

## Синхронизация мультифрактальных свойств непрерывной акустической эмиссии при подготовке и реализации подвижки по модельному разлому

<sup>1</sup> Пантелеев Иван Алексеевич, <https://orcid.org/0000-0002-7430-3667>, pia@icmm.ru

<sup>2</sup> Окунев Владимир Иванович, <https://orcid.org/0000-0001-6024-0848>, viok56@mail.ru

<sup>2</sup> Новиков Виктор Александрович, <https://orcid.org/0000-0001-9009-8862>, novikov\_victor\_a@mail.ru

<sup>1</sup> Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

<sup>2</sup> Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

Резюме [PDF RUS](#)

Abstract [PDF ENG](#)

Полный текст [PDF RUS](#)

**Резюме.** Согласно модели прерывистого скольжения, относительное движение берегов разлома представляет собой акт неустойчивого проскальзывания, при котором движение начинается после достижения напряжениями, касательными к плоскости разлома, определенного предела. Физический механизм динамического проскальзывания по разлому заключается в последовательном формировании в зоне контакта конгломератов нагруженных частиц (силовых цепочек) и последующем их разрушении. Данные цепочки в совокупности формируют силовой скелет, характеризующийся определенной пространственной структурой и прочностными характеристиками. Повышение сдвигового напряжения на берегах разлома приводит к локальным разрушениям силового скелета, дальнейшая эволюция системы выводит процессы деструкции на более высокие пространственные уровни, что в результате приводит к сдвигу берегов разлома. Так как развитие процесса деструкции силовых цепочек в контактной зоне разлома по иерархии масштабов снизу-вверх подобно развитию трещинообразования в нагруженной среде от микромасштаба до макромасштаба (масштаба образца), авторами была высказана гипотеза о когерентном поведении акустических шумов, сопровождающих подготовку динамического проскальзывания и регистрируемых в различных областях зоны разлома. Настоящая работа посвящена проверке данной гипотезы в лабораторном масштабе на установке, имитирующей подвижку по разлому. В результате проведенного анализа подтверждена гипотеза о синхронизации статистических свойств акустической эмиссии при подготовке и реализации динамической подвижки. Показано, что наблюдение (выявление) эффекта синхронизации статистических свойств акустической эмиссии зависит как от набора параметров, для которых рассчитывается спектральная мера когерентности, так и от места регистрации исходных данных.

*Ключевые слова:*

**модельный разлом, акустическая эмиссия, синхронизация, мультифрактальные свойства**

**Для цитирования:** Пантелеев И.А., Окунев В.И., Новиков В.А. Синхронизация мультифрактальных свойств непрерывной акустической эмиссии при подготовке и реализации подвижки по модельному разлому. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 4, с. 405–418. <https://doi.org/10.30730/qtr.2023.7.4.405-418>; <https://www.elibrary.ru/bpomeb>

**For citation:** Panteleev I.A., Okunev V.I., Novikov V.A. Synchronization of multifractal properties of continuous acoustic emission during the preparation and implementation of dynamic slip in model fault. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 4, pp. 405–418. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/qtr.2023.7.4.405-418>; <https://www.elibrary.ru/bpomeb>

### Список литературы

1. Быков В.Г. 2005. Деформационные волны земли: концепция, наблюдения и модели. *Геология и геофизика*, 46(11): 1176–1190.
2. Семинский К.Ж. 2008. Иерархия зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии. *Геология и геофизика*, 49(10): 1018–1030.
3. Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Новиков В.А., Остапчук А.А. 2014. Медленные перемещения по разломам: параметры, условия возникновения, перспективы исследований. *Геодинамика и тектонофизика*, 5(4): 863–891. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-4-0160>
4. Борняков С.А., Пантелеев И.А., Черемных А.В., Каримова А.А. 2018. Экспериментальное исследование периодической активизации разлома в сейсмической зоне. *Геодинамика и тектонофизика*, 9(3): 653–670.
5. Brace W.F., Byerlee J.D. 1966. Stick-slip as a mechanism for earthquakes. *Science*, 153: 990–992. <https://doi.org/10.1126/science.153.3739.990>
6. Кочарян Г.Г., Марков В.К., Остапчук А.А., Павлов Д.В. 2013. Мезомеханика сопротивления сдвигу по трещине с заполнителем. *Физическая мезомеханика*, 16(5): 5–15.

7. Ben-David O., Rubinstein S.M., Fineberg J. **2010**. Slip-stick and the evolution of frictional strength. *Nature*, 463: 76–79. <https://doi.org/10.1038/nature08676>
8. Кочарян Г.Г., Остапчук А.А., Павлов Д.В., Гридин Г.А., Морозова К.Г., Hongwen J., Пантелеев И.А. **2022**. Лабораторные исследования закономерностей фрикционного взаимодействия блоков скальной породы метрового масштаба. Методика и первые результаты. *Физика Земли*, 6: 162–174.
9. Любушин А.А., Соболев Г.А. **2006**. Мультифрактальные меры синхронизации микросейсмических колебаний в минутном диапазоне периодов. *Физика Земли*, 9: 18–28.
10. Любушин А.А. **2008**. Микросейсмический шум в минутном диапазоне периодов: свойства и возможные прогностические признаки. *Физика Земли*, 4: 17–34.
11. Любушин А.А. **2009**. Тренды и ритмы синхронизации мультифрактальных параметров поля низкочастотных микросейсм. *Физика Земли*, 5: 15–28.
12. Любушин А.А. **2010**. Статистики временных фрагментов низкочастотных микросейсм: их тренды и синхронизация. *Физика Земли*, 6: 86–96.
13. Любушин А.А. **2011**. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 года. Долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсмам. *Геофизические процессы и биосфера*, 10(1): 9–35.
14. Любушин А.А. **2012**. Прогноз Великого Японского землетрясения. *Природа*, 8: 23–33.
15. Мячкин В.И., Костров Б.В., Шамина О.Г., Соболев Г.А. **1975**. Основы физики очага и предвестники землетрясений. В кн.: *Физика очага землетрясения*. М.: Наука, с. 9–41.
16. Lockner D.A., Byerlee J.D., Kuksenko V.S., et al. **1992**. Observations of quasistatic fault growth from acoustic emissions. In: Evans B., Wong T.-F., et al. (Eds.). *Fault mechanics and transport properties of rocks*. London: Acad. Press, p. 3–31.
17. Соболев Г.А., Пономарев А.В. **2003**. *Физика землетрясений и предвестники*. М.: Наука, 270 с.
18. Соболев Г.А. **1993**. *Основы прогноза землетрясений*. М.: Наука, 310 с.
19. Пантелеев И.А., Баяндин Ю.В., Плехов О.А. **2022**. Эффект синхронизации статистических свойств непрерывной акустической эмиссии при деформировании структурно-неоднородных материалов. *Вестник ПНИПУ. Механика*, 3: 5–13. <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2022.3.01>
20. Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Markov V.K., Krasheninnikov A.V. **2016**. Study of acoustic emission signals during fracture shear deformation. *Acoustical Physics*, 62(4): 505–513. <https://doi.org/10.1134/s1063771016040138>
21. Кочарян Г.Г. **2016**. *Геомеханика разломов*. М.: ГЕОС, 424 с.
22. Кочарян Г.Г., Новиков В.А. **2015**. Экспериментальное исследование различных режимов скольжения блоков по границе раздела. Ч. 1. Лабораторные эксперименты. *Физическая мезомеханика*, 18(4): 94–104.
23. Gerasimova E., Audit B., Roux S.-G., Khalil A., Gileva O., Argoul F., Naimark O., Arneodo A. **2014**. Wavelet-based multifractal analysis of dynamic infrared thermograms to assist in early breast cancer diagnosis. *Frontiers in Physiology*, 5: 176. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00176>
24. Ghost D., Dutta S., Samanta S. **2012**. Fluctuation of gold price: a multifractal approach. *Acta Physica Polonica B*, 43(6): 1261–1274.
25. Absil P., Sepulchre R., Bilge A., Gerard P. **1999**. Nonlinear analysis of cardiac rhythm fluctuations using DFA method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 271: 235–244. [https://doi.org/10.1016/s0378-4371\(99\)00295-2](https://doi.org/10.1016/s0378-4371(99)00295-2)
26. Makowiec D., Galaska R., Dudkowska A., Rynkiewicz A., Zwierz M. **2006**. Long-range dependencies in heart rate signals – revisited. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 369: 632–644. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.02.038>
27. Biswas A., Zeleke T.B., Si B.C. **2012**. Multifractal detrended fluctuation analysis in examining scaling properties of the spatial patterns of soil water storage. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 19: 227–238. <https://doi.org/10.5194/npg-19-227-2012>
28. Movahed M.S., Jafari G.R., Ghasemi F., Rahvar S., Reza Rahimi Tabar M. **2006**. Multifractal detrended fluctuation analysis of sunspot time series. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2006(02): 02003. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2011/09/e09001>
29. Pedron I.T. **2010**. Correlation and multifractality in climatological time series. *Journal of Physics: Conference Series*, 246: 012034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/246/1/012034>
30. Пантелеев И.А., Баяндин Ю.В., Наймарк О.Б. **2016**. Пространственно-временные закономерности развития поврежденности при деформировании стекловолоконного тканого ламината по данным акустической эмиссии. *Физическая мезомеханика*, 19(4): 64–73.
31. Любушин А.А. **1998**. Анализ канонических когерентностей в задачах геофизического мониторинга. *Физика Земли*, 1: 59–66.
32. Любушин А.А. **2007**. *Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга*. М.: Наука, 228 с.