

## Анализ динамических параметров землетрясений Крымско-Черноморского региона. Распределение сброса напряжений

Сычева Найля Абдулловна, <https://orcid.org/0000-0003-0386-3752>, [nelya@ifz.ru](mailto:nelya@ifz.ru)

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

Резюме [PDF RUS](#) [PDF ENG](#) [Полный текст](#) [PDF RUS](#)

**Резюме.** Для Крымско-Черноморского региона из опубликованных источников собраны сведения о динамических параметрах (ДП) 261 землетрясения с  $K_{\Pi} = 5.2\text{--}13.1$  ( $K_{\Pi}$  – класс землетрясения по Пустовитенко и Кульчицкому), которые произошли с 1990 по 2022 г.: скалярный сейсмический момент  $M_0$ , радиус очага  $r$ , сброс касательных напряжений  $\Delta\sigma$  и др. Построены распределения ДП в зависимости от магнитуды и скалярного сейсмического момента, выполнена аппроксимация распределений ДП линейной функцией, в некоторых случаях дополнительно рассматривалась степенная. Рассчитан коэффициент детерминации  $R^2$ . Для Крымско-Черноморского региона зависимость логарифма скалярного сейсмического момента имеет вид:  $\lg(M_0) = 0.87M + 11.4$  ( $R^2 = 0.84$ ). На основе каталога землетрясений (1993–2022 г.) построено площадное распределение среднегодовой скорости сеймотектонических деформаций (интенсивность СТД). Проведено сравнение интенсивности СТД с уровнем сброшенных напряжений. По данным о сброшенных касательных напряжениях для Крымско-Черноморского региона построено площадное распределение средневзвешенного значения сброшенных напряжений.

### Ключевые слова:

**землетрясение, сейсмичность, скалярный сейсмический момент, моментная магнитуда, радиус очага, сброс касательных напряжений, коэффициент детерминации, сеймотектонические деформации, Крымско-Черноморский регион**

**Для цитирования:** Сычева Н.А. Анализ динамических параметров землетрясений Крымско-Черноморского региона. Распределение сброса напряжений. *Геосистемы переходных зон*, 2026, т. 10, № 1, с. 5–22.

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2026.10.1.005-022>; <https://www.elibrary.ru/fkahve>

**For citation:** Sycheva N.A. Analysis of dynamic parameters of earthquakes in the Crimean-Black Sea region. Stress drop distribution. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2026, vol. 10, No. 1, pp. 5–22. (In Russ.).

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2026.10.1.005-022>; <https://www.elibrary.ru/fkahve>

### Список литературы

1. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F., Stein S. Current plate motions. *Geophysical Journal International*. 1990,101:425–478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.1990.tb06579.x>
2. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F., Stein S. Effects of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*. 1994,21:2191–2194. <https://doi.org/10.1029/94gl02118>
3. Smith D.E., Kolenkiewics R., Robbins J.W., Dunn P.J., Torrence M.H. Horizontal crustal motion in the central and eastern Mediterranean inferred from satellite laser ranging measurements. *Geophysical Research Letters*. 1994,21:1979–1982. <https://doi.org/10.1029/94gl01612>
4. Reilinger R. et al. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research*. 1997,102:9983–9999. <https://doi.org/10.1029/96jb03736>
5. Tari E., Sahin M., Barka A., Reilinger R., King R., McClusky S., Prilepin M. Active tectonics of the Black Sea with GPS. *Earth, Planets and Space*. 2000,52:747–751. <https://doi.org/10.1186/bf03352276>
6. Segall P., Davis J.L. GPS application for geodynamics and earthquake studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 1997,25:301–336. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.25.1.301>
7. Herring T.A. Geodetic applications of GPS. *Proceedings of the IEEE*. 1999,87:92–110. <https://doi.org/10.1109/5.736344>
8. McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern

9. Gorur N. Cretaceous syn- to post-rift sedimentation on the Southern Continental Margin of the Western Black Sea Basin. In: *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region* (ed. by A.G. Robinson). American Association of Petroleum Geologists (AAPG), AAPG Memoir. 1997,68:227–240.
10. Spadini G., Robinson A., Cloetingh S. Western versus Eastern Black Sea tectonic evolution: pre-rift lithospheric controls on basin formation. *Tectonophysics*. 1996,266(1–4):139–154.  
[https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(96\)00187-4](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(96)00187-4)
11. Миронов А.П., Милуков В.К., Стеблов Г.М. Современные подвижки северного Кавказа и Крыма по GPS наблюдениям. В кн.: *Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции*, 2016, т. 1, с. 168–170.
12. Гобаренко В.С., Муровская А.В., Егорова Т.П., Шеремет Е.Е. Современные коллизионные процессы на северной окраине Черного моря. *Геотектоника*. 2016,4:68–87. doi:10.7868/S0016853X16040020
13. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма 2022 года. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2023,9(4):139–156.
14. Ребецкий Ю.Л., Сычева Н.А. Тектонофизическое районирование активных разломов Алтая и Западных Саян, выделение участков подготовки сильных землетрясений. *Геотектоника*. 2025,6:85–118.
15. Ребецкий Ю.Л. Современное состояние теорий прогноза землетрясений. Результаты оценки природных напряжений и новая модель очага землетрясений. В кн.: *Проблемы тектонофизики: К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН*. М.: ИФЗ РАН, 2008, с. 359–395.
16. Певнев А.К. Прогноз землетрясений возможен (О месте геодезических исследований в решении проблемы прогноза землетрясений). Ч. 1. Г.А. Гамбурцев и возможность прогнозирования землетрясений. *Пространство и Время*. 2015,4(22):195–201.
17. Певнев А.К. Прогноз землетрясений возможен: (О месте геодезических исследований в решении проблемы прогноза землетрясений). Ч. 2. Возвращение к Г.А. Гамбурцеву: деформационная модель подготовки очага корового землетрясения. *Пространство и Время*. 2016,1-2(23-24):227–238. URL: [https://space-time.ru/spacetime/article/view/2226-7271provst1\\_2-23\\_24.2016.91](https://space-time.ru/spacetime/article/view/2226-7271provst1_2-23_24.2016.91) (дата обращения: 02.02.2026).
18. Пантелеев И.А., Наймарк О.Б. Современные тенденции в области механики тектонических землетрясений. *Вестник Пермского научного центра УрО РАН*. 2014,3:44–62. EDN: TDURFP
19. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. *Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма*. Киев: Наукова думка, 1990, 249 с.
20. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Капитанова С.А., Поречнова Е.И. Пространственные особенности очаговых параметров землетрясений Крыма. *Сейсмичность Северной Евразии: Материалы Междунар. конф.* Обнинск: ГС РАН, 2008, с. 238–242.
21. Пустовитенко Б.Г., Мержей Е.А., Пустовитенко А.А. Динамические параметры очагов землетрясений Крыма по данным цифровых сейсмических станций. *Геофизический журнал*. 2013,35(5):172–186.
22. Пустовитенко Б.Г. Уточненные очаговые параметры землетрясений Крыма 1990 года. *Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия География*. 2014,27(2):169–178.
23. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake. *Journal Geophysical Research*. 1970,75(26):4997–5009. <https://doi.org/10.1029/jb075i026p04997>
24. Brune J.N. Corrections [to “Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes”]. *Journal of Geophysical Research*. 1971,76(5002). <http://dx.doi.org/10.1029/JB076i020p05002>
25. Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага. *Вулканология и сейсмология*. 1989,2:66–79.
26. Костров Б.В. *Механика очага тектонического землетрясения*. М.: Наука, 1975, 179 с.
27. Hanks T.C., Kanamori H. A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*. 1979,84(35):2348–2350. <https://doi.org/10.1029/jb084ib05p02348>
28. Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Мержей Е.А. Динамические параметры очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона. *Землетрясения Северной Евразии*. 2016,19(2010):296–304.
29. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона. *Землетрясения Северной Евразии*. 2020,23(2014):250–262.
30. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. *Землетрясения Крымско-Черноморского региона (инструментальный период наблюдений 1927–1986 гг.)*. Киев: Наукова думка, 1989, 192 с.
31. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии. *Геодинамика и тектонофизика*. 2017,8(4):711–736. doi.org/10.5800/gt-2017-8-4-0314; EDN: ZWRGN

32. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Сухорученко С.К., Клянчин А.И. Организация и первые результаты сейсмических наблюдений в северо-западной части территории Крыма (1972–2020 гг.). *Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология*. 2020,6(4):144–169.
33. Сычева Н.А., Богомолов Л.М. Распределение приведенной сейсмической энергии и сброшенных напряжений в Алтае-Саянском сейсмоактивном регионе. *Геодинамика и тектонофизика*. 2025,16(4):0835. doi:10.5800/GT-2025-16-4-0835
34. Юнга С.Л. *Методы и результаты изучения сейсмоструктурных деформаций*. М.: Наука, 1990, 191 с.
35. Ризниченко Ю.В. *Проблемы сейсмологии: Избранные труды*. М.: Наука, 1985, 408 с.
36. Юнга С.Л. *Изучение движений поверхности и деформаций земной коры на территории Центрального Тянь-Шаня, Казахской платформы и Алтая; создание программ обработки сейсмологических данных, проведение обработки: Отчет о научно-исследовательской работе*. Обнинск, 2002, 41 с.
37. Лукк А.А., Юнга С.Л. Сейсмоструктурная деформация Гармского района. *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1979,10:24–43.
38. Rautian T.G., Khalturin V.I., Fujita K., Mackey K.G., Kendall A.D. Origins and methodology of the Russian energy K-class system and its relationship to magnitude scales. *Seismological Research Letters*. 2007,78(6):579–590. <https://doi.org/10.1785/gssrl.78.6.579>
39. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. *Эконометрика. Начальный курс*. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2004, 576 с.
40. Пузырев Н.Н. *Методы и объекты сейсмических исследований*. Новосибирск: Изд-во СО РАН: НИЦОИГГМ, 1997, 300 с.
41. Gibowicz S.J., Kijko A. *An introduction to mining seismology*. San Diego: Academic Press, 1994, 399 p. (International Geophysics). <https://doi.org/10.1016/c2009-0-02348-4>
42. Никонов А.А. Цунами на берегах Черного и Азовского морей. *Физика Земли*. 1997,1:86–96.
43. Ребецкий Ю.Л. *Тектонические напряжения и прочность горных массивов*. М.: Академкнига, 2007, 406 с.