

Медленные деформационные волны как возможный предвестник сейсмической опасности

C. A. Борняков*¹²

Д. В. Салко¹

A. Н. Шагун¹

A. A. Добрынина¹

Л. А. Усынин¹

¹*Институт земной коры Сибирского отделения РАН, Иркутск,
Россия*

²*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

*E-mail: bornyak@crust.irk.ru

Приводятся результаты трехлетнего инструментального мониторинга деформаций горных пород на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне. Показано, что временные ряды данных представляют собой интегральный результат, включающий в себя две группы компонентов деформаций разной природы, характеризующихся волновыми свойствами. Компоненты первой группы порождаются внешними по отношению к литосфере факторами. Из них в статье рассмотрены только лунно-солнечные приливы и вариации атмосферного давления. Показано, что эти компоненты не оказывают существенного влияния на деформационный процесс при разовом воздействии. Компоненты второй группы имеют внутреннюю, тектоническую природу. Среди них выделяются непериодические, случайные и периодическая, постоянная компоненты. Непериодические компоненты проявляются в виде одиночных импульсов деформаций разной интенсивности и формы и обусловлены либо медленными смещениями по крупным сейсмоактивным разломам за пределами пунктов мониторинга, либо быстрыми межблоковыми смещениями при перераспределении напряжений в разломно-блоковой структуре верхней части земной коры в пределах самих пунктов. Природа периодической, постоянной компоненты ассоциирует с Евразийско-Индостанской коллизией. Компонента представлена медленными деформационными волнами, направление и скорость миграции которых меняются во времени. Характерные тенденции их изменений предположительно указывают на подготовку сильного землетрясения в пределах Южно-Байкальского геодинамического полигона.

Ключевые слова

инструментальный мониторинг, деформация, деформационные волны, разломы, медленные смещения, землетрясения, предвестники

Для цитирования: Борняков С.А., Салко Д.В., Шагун А.Н., Добрынина А.А., Усынин Л.А. Медленные деформационные волны как возможный предвестник сейсмической опасности. *Геосистемы переходных зон*. 2019. Т. 3, № 3. С. 267–276. doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.3.267-276

For citation: Bornyakov S.A., Salko D.V., Shagun A.N., Dobrynina A.A., Usynin L.A. The slow deformation waves as a possible precursor of seismic hazard. *Geosystems of Transition Zones*, 2019, vol. 3, N 3, p. 267–276. (In Russ.). doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.3.267-276

Список литературы

1. Александрова Н.И., Шер Е.Н. Моделирование распространения волн в блочной среде // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2004. № 6. С. 49–57. [Aleksandrova N.I.,

- Sher E.N. Modeling of wave propagation in block media. *J. of Mining Science*, 2004, 40(6): 579–587. doi.org/10.1007/s10913-005-0045-9].
2. Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Беликов В.М., Ишанкулиева Г.А. Миграция коровых землетрясений // *Динамические процессы в геофизической среде*. М.: Наука, 1994. С. 149–167.
 3. Борняков С.А., Мирошниченко А.И., Салко Д.В. Диагностика предсейсмогенного состояния структурно-неоднородных сред по данным деформационного мониторинга // *Доклады АН*. 2016. Т. 468, № 1. С. 84–87. [Bornyakov S.A., Miroshnichenko A.I., Salko D.V. Diagnostics of the preseismogenic state of heterogeneous media according to deformation monitoring data. *Doklady Earth Sciences*, 2016, 468(1): 481-484. doi.org/10.1134/s1028334x16050032]
 4. Борняков С.А., Салко Д.В., Семинский К.Ж., Дэмбэрэл С., Ганзориг Д., Батсайхан Ц., Тогтохбаяр С. Инструментальная регистрация медленных деформационных волн на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне // *Доклады АН*. 2017. Т. 473, № 3. С. 355–358. doi:10.7868/S0869565217090213
 5. Быков В.Г. *Сейсмические волны в пористых насыщенных породах*. Владивосток: Дальнаука, 1999. 108 с.
 6. Быков В.Г. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели [= Bykov V.G. Strain waves in the Earth: Theory, field data, and models] // *Геология и геофизика*. 2005. Т. 46(11). С. 1176–1190.
 7. Горбунова Е.А., Шерман С.И. Медленные деформационные волны в литосфере: фиксирование, параметры, геодинамический анализ (Центральная Азия) // *Тихоокеанская геология*. 2012. Т. 31, № 1. С. 18–25. [Gorbunova E.A., Sherman S.I. Slow deformation waves in the lithosphere: Registration, parameters, and geodynamic analysis (Central Asia). *Russian J. of Pacific Geology*, 2012, 6(1): 13-20. doi.org/10.1134/s181971401201006x]
 8. Володичев Н.Н., Нечаев О.Ю., Сигаева Е.А. Тепловые нейтроны от поверхности земли во время кульминаций Луны и Солнца в дни новолуний и полнолуний // *Вестник Московского университета. Серия 3, Физика. Астрономия*. 2013. № 3. С. 84–86. [Volodichev N.N., Nechaev O.Y., Sigaeva E.A. Thermal neutrons from the earth's surface during the upper and lower transits of the moon and the sun on new moon and full moon days. *Moscow University Physics Bulletin*, 2013, 68(3): 263-265. doi.org/10.3103/s0027134913030120]
 9. Касахара К. *Механика землетрясений*. М.: Мир, 1985. 264 с.
 10. Крылов С.М., Никифорова Н.Н. О сверхнизкочастотном электромагнитном излучении активной геологической среды // *Физика Земли*. 1995. № 6. С. 42–57.
 11. Николаевский В.Н., Рамазанов Т.К. Теория быстрых тектонических волн // *Прикладная математика и механика*. 1985. Т. 49, № 3. С. 426–469.
 12. Салко Д.В., Борняков С.А. Автоматизированная система для мониторинга геофизических параметров на геодинамических полигонах // *Приборы*. 2014. № 6. С. 24–28.
 13. Сурдин В.Г. *Пятая сила*. М.: Изд-во МЦНМО, 2002. 39 с.
 14. Шерман С.И. Деформационные волны как триггерный механизм сейсмической активности в сейсмических зонах континентальной литосферы // *Геодинамика и тектонофизика*. 2013. 4(2). С. 83–117. doi.org/10.5800/GT-2013-4-2-0093
 15. Шерман С.И. *Сейсмический процесс и прогноз землетрясений. Тектонофизическая концепция*. Новосибирск: ГЕО, 2014. 359 с.
 16. Bott M.H.P., Dean D.S. Stress diffusion from plate boundaries // *Nature*. 1973. Vol. 243(5406). P. 339–341. doi.org/10.1038/243339a0
 17. Brown K.M., Tryon M.D., DeShon H.R., Dorman L.M., Schwartz S.Y. Correlated transient fluid pulsing and seismic tremor in the Costa Rica subduction zone // *Earth and Planetary Science Letters*. 2005. Vol. 238(1–2). P. 189–203. doi.org/10.1016/j.epsl.2005.06.055
 18. Bykov V.G., Trofimienko S.V. Slow strain waves in blocky geological media from GPS and seismological observations on the Amurian plate // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2016. Vol. 23. P. 467–475. doi.org/10.5194/npg-2016-49
 19. Elsasser W. Convection and stress propagation in the upper mantle // *The application of modern physics to the Earth and planetary*. N. Y.: Wiley, 1969. P. 223–246.
 20. Gomberg J., Rubinstein J.L., Peng Z.G., Creager K.C., Vidale J.E., Bodin P. Widespread triggering of non-volcanic tremor in California // *Science*. 2008. Vol. 319, N 5860. P. 173. doi.org/10.1126/science.1149164
 21. Ida Y. Slow-moving deformation pulses a long tectonic faults // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1974. Vol. 9. P. 328–337. [doi.org/10.1016/0031-9201\(74\)90060-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(74)90060-0)
 22. Ide S., Beroza G.C., Shelly D.R., Uchide T. A scaling law for slow earthquakes // *Nature*. 2007. Vol. 447(7140). P. 76–79. doi.org/10.1038/nature05780

23. Idehara K., Yabe S., Ide S. Regional and global variations in the temporal clustering of tectonic tremor activity // *Earth, Planets and Space*. 2014. Vol. 66, N 1. P. 66. doi.org/10.1186/1880-5981-66-66
24. Jordan T.H. Far-field detection of slow precursors to fast seismic ruptures // *Geophysical Research Letters*. 1991. Vol. 18(11). P. 2019–2022. doi.org/10.1029/91gl02414
25. Kanamori H., Brodsky E. The physics of earthquakes // *Reports on Progress in Physics*. 2004. Vol. 67. P. 1429–1496. doi.org/10.1088/0034-4885/67/8/r03
26. Kanamori H.A., Hauksson E. Slow earthquake in the Santa Maria Basin, California // *Bull. of the Seismological Society of America*. 1992. Vol. 82. P. 2087–2096.
27. Kasahara K. Migration of crustal deformation // *Tectonophysics*. 1979. Vol. 52, N 1–4. P. 329–341. [doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90240-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90240-3)
28. Katsumata A., Kamaya N. Low-frequency continuous tremor around the Moho discontinuity away from volcanoes in the southwest Japan // *Geophysical Research Letters*. 2003. Vol. 30, N 1. P. 1020. doi.org/10.1029/2002gl015981
29. Kuz'min Yu.O. Deformation autowaves in fault zones // *Izv. Physics of the Solid Earth*. 2012. Vol. 48, N 1. P. 1–16. doi.org/10.1134/S1069351312010089
30. Ma J., Guo Y., Sherman S.I. Accelerated synergism along a fault: A possible indicator for an impending major earthquake // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014. Vol. 5, N 2. P. 387–399. doi.org/10.5800/gt-2014-5-2-0134
31. Mogi K. Migration of seismic activity // *Bull. Earthquake Research Institute*. 1968. Vol. 46. P. 53–74.
32. Molnar P., Tapponnier P. 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*. 1975. Vol. 189, N 4201. P. 419–426. doi.org/10.1126/science.189.4201.419
33. Nadeau R.M., Dolenc D. Nonvolcanic tremors deep beneath the San Andreas Fault. *Science*. 2005. Vol. 307, N 5708. P. 389. doi.org/10.1126/science.1107142
34. Nikolaevskiy V.N. *Geomechanics and fluidodynamics*. Dordrecht: Kluwer, 1996. 349 p.
35. Nikolaevskiy V.N. Tectonic stress migration as nonlinear wave process along earth crust faults // Proc. Of 4th Inter. Workshop on localization and bifurcation theory for soils and rocks, Gifu, Japan, 28 Sept.–2 Oct. 1997 / Ed. T. Adachi, F. Oka, A. Yashima. Rotterdam: Balkema, 1998. P. 137–142.
36. Obara K., Hirose H. Non-volcanic deep low-frequency tremors accompanying slow slips in the southwest Japan subduction zone // *Tectonophysics*. 2006. Vol. 417, N 1–2. P. 33–51. doi.org/10.1016/j.tecto.2005.04.013
37. Peng Z., Gomberg J. An integrated perspective of the continuum between earthquakes and slow-slip phenomena // *Nature Geoscience*. 2010. Vol. 3. P. 599–607. doi.org/10.1038/ngeo940
38. Richter C.F. *Elementary Seismology*. San Francisco: W.H. Freeman, 1958. 768 p. doi.org/10.1002/gj.3350020212
39. Rogers G., Dragert H. Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: the chatter of silent slip // *Science*. 2003. Vol. 300, N 5627. P. 1942–1943. doi.org/10.1126/science.1084783
40. Schwartz S.Y. Episodic aseismic slip at Plate Boundaries // *The Treatise on Geophysics*. 2015. P. 445–465. doi.org/10.1016/b978-044452748-6.00076-6
41. Sekine S., Hirose K., Obara J. Along-strike variations in short-term slow slip events in the southwest Japan subduction zone // *J. of Geophysical Research*. 2010. Vol. 115, N 9. B00A27. doi.org/10.1029/2008jb006059
42. Shelly D.R., Beroza G.C., Ide S. Non-volcanic tremor and low-frequency earthquakes warms // *Nature*. 2007. Vol. 446, N 7133. P. 305–307. doi.org/10.1038/nature05666
43. Sun W.F., Peng Z., Lin C.H., Chao K. Detecting deep tectonic tremor in Taiwan with a dense array // *Bull. of the Seismological Society of America*. 2015. Vol. 105, N 3. P. 1349–1358. doi.org/10.1785/0120140258
44. Wei M., Kaneko Y., Liu Y., McGuire J.J. Episodic fault creep events in California controlled by shallow frictional heterogeneity // *Nature Geoscience*. 2013. N 6. P. 1–5. doi.org/10.1038/ngeo1835
45. Zhuo Y-Q., Liu P., Chen S., Guo Y., Ma J. Laboratory observations of tremor-like events generated during preslip // *Geophysical Research Letters*. 2018. Vol. 45, N 14. P. 6926–6934.