

О сброшенных напряжениях в очагах умеренных и слабых землетрясений: особенности распределения во времени

Богомолов Леонид Михайлович¹, <https://orcid.org/0000-0002-9124-9797>, bleom@mail.ru

Сычев Владимир Николаевич*¹, <https://orcid.org/0000-0001-7508-9087>, koitash@mail.ru

Сычева Найля Абдуллоевна², <https://orcid.org/0000-0003-0386-3752>, ivtran@mail.ru

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Резюме [PDF RUS](#)

Abstract [PDF ENG](#)

Полный текст [PDF RUS & ENG](#)

Резюме. Проведен анализ изменения сброшенных напряжений во времени в период форшоковой активности сильных землетрясений для двух сейсмоактивных регионов с различной геодинамической обстановкой: Северный Тянь-Шань и Южные Курильские острова. В качестве исходных данных использованы ранее составленные каталоги динамических параметров (ДП) землетрясений в этих регионах с большим числом событий. Для Северного Тянь-Шаня каталог ДП очагов содержит 183 записи для землетрясений с магнитудами 2.6–6.0, а в случае Южных Курил – 264 записи. Значения сброшенных напряжений анализируются по всей выборке и для форшоковых периодов – 500 дней перед наиболее сильными землетрясениями. Для обоих регионов выделено по 12 таких значимых событий с магнитудами $M > 5$ для Северного Тянь-Шаня и $M \geq 6.5$ для Южных Курил. Определены медианные средние значения сброшенных напряжений в 500-дневные периоды. Проведено сравнение изменения сброшенных напряжений во времени с изменениями значений b -value (модуль углового коэффициента графика повторяемости землетрясений) за одни и те же периоды наблюдений. Для расчетов b -value в случае Северного Тянь-Шаня использовался каталог сейсмологической сети KNET (1994–2021 гг., более 10 тысяч событий), а в случае Южных Курил – каталог ISC (International Seismological Center) (1964–2000 гг.). В обоих случаях расчет величины b -value выполняется для скользящего интервала 500 дней, со сдвигом 1 день. По результатам расчетов для обоих изучаемых регионов отчетливо проявился хорошо известный эффект увеличения параметра b -value перед сильными землетрясениями. Установлено, что такое возрастание b -value сопровождается уменьшением усредненной величины снятия напряжений. Полученные результаты показали, что проведение мониторинга сброшенных напряжений во времени может быть использовано для выявления нестационарности сейсмического режима.

Ключевые слова:

землетрясение, сейсмичность, период форшоков, сброшенные напряжения, b -value, Северный Тянь-Шань, Южные Курильские острова

Для цитирования: Богомолов Л.М., Сычев В.Н., Сычева Н.А. О сброшенных напряжениях в очагах умеренных и слабых землетрясений: особенности распределения во времени. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 1, с. 25–53.

<https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.1.025-036.037-053> ; <https://www.elibrary.ru/xdworg>

For citation: Bogomolov L.M., Sychev V.N., Sycheva N.A. On stress drops in the sources of moderate and weak earthquakes: features of distribution in time. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 1, pp. 25–53. (In Russ. & Engl.).

<https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.1.025-036.037-053> ; <https://www.elibrary.ru/xdworg>

Список литературы

1. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Кузиков С.И. **2020.** *Вычислительные технологии в сейсмологических исследованиях (на примере KNET, Северный Тянь-Шань)*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 358 с.
2. Кальметьева З.А., Мельникова Т.А., Мусиенко Е.В., Юдахин Ф.Я. **1992.** Модели очаговых зон сильных землетрясений. В кн.: *Типовые геолого-геофизические модели сейсмичных и асейсмичных районов*. Бишкек: Илим, с. 124–131.
3. Бурымская Р.Н. **2001.** Спектральный состав излучения и очаговые параметры землетрясений северо-западной части Тихого океана за 1969–1996 годы. В кн.: *Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, т. 1: 48–67.
4. Ключевский А.В., Демьянович В.М. **2002.** Динамические параметры очагов землетрясений Байкальской сейсмической зоны. *Физика Земли*, 2: 55–66.
5. Brune J.N. **1970.** Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. of Geophysical Research*, 75(26): 4997–5009. <https://doi.org/10.1029/jb075i026p04997>

6. Brune J. N. **1971**. Corrections. *J. of Geophysical Research*, 76: 5002.
7. Сычева Н.А., Богомолов Л.М. **2020**. О сброшенных напряжениях в очагах землетрясений Северной Евразии и приведенной сейсмической энергии. *Геосистемы переходных зон*, 4(4): 393–446. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.4.393-416.417-446>
8. Dziewonski A.M., Chou T.A., Woodhouse J.H. **1981**. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of regional and global seismicity. *J. of Geophysical Research*, 86: 2825–2852. <https://doi.org/10.1029/jb086ib04p02825>
9. Кочарян Г.Г. **2012**. Об излучательной эффективности землетрясений (пример геомеханической интерпретации результатов сейсмологических наблюдений). *Динамические процессы в геосферах*, 3: 36–47.
10. Кочарян Г.Г. **2014**. Масштабный эффект в сейсмотектонике. *Геодинамика и тектонофизика*, 5(2): 353–385. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0133>
11. Кочарян Г.Г. **2016**. *Геомеханика разломов*. М.: ГЕОС, 424 с.
12. Кочарян Г.Г., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б. **2016**. Энергия, излучаемая сейсмическими событиями различного масштаба и генезиса. *Физика Земли*, 4: 141–156. doi:10.7868/S0002333716040037
13. Богомолов Л.М., Сычева Н.А., Закупин А.С., Каменев П.А., Сычев В.Н. **2015**. Распределение спада напряжений в очагах землетрясений и проявления триггерных эффектов. В кн.: *Триггерные эффекты в геосистемах: материалы третьего Всероссийского семинара-совещания (Москва 16–19 июня 2015 г.)*. М.: ГЕОС, с. 48–56.
14. Сычева Н.А. **2020**. Тензор сейсмического момента и динамические параметры землетрясений Центрального Тянь-Шаня. *Геосистемы переходных зон*, 4(2): 178–209. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.178-191.192-209>
15. Molnar P., Tapponnier P. **1975**. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision: features of recent continental tectonics in Asia can be interpreted as results of the India-Eurasia collision. *Science*, 189(4201): 419–426. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.419>
16. Сычева Н.А. **2022**. Некоторые характеристики каталога землетрясений и сейсмического процесса по данным сети КНЕТ. *Геодинамика и тектонофизика*, 13(3). <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-3-0640>
17. Нусипов Е.Н., Оспанов А.М., Ли А.Н., Нысанбаев Т.Е. **2004**. Луговское землетрясение 23 мая 2003 года. В кн.: *Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии: Доклады Пятого Казахстанско-Китайского Международного симпозиума, 24–27 сент. 2003 г.* Алматы: ИС МОН РК, с. 19–25.
18. Гребенникова В.В., Фролова А.Г., Багманова Н.Х., Берёзина А.В., Першина Е.В., Молдобекова С. **2018**. Каджисайское землетрясение 14 ноября 2014 г. с $K_p=13.7$, $M_{PVA}=6.2$, $I_0=7$ (Кыргызстан – Южное Прииссыккулье). *Вестник НЯЦ РК*, 2(июнь): 135–143. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-2-135-143>
19. Фортуна А.Б., Абдиева С.В., Клоков И.А., Корженков А.М., Стрельников А.А. **2019**. Сейсмичность Иссык-Кульской области. *Вестник Института сейсмологии НАН КР*, 2(14): 98–107.
20. Гусева И.С., Архипова Е.В. **2019**. Анализ системного единства современного развития Курило-Камчатской островной дуги и острова Сахалин на основе сейсмологических данных. *Успехи современного естествознания*, 6: 46–50.
21. Прытков А.С., Василенко Н.Ф., Фролов Д.И. **2017**. Современная геодинамика Курильской зоны субдукции. *Тихоокеанская геология*, 36(1): 23–28.
22. Тихонов И.Н., Левин Б.В. **2015**. Прогноз сильных землетрясений Сахалинской области: история, результаты и перспективы. В кн.: *Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. В 2 т. Южно-Сахалинск; Владивосток: Дальнаука, т. 1: 41–45.
23. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. **2017**. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов. *Тихоокеанская геология*, 36(3): 102–112.
24. *International Seismological Centre ISC-EHB: Event catalogue*. URL: <http://www.isc.ac.uk/citations/> (дата обращения: 02.11.2022).
25. Костров Б.В. **1975**. *Механика очага тектонического землетрясения*. М.: Наука, 175 с.
26. Ризниченко Ю.В. **1985**. *Проблемы сейсмологии*. Избранные труды. М.: Наука, 408 с.
27. Madariaga R. **1976**. Dynamics of an expanding circular fault. *Bull. of the Seismological Society of America*, 66: 639–666.
28. Madariaga R. **1979**. On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity. *J. of Geophysical Research*, 84: 2243–2250. <https://doi.org/10.1029/jb084ib05p02243>
29. Boore D.M. **2003**. Simulation of ground motion using the stochastic method. *Pure and Applied Geophysics*, 160(3): 635–676. <https://doi.org/10.1007/pl00012553>
30. Abercrombie R.E., Rice J.R. **2005**. Can observations of earthquake scaling constrain slip weakening? *Geophysical J. International*, 162: 406–424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2005.02579.x>
31. Lancieri M., Madariaga R., Bonilla F. **2012**. Spectral scaling of the aftershocks of the Tocopilla 2007 earthquake in northern Chile. *Geophysical J. International*, 189: 469–480. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05327.x>
32. Kaneko Y., Shearer P.M. **2014**. Seismic source spectra and estimated stress drop derived from cohesive zone models of circular sub shear rupture. *Geophysical J. International*, 197(2): 1002–1015. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu030>
33. Gibowicz S.J., Kijko A. **1994**. *An introduction to mining seismology*. San Diego: Academic Press, 399 p.
34. Москвина А.Г. **1969**. Поле смещения упругих волн, создаваемое распространяющейся дислокацией. *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 6: 3–10.
35. Москвина А.Г. **1969**. Исследование полей смещения упругих волн в зависимости от характеристик очага землетрясения. *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 9: 3–16.
36. Sato T., Hirasawa T. **1973**. Body wave spectra from propagating shear cracks. *J. of Physics of the Earth*, 21: 415–431. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.21.415>
37. Kwiatek G., Ben-Zion Y. **2013**. Assessment of P and S wave energy radiated from very small shear-tensile seismic events in a deep South African mine. *J. of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(7): 3630–3641. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50274>
38. Gutenberg B., Richter C.F. **1944**. Frequency of earthquakes in California. *Bull. of the Seismological Society of America*, 34: 185–188. <https://doi.org/10.1785/bssa0340040185>

39. Смирнов В.Б., Завьялов А.Д. **2012**. К вопросу о сейсмическом отклике на электромагнитное зондирование литосферы Земли. *Физика Земли*, 7-8: 63–88.
40. Смирнов В.Б., Пономарев А.В. **2020**. *Физика переходных режимов сейсмичности*. М.: РАН, 412 с.
41. Попандопуло Г.А. **2018**. Детальные исследования временных вариаций параметра *b-value* закона Гутенберга–Рихтера по данным высокоточных сейсмических наблюдений на Гармском полигоне в Таджикистане. *Физика Земли*, 4: 79–99.
42. Любушин А.А. **2007**. *Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга*. М.: Наука, 228 с.
43. Щетников Н.А. **1981**. *Цунами*. М.: Наука, 88 с.
44. Тихонов И.Н. **2006**. *Методы анализа каталогов землетрясений для целей средне- и краткосрочного прогнозов сильных сейсмических событий*. Владивосток; Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 214 с.
45. Богомолов Л.М., Сычева Н.А. **2022**. Прогноз землетрясений в XXI веке: предыстория и концепции, предвестники и проблемы. *Геосистемы переходных зон*, 6(3): 145–182. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.3.145-164.164-182>