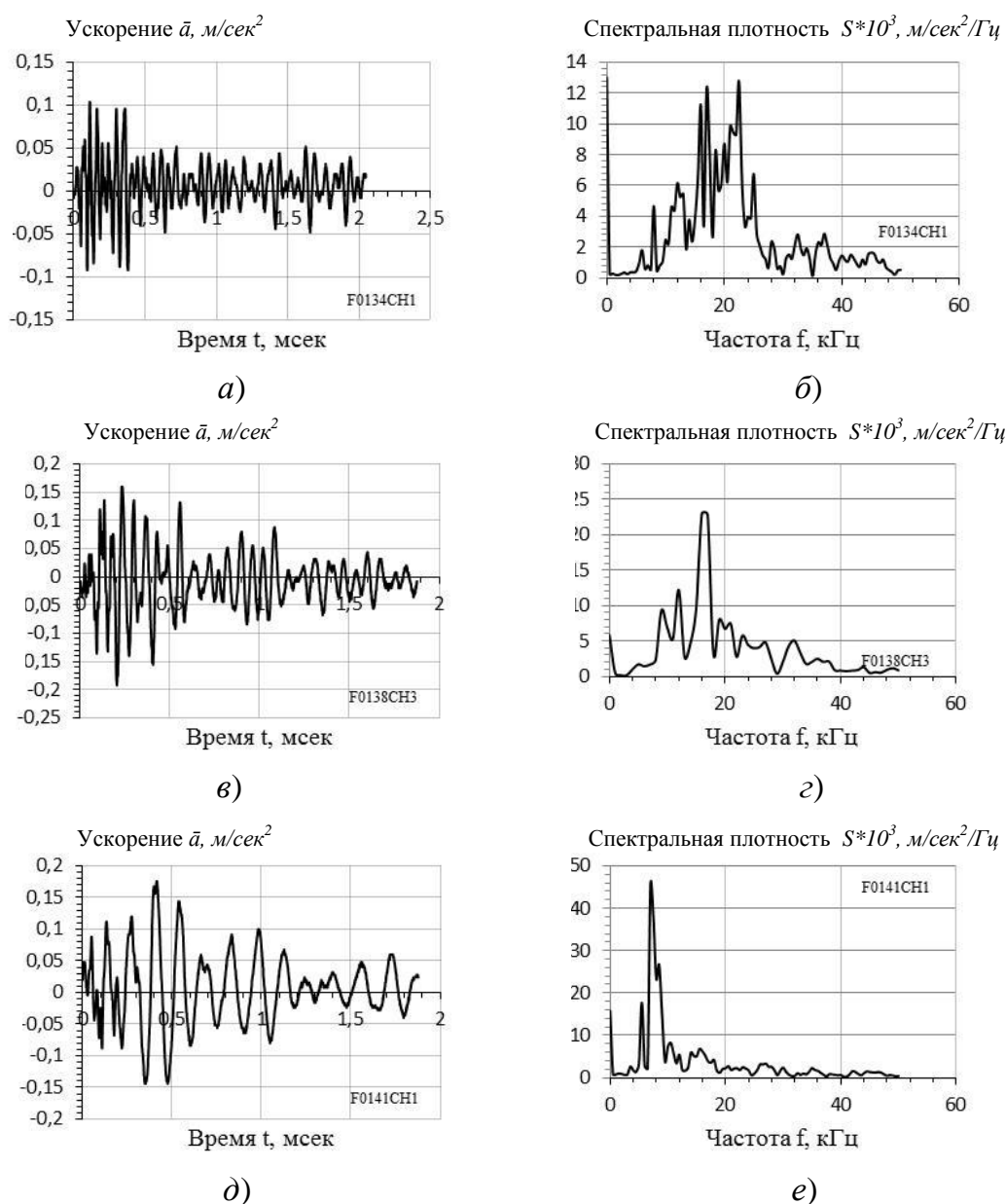


Рис. 4. Сигналы МСЭ, зарегистрированные в точках 1, 2, 3 диаграммы « $P/P_{max} - t/t_{max}$ » на рис. 9

Комплексный анализ эволюции сигналов микросейсмической эмиссии, напряжения и деформации показал, что эволюция трещинообразования в образцах геоматериала вполне удовлетворительно характеризуется каждым из методов. Кроме того, существует четкая взаимосвязь между закономерностями изменения параметров сигналов МСЭ с диаграммой «напряжение-деформация»:

На 1-й стадии нагружения при напряжениях, не превышающих 0,25-0,5 пиковой нагрузки, наблюдается незначительное количество сигналов МСЭ, сигналы по частоте широкополосные. На 2-й стадии деформирования, когда напряжение принимает значения от 0,4-0,5 до 0,7-0,8 предела прочности, количество сигналов МСЭ возрастает, возрастает их амплитуда, частотный спектр несколько сужается и смещается в сторону низких частот. На 3-й стадии деформирования при значениях напряжений от 0,8 предела прочности до пиковой нагрузки количество сигналов МСЭ возрастает в несколько раз относительно предыдущей стадии деформирования, возрастает их амплитуда, при этом частотный спектр еще более смещается в сторону низких частот, и его полоса значительно сужается. Карты пространственно-временного распределения сигналов МСЭ демонстрируют их существенно неравномерное распределение в объеме образца. Важно отметить, что место выхода магистрального разрыва на поверхность образца можно определить при нагрузках, меньших пиковой, когда образец еще сохраняет целостность.

Для кубических образцов с углом напластования $\Psi = 45^\circ$ отмеченные закономерности эволюции сигналов МСЭ выражены наиболее ярко.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-05-07566) на оборудовании ЦКП геомеханических, геофизических и геодинамических измерений СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Reza Nejati H., Ghazvinian A. Brittleness Effect on Rock Fatigue Damage Evolution // Rock Mechanics and Rock Engineering, 2014, Volume 47, Issue 5, pp. 1839-1848.
2. Seop J., Kim K.S. Lee, Cho W.J., Choi H.J., Cho G.C.. A Comparative Evaluation of Stress–Strain and Acoustic Emission Methods for Quantitative Damage Assessments of Brittle Rock // Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015, Volume 48, Issue 2, pp. 495-508.
3. Шкуратник В.Л., Новиков Е.А., Ошкин Р.О.. Экспериментальное исследование термостимулированной акустической эмиссии образцов горных пород различных генотипов при одноосном нагружении // Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2.
4. Wang E., Jia H., Song D., Li N., Qian W. Use of ultra-low-frequency electromagnetic emission to monitor stress and failure in coal mines // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 70.
5. Курленя М. В., Сердюков А. С., Дучков А. А., Сердюков С. В. Волновая томография очагов аккумуляции метана в угольном пласте // ФТПРПИ. – 2014. – № 4.
6. Сердюков С. В., Азаров А. В., Дергач П. А., Дучков А. А. Аппаратные решения микросейсмического мониторинга геодинамических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых // ФТПРПИ. – 2015. – № 3.
7. Особенности развития процессов деформирования и микросейсмической эмиссии при нагружении образцов горных пород до разрушения / В. И. Востриков, О. М. Усольцева, П. А. Цой, В. Н. Семенов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 3. – С. 45–49.

© О. М. Усольцева, В. И. Востриков, П. А. Цой, В. Н. Семенов, 2017