

Сеймотектонические деформации Алтае-Саянской горной области. Часть 1

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

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

Резюме [PDF RUS](#)

Abstract [PDF ENG](#)

Полный текст [PDF RUS](#)

Резюме. Исследованы сеймотектонические деформации (СТД) земной коры Алтае-Саянской горной области. Расчет СТД выполнен на основе подходов, предложенных в работах Ю.В. Ризниченко и С.Л. Юнга. Оценка распределения сейсмичности, расчет среднегодовой скорости СТД (интенсивность СТД) выполнены на основе каталога землетрясений, произошедших за 1997–2020 гг. (15 669 событий). Выделены области проявления сейсмической активности и интенсивных сеймотектонических деформаций. Высокий уровень сейсмичности и среднегодовой скорости СТД (10^{-7} год⁻¹) отмечается в областях, где произошли крупные сейсмические события (Чуйское – 27 сентября 2003 г., Тувинские – 27 декабря 2011 и 26 февраля 2012 г.). Исследование направленности СТД основано на данных о фокальных механизмах очагов землетрясений (591 событие), произошедших с 1963 по 2021 г. Для построения карты СТД использована классификация режимов СТД. По картам СТД определено направление осей укорочения, которое меняется с запада на восток от северо-западного до северо-восточного. Для исследуемой территории характерно разнообразие деформационных обстановок: сжатие, транспрессия, горизонтальный сдвиг, трансенсия, растяжение и др. На основе усредненных тензоров деформации рассчитаны и построены карты распределения коэффициента Лоде–Надаи, угла обобщенно-плоской деформации, вертикальной компоненты. На исследуемой территории выделяются зоны, где проявляются различные режимы деформации – простое сжатие, преобладание простого сжатия, сдвиг, преобладание простого растяжения и простое растяжение. В зависимости от режима деформации отмечается как воздымание, так и опускание земной коры.

Ключевые слова:

землетрясение, фокальный механизм, режимы СТД, удлинение и укорочение осей деформаций, интенсивность СТД, коэффициент Лоде–Надаи, Алтае-Саянская горная область

Для цитирования: Сычева Н.А. Исследование сеймотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Часть I. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 3, с. 223–242. <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.223-242>; <https://www.elibrary.ru/kttqdj>

For citation: Sycheva N.A. Study of seismotectonic deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayan mountain region. Part I. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 223–242. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.223-242>; <https://www.elibrary.ru/kttqdj>

Список литературы

1. Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л. и др. 1994. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана. *Геология и геофизика*, 35(7–8): 8–28.
2. Добрецов Н.Л., Кулаков И.Ю., Полянский О.П. 2013. Геодинамика, поля напряжений и условия деформаций в различных геодинамических обстановках. *Геология и геофизика*, 54(4): 469–499.
3. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. 1990. *Тектоника литосферных плит территории СССР*. Кн. 1. М.: Недра, 328 с.
4. Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В. 1996. Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области. *Геология и геофизика*, 37(5): 63–81.
5. Добрецов Н.Л. 2003. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан). *Геология и геофизика*, 44(1–2): 5–27. (На англ. яз.). EDN: [PARCBJ](#)
6. Буслов М.М. 2011. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов. *Геология и геофизика*, 52(1): 66–90.
7. Нурмагамбетов А., Садыков А., Тимуш А.В., Хайдаров М.С., Власова А.А., Михайлова Н.Н., Сабитов М.М., Умирзакова А., Гапич В.А. 1996. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. *Землетрясения в СССР в 1990 году*. М.: ГС РАН, с. 53–59.
8. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьев В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В. и др. 2021. Сейсмологические исследования на

9. Лескова Е.В., Еманов А.А. **2006**. Характер деформаций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г., $K = 17$, Горный Алтай) по данным анализа фокальных механизмов афтершоков. *Физическая мезомеханика*, 9(1): 51–55. EDN: [IJGIRL](#)
10. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Середкина А.И. **2010**. Култукское землетрясение 27 августа 2008 г. *Землетрясения России в 2008 году*. Обнинск: ГС РАН, с. 120.
11. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнев В.С., Фатеев А.В. **2014**. Тувинские землетрясения 27.12.2011 г., $M_L = 6.7$, и 26.02.2012 г., $M_L = 6.8$, и их афтершоки. *Доклады Академии наук*, 456(2): 223–226.
12. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. **2014**. Техногенная сейсмичность разрезв Кузбасса (Бачатские землетрясения 2012–2013 г.). *Землетрясения России в 2012 году*. Обнинск: ГС РАН, с. 104–108.
13. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. **2014**. Техногенная сейсмичность разрезв Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.). *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, 2: 59–67. EDN: [SMICZJ](#)
14. Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Будков А.М., Иванченко Г.Н. **2019**. О генезисе Бачатского землетрясения 2013 года. *Геодинамика и тектонофизика*, 10(3): 741–759. <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-3-0439>
15. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. **2017**. База данных активных разломов Евразии. *Геодинамика и тектонофизика*, 8(4): 711–736. <https://doi.org/10.5800/gt-2017-8-4-0314>
16. Гольдин С.В., Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. **2005**. Поля смещений земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай. *Доклады Академии наук*, 405(6): 804–809. EDN: [HSKBHV](#)
17. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Кале Э., Дучков А.Д., Запreeва Е.А., Казанцев С.А., Русбек Ф., Брюникс К. **2006**. Поля и модели смещений земной поверхности Горного Алтая. *Геология и геофизика*, 47(8): 923–937. EDN: [NDLMOV](#)
18. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Соловьев В.М., Шибаяев С.В., Петров А.Ф., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В. **2012**. Межплитные границы Дальневосточного региона России по результатам GPS измерений, сейсморазведочных и сейсмологических данных. *Геология и геофизика*, 53(4): 489–507. EDN: [OWQTPX](#)
19. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Бойко Е.В., Грибанова Е.И., Семибаламут В.М., Тимофеев А.В., Ярошевич А.В. **2012**. Скорости деформаций и смещения в эпоху сильного землетрясения на Южном Байкале. *Геология и геофизика*, 53(8): 1040–1061. EDN: [PBVNQD](#)
20. Calais E., Vergnolle M., Deverchere J., San'kov V., Likhnev A., Amariargal S. **2002**. Are post-seismic effects of the $M = 8.4$ Bolnay earthquake (1905 July 23) still influencing GPS velocities in the Mongolia-Baikal area. *Geophysical Journal International*, 149(1): 157–168. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2002.01624.x>
21. Calais E., Vergnolle M., San'kov V., Likhnev A., Miroshnitchenko A., Amarjargal S., Derverche're J. **2003**. GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area (1994–2002): Implications for current kinematics of Asia. *Journal Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B10). <https://doi.org/10.1029/2002jb002373>
22. Jin Sh., Park P.-H., Zhu W. **2007**. Micro-plate tectonics and kinematics in Northeast Asia inferred from a dense set of GPS observations. *Earth and Planetary Science Letters*, 257(3-4): 486–496. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.03.011>
23. Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. **2008**. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике. *Геология и геофизика*, 49(11): 1139–1149. EDN: [JXFEWV](#)
24. Лескова Е.В., Еманов А.А. **2013**. Иерархические свойства поля тектонических напряжений в очаговой области Чуйского землетрясения 2003 года. *Геология и геофизика*, 54(1): 113–123.
25. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. **2013**. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянской горной области. *Геология и геофизика*, 54(2): 271–291.
26. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Бойко Е.В., Лунев Б.В. **2014**. Поля смещений блоков Алтае-Саянского региона и эффективные реологические параметры земной коры. *Геология и геофизика*, 5(3): 481–497.
27. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. **2002**. *Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене*. М.: ОИФЗ РАН, 130 с.
28. *Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии* (под ред. В.П. Солоненко, Н.А. Флоренсова). **1985**. М.: Наука, 224 с.
29. Хилько С.Д., Флоренсов Н.А., Курушин Р.А. и др. **1978**. Сейсмотектонические линеаменты и палеосейсмодислокации Монгольского Алтая. В кн.: *Сейсмотектоника южных районов СССР*. М.: Наука, с. 75–88.
30. Солоненко В.П. **1973**. Палеосейсмология. *Известия АН СССР. Физика Земли*, 9: 3–16.
31. Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. **1995**. Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтае-Саянской области. *Геология и геофизика*, 36(10): 20–30.
32. Ребецкий Ю.Л. **2008**. 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, с. 359–395.
33. Пантелеев И.А., Наймарк О.Б. **2014**. Современные тенденции в области механики тектонических землетрясений. *Вестник Пермского научного центра УрО РАН*, 3: 44–62. EDN: [TDURFP](#)
34. Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. **2001**. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне. *Геология и геофизика*, 42(10): 1484–1496.
35. Юнга С.Л. **1990**. *Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций*. М.: Наука, 191 с.
36. Ризниченко Ю.В. **1985**. *Проблемы сейсмологии: Избранные труды*. М.: Наука, 408 с.

37. Ребецкий Ю.Л. **1997**. Реконструкция тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций: методические основы, поле современных напряжений Юго-Восточной Азии, Океании. *Доклады Академии наук*, 354(1): 101–104.
38. Ребецкий Ю.Л. **2007**. *Тектонические напряжения и прочность горных массивов*. М.: Академкнига, 406 с.
39. Лукк А.А., Юнга С.Л. **1979**. Сейсмотектоническая деформация Гармского района. *Известия АН СССР. Физика Земли*, 10: 24–43.
40. Lukk A.A., Shevchenko V.I., Leonova V.G. **2015**. Autonomous geodynamics of the Pamir–Tien Shan junction zone from seismology data. *Izv., Physics of the Solid Earth*, 51(6): 859–877. EDN: [VALVXX](#)
41. Sycheva N.A., Mansurov A.N. **2017**. Comparison of crustal deformation rates estimated from seismic and GPS data on the Bishkek geodynamic polygon. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(4): 809–825. <https://doi.org/10.5800/gt-2017-8-4-0318>
42. Лукк А.А., Шевченко В.И. **2019**. Сейсмичность, тектоника и GPS-геодинамика Кавказа. *Физика Земли*, 4: 99–123. [doi:10.31857/S0002-33372019499-123](https://doi.org/10.31857/S0002-33372019499-123); EDN: [BMXJRR](#)
43. Юнга С.Л. **2002**. *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*. Геофизическая служба Российской академии наук. Обнинск, 41 с.
44. Юнга С.Л. **1997**. О классификации тензоров сейсмических моментов на основе их изометрического отображения на сферу. *Доклады Академии наук*, 352(2): 253–255.
45. Гущенко О.И. **1975**. Кинематический принцип реконструкции направлений главных напряжений (по геологическим и сейсмологическим данным). *Доклады АН СССР*, 225(3): 557–560.
46. Юнга С.Л. **1979**. О механизме деформирования сейсмоактивного объема земной коры. *Известия АН СССР, Физика Земли*, 10: 14–23.
47. Христианович С.А., Шемякин Е.И. **1969**. О плоской деформации пластического материала при сложном нагружении. *Изв. АН СССР. Механика твердого тела*, 5: 138–149.
48. Филин А.П. **1975**. *Прикладная механика твердого деформируемого тела*. Т. 1. М.: Наука, 832 с.
49. Соколовский В.В. **1969**. *Теория пластичности*. М.: Высшая школа, 608 с.
50. Сычева Н.А., Сычев В.Н. **2022**. Некоторые характеристики сейсмичности Алтая и Саян. Проблемы Геокосмоса – 2022: Материалы XIV школы-конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 3–7 окт. 2022 г. СПб.: Скифия-Принт, с. 84–92.
51. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Янкайтис В.В., Филина А.Г. **2012**. Урэг-Нурское землетрясение 15.05.1970 г., Ms = 7.0 (Монгольский Алтай): афтершоковый процесс и особенности современной сейсмичности эпицентральной области. *Геология и геофизика*, 53(10): 1417–1429.
52. Kuchai O.A. **2012**. Specific features of fields of stresses associated with aftershock processes in the Altai-Sayan mountainous region. *Geodynamics & Tectonophysics*, 3(1): 59–68. (In Russ.). doi:10.5800/GT-GT-2012-3-1-0062; EDN: [PBPJRR](#)
53. Radziminovich N.A. **2021**. Focal mechanisms of earthquakes of Southern Baikal Region and Northern Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics*, 12(4): 902–908. (In Russ.). doi:10.5800/GT-2021-12-4-0562; EDN: [VTMIGC](#)
54. *Jeffreys H., Bullen K.E. 1940. Seismological tables*. London: British Association for the Advancement of Science, Gray-Milne Trust.
55. Лескова Е.В., Еманов А.А. **2014**. Некоторые свойства иерархической модели напряженного состояния эпицентральной области Чуйского землетрясения 2003 г. *Физика Земли*, 3: 92–102.
56. Гольдин С.В. **2004**. Дилатансия, переупаковка и землетрясения. *Физика Земли*, 10: 37–54. EDN: [OXKDAT](#)
57. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. **1991**. *Сейсмический процесс в блоковой среде*. М.: Наука, 96 с.
58. Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. **2001**. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне. *Геология и геофизика*, 42(10): 1484–1496.
59. Ребецкий Ю.Л. **2008**. 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, 359–395.