

Проверка выполнения закона продуктивности землетрясений в условиях лабораторных экспериментов по разрушению горных пород

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия
 Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
 E-mail: sofijamat@mail.ru



Маточкина С.Д.

Аннотация

В данной работе проводится проверка выполнения закона продуктивности землетрясений [Shebalin, 2020] в лабораторных условиях. Выявлено, что для событий акустической эмиссии в рассмотренных образцах характерно одномодальное распределение функции близости до ближайшего соседа. Показано выполнение закона продуктивности землетрясений в лабораторных условиях, говорящее о подобии природы афтершоковых событий в лабораторных условиях природе реальных землетрясений.

Функция близости

Для определения связей между событиями и их разделения в каталоге на кластеризованные и независимые для последующего анализа продуктивности связанных событий используется метод ближайшего соседа, устанавливающий однозначную связь двух событий друг с другом в пространстве, времени и магнитуде [Zaliapin, 2008]. В качестве меры связи между землетрясениями используется функция близости [Baiesi, Paczuski, 2004]:

$$\eta_{ij} = \begin{cases} t_{ij}(r_{ij})^d 10^{-bm_i}, & t_{ij} > 0 \\ +\infty, & t_{ij} \leq 0 \end{cases}$$

где индексы указывают порядковый номер землетрясения во времени, t_{ij} – время между землетрясениями, r_{ij} – пространственное расстояние между эпицентрами, d – фрактальная размерность распределения эпицентров, b – наклон графика повторяемости, m_i – магнитуда первого по времени события.

Исследуемые образцы

Образцы гранита: серия АЕ (АЕ36, АЕ39, АЕ42) – Лаборатория трения горных пород [Смирнов, Пономарев, 2020]. Образцы песчаника: серия ВS (ВS02, ВS03, ВS04) – Лаборатория геомеханики и реологии [Смирнов, 2019].

Истории нагружения образцов гранита и песчаника представлены на рис. 1а и рис. 1б соответственно.

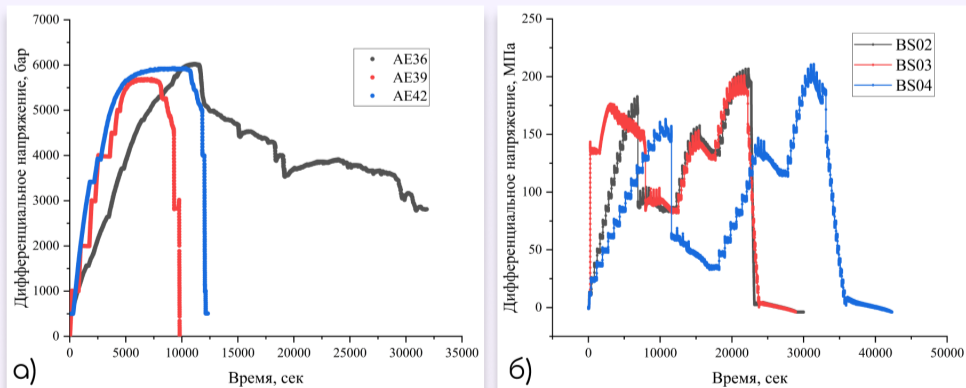


Рис. 1. История нагружения образцов (дифференциальные напряжения) в экспериментах а) АЕ36, АЕ39, АЕ42 и б) ВS02, ВS03, ВS04.

Распределение функции близости до ближайшего соседа

Вводя порог η_0 , можно разделить фоновые ($\eta > \eta_0$) и связанные ($\eta \leq \eta_0$) события. Для определения порога функции близости были построены распределения функции близости до ближайшего соседа (см. пример на рисунке 2): реальное, случайное и кластеризованное. В отличие от анализированных реальных землетрясений [Баранов, Шебалин, 2019; Shebalin, 2020], в случае лабораторных исследований наблюдается одномодальное распределение для каждого из этапов эксперимента.

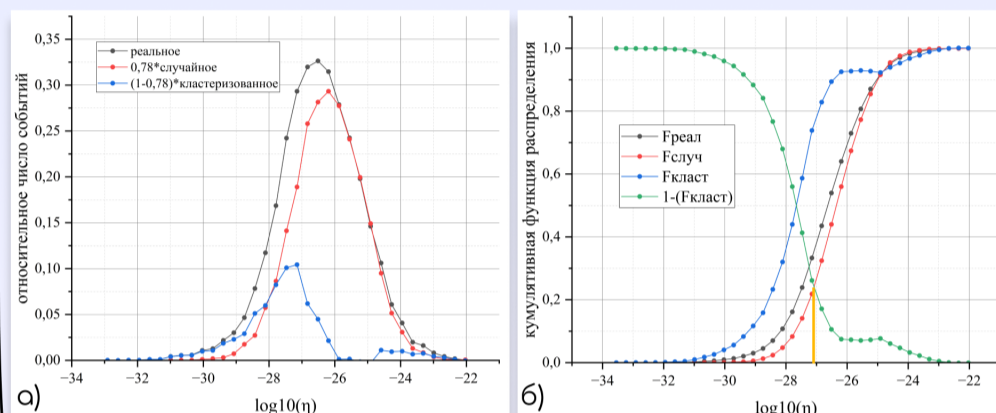


Рис. 2. а) График распределения функции близости до ближайшего соседа, б) график кумулятивной функции распределения (для эксперимента ВS02). Оранжевая линия – пороговое значение.

Распределение продуктивности событий акустической эмиссии

С использованием относительного порога магнитуды ΔM для учета масштабной инвариантности, показано, что продуктивность, связанная с каждым событием, является случайной величиной, которая следует экспоненциальному распределению [Shebalin, 2020].

Благодаря полученным пороговым значениям функции близости были построены распределения продуктивностей для каждого анализируемого лабораторного эксперимента (см. рисунок 3). Все рассмотренные эксперименты подчиняются экспоненциальному распределению.

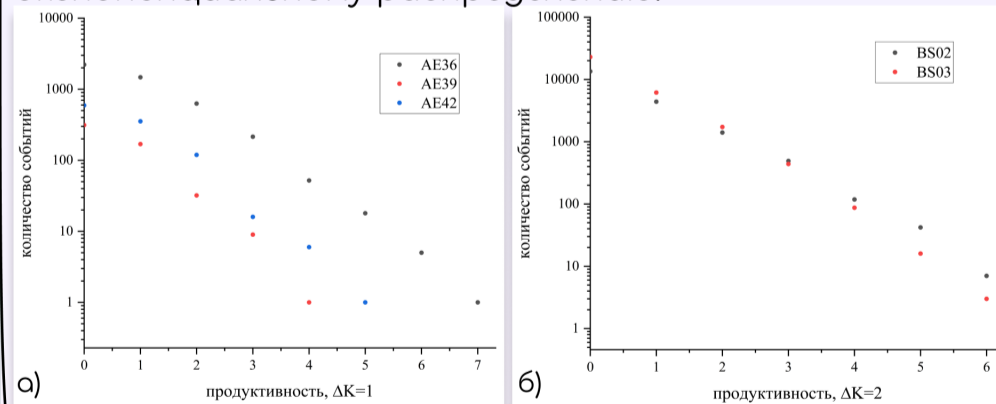


Рис. 3. Распределение продуктивности событий акустической эмиссии для областей экспериментов после магистрального разлома (областей афтершоковых событий) а) серия АЕ, б) серия ВS.

Автор выражает особую благодарность В.Б. Смирнову и А.В. Пономареву за предоставленные данные и консультации по особенностям лабораторных экспериментов, в которых они получены, а также П.Н. Шебалину за постоянное внимание к работе. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 20-17-00180-П).

Литература

Баранов С.В., Шебалин П.Н. Закономерности постсейсмических процессов и прогноз опасности сильных афтершоков. Москва: РАН, 2019. С. 29-108.
 Смирнов В.Б., Пономарев А.В. Физика переходных режимов сейсмичности. Москва: РАН, 2020. С. 252-258.
 Смирнов В. Б., Пономарев А. В., Станцич С. А., Потанина М. Г., Патонин А. В., Дресен Г., Нартеау С., Бернард Р., Строганова С. М. Лабораторное моделирование афтершоковых последовательностей: зависимость параметров Омори и Гутенберга–Рихтера от напряжений // Физика земли. 2019. № 1. С. 149-165.
 Baiesi, M. & Paczuski, M. Scale-free networks of earthquakes and aftershocks // Phys. Rev. E. 2004. 69. 066106.
 Marsan, D., and Lengline, O. Extending Earthquakes' Reach through Cascading // Science. 2008. 319. P. 1076-1079. doi:10.1126/science.1148783
 Ogata, Y. Statistical model for standard seismicity and detection of anomalies by residual analysis // Tectonophysics. 1989. 169. 1-3. P. 159-174.
 Shebalin, P.N., Narreau, C., Baranov, S.V. Earthquake productivity law // Geophysical Journal International. 2020. 222. 2. P. 1264-1269.
 Shebalin, P.N., Narreau, C., Baranov, S.V. Earthquake productivity law // Geophysical Journal International (Supporting information). 2020. 222. 2. P. 1264-1269.
 Zaliapin, I., Gabriellov, A., Keilis-Borok, V., Wong, H. Clustering analysis of seismicity and aftershock identification // Phys. Rev. Lett. 2008. 101. 1. 018501.