

## Моделирование напряженно-деформированного состояния земной коры о. Сахалин: влияние гидроизостазии

Булгаков Рустям Фаридович, <https://orcid.org/0000-0001-9095-3785>, [r.bulgakov@imgg.ru](mailto:r.bulgakov@imgg.ru)

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

Резюме [PDF RUS](#)

Abstract [PDF ENG](#)

Полный текст [PDF RUS & ENG](#)

**Резюме.** В работе предпринята попытка ответить на вопрос о роли вклада гидроизостазии в напряженно-деформированное состояние земной коры о. Сахалин. Оценка вклада гидроизостазии выполнялась путем моделирования методом конечных элементов. Сетка-меш для расчета была построена с использованием реальных значений глубины поверхности границы Мохо и топографии земной поверхности о. Сахалин с прилегающими шельфовыми участками. При расчете учитывалась Центрально-Сахалинская разломная зона. Моделировались отдельно горизонтальные смещения в результате деформации и горизонтальные смещения совместно с вертикальными. Сравнение результатов моделирования напряженно-деформированного состояния с учетом горизонтальных смещений и в комбинации с вертикальными смещениями со всей очевидностью демонстрирует заметный вклад гидроизостазии в напряженно-деформированное состояние земной коры района о. Сахалин.

*Ключевые слова*

**гидроизостазия, напряжение, деформации, вертикальные движения, разлом, Elmer, метод конечных элементов**

**Для цитирования:** Булгаков Р.Ф. Моделирование напряженно-деформированного состояния земной коры о. Сахалин: влияние гидроизостазии. *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 4, с. 303–327. <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.4.303-315.316-327>; <https://www.elibrary.ru/pylmpf>

**For citation:** Bulgakov R.F. Modeling of the stress-strain condition of the Earth's crust of Sakhalin Island: impact of hydroisostasy. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 4, pp. 303–327. (In Russ. & Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.4.303-315.316-327>; <https://www.elibrary.ru/pylmpf>

## Список литературы

1. Шепард Ф.П. **1969.** *Морская геология*. Л.: Недра, 462 с.
2. Fairbridge R. **1961.** Eustatic changes in sea level. *Physics and Chemistry of the Earth*, 4: 99–185. [https://doi.org/10.1016/0079-1946\(61\)90004-0](https://doi.org/10.1016/0079-1946(61)90004-0)
3. Clark J., Farrell W., Peltier W. **1978.** Global changes in postglacial sea level: Numerical calculations. *Quaternary Research*, 9(3): 265–287 [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(78\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(78)90033-9)
4. Lambeck K., Purcell A., Johnston P., Nakada M., Yokoyama Y. **2003.** Water-load definition in the glacio-hydro-isostatic sea-level equation. *Quaternary Science Reviews*, 22(2-4): 309–318. [https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(02\)00142-7](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(02)00142-7)
5. Булгаков Р.Ф., Сеначин В.Н. **2019.** Морские террасы и влияние эффекта гидроизостазии на вертикальные движения Сахалина. *Геосистемы переходных зон*, 3(3): 277–286. [doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.3.277-286](https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.3.277-286)
6. Зверев А.Т. **2020.** Эвстатические колебания уровня Мирового океана. *Изв. вузов, Геодезия и аэрофотосъемка*, 64(2):157–163. doi:10.30533/0536-101X-2020-64-2-157-163
7. Yokoyama Y., Purcell A. **2021.** On the geophysical processes impacting palaeo-sea-level observations. *Geoscience Letters*, 8(13). <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00184-w>
8. Roy K., Peltier W.R. **2015.** Glacial isostatic adjustment, relative sea level history and mantle viscosity: reconciling relative sea level model predictions for the U.S. East coast with geological constraints. *Geophysical J. International*, 201(2): 1156–1181. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv066>
9. Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У., Сергеев К.Ф., Стрельцов М.И., Кожурин А.И., Бесстрашнов В.М., Стром А.Л., Suzuki Y., Tsutsumi H., Watanabe M., Ueki T., Shimamoto T., Okumura K., Goto H., Kariya Y. **2002.** Активные разломы Сахалина. *Геотектоника*, 36(3): 227–246.
10. Степашко А.А. **2010.** Глубинные основы сейсмотектоники Дальнего Востока: Сахалинская зона. *Тихоокеанская геология*, 29(3): 50–63.
11. Кожурин А.И. **2013.** *Активная геодинамика северо-западного сектора Тихоокеанского тектонического пояса (по данным изучения активных разломов)*: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Москва, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

12. Nicholson U., VanLaningham S., Macdonald D.I.M. **2013**. Quaternary landscape evolution over a strike-slip plate boundary: Drainage network response to incipient orogenesis in Sakhalin, Russian Far East. *Geosphere*, 9(3): 588–601. <https://doi.org/10.1130/ges00883.1>
13. Татаурова А.А. **2015**. Поля напряжений и деформаций по данным механизмов коровых землетрясений о. Сахалин. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 3(27): 93–101.
14. Сим Л.А. Богомолов Л.М., Брянцева Г.В., Саввичев П.А. **2017**. Неотектоника и тектонические напряжения острова Сахалин. *Геодинамика и тектонофизика*, 8(1): 181–202. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0237>
15. Heidbach O., Rajabi M., Fuchs K., Müller B. **2018**. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744(2018): 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
16. Suzuki Y., Tsustsumi H., Watanabe M., Ueki T., Okumura K., Goto H., Streltsov M.I., Kozhurin A.I., Bulgakov R.F., Terentief N., Ivashchenko A.I. **2000**. Geology and geomorphology of the Sakhalin Island: Preliminary report on active faults in Sakhalin, Russia. *J. of Geography (Chigaku Zasshi)*, 109(2): 311–317. [https://doi.org/10.5026/jgeography.109.2\\_311](https://doi.org/10.5026/jgeography.109.2_311)
17. Сеначин В.Н., Веселов О.В., Семакин В.П., Кочергин Е.В. **2013**. Цифровая модель земной коры Охотоморского региона. *Геоинформатика*, 4: 33–44.
18. Reynolds S.D., Coblenz D.D., Hillis R.R. **2002**. Tectonic forces controlling the regional intraplate stress field in continental Australia: Results from new finite element modeling. *J. of Geophysical Research*, 107(B7). <https://doi.org/10.1029/2001jb000408>
19. Zhao S., Müller R.D. **2003**. Three-dimensional finite-element modelling of the tectonic stress field in continental Australia. In: *Evolution and Dynamics of the Australian Plate*, p. 71–89. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2372-8.71>
20. Dziewonski A.M., Anderson D.L. **1981**. Preliminary reference Earth model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 25(4): 297–356. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(81\)90046-7](https://doi.org/10.1016/0031-9201(81)90046-7)
21. Жарков В.Н. **2013**. *Внутреннее строение Земли и планет: Элементарное введение в планетную и спутниковую геофизику*. М.: Наука и образование, 414 с.
22. Сакулина Т.С., Каленич А.П., Атаков А.И., Тихонова И.М., Крупнова Н.А., Пыжьянова Т.М. **2011**. Геологическая модель Охотоморского региона по данным опорных профилей 1-ОМ и 2-ДВ. *Разведка и охрана недр*, 10: 11–17.
23. Суворов А.И. **1968**. Глубинные разломы Земли. *Природа*, 9: 30–41.
24. Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф. **2019**. Структура литосферы зоны перехода континент–океан южной части Дальнего Востока России по результатам плотностного моделирования. *Тихоокеанская геология*, 38(6): 3–20.
25. Каменев П.А., Заболотин А.Е., Дегтярев В.А., Жердева О.А. **2019**. Разработка геомеханической модели активного разлома южного Сахалина. *Геосистемы переходных зон*, 3(3): 287–295. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.3.287-295>
26. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. **2016**. Геодинамика Северного Сахалина после Нефтегорского землетрясения 1995 г. Mw=7.1 по данным GPS наблюдений. *Мониторинг. Наука и техника*, 3(28): 9–12.
27. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. **2018**. Деформации земной поверхности острова Сахалин по данным GPS-наблюдений. *Геодинамика и тектонофизика*, 9(2): 503–514. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0358>
28. Короткий А.М., Пушкарь В.С., Гребенникова Т.А. **1997**. *Морские террасы и четвертичная история шельфа Сахалина*. Владивосток: Дальнаука, 229 с.
29. Булгаков Р.Ф. **2021**. 3D-моделирование эффекта гидроизостазии с близкой к реальной конфигурацией поверхности Мохо для Охотского моря. *Геосистемы переходных зон*, 5(4): 339–345. <https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.4.339-345>
30. Polets Y. **2019**. The stress state of the Sakhalin Island and adjacent territories. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 324(1): 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/324/1/012010>
31. Tsukuda T. **1985**. Long-term seismic activity and present microseismicity on active faults in Southwest Japan. In: Kisslinger C., Rikitake T. (eds) *Practical approaches to earthquake prediction and warning*. Dordrecht: Springer, ch. 3: 253–284. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2738-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2738-9_4)
32. Okada A., Takemura K., Katon S. **1998**. Characteristics of the Nojima fault, a major surface rupture associated with the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, in the northern part of Awaji Island, Western Japan. *Humans and Nature*, 9: 33–56. [https://doi.org/10.24713/hitotoshizen.9.0\\_33](https://doi.org/10.24713/hitotoshizen.9.0_33)
33. Кожурин А.И., Пономарева В.В., Пинегина Т.К. **2008**. Активная разломная тектоника юга Центральной Камчатки. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 2: 10–27.
34. Tsutsumi H., Suzuki Y., Kozhurin A.I., Strel'tsov M.I., Ueki T., Goto H., Okumura K., Bulgakov R.F., Kitagawa H. **2005**. Late Quaternary faulting along the western margin of the Poronaysk Lowland in Central Sakhalin, Russia. *Tectonophysics*, 407: 257–268.
35. McCalpin J.P. (ed.) **1996**. *Paleoseismology*. 1<sup>st</sup> ed. USA, Academic Press. (International Geophysics Series; 62). 2nd ed. **2009**. URL: [https://www.irsm.cas.cz/ext/ethiopia/materials/papers/tectonic\\_geomorphology/Paleoseismology\\_McCalpin.pdf](https://www.irsm.cas.cz/ext/ethiopia/materials/papers/tectonic_geomorphology/Paleoseismology_McCalpin.pdf)
36. Anderson J.G., Wesnousky S.G., Stirling M.W. **1996**. Earthquake size as a function of fault slip rate. *Bull. of the Seismological Society of America*, 86(3): 683–690.
37. Касахара К. **1985**. *Механика землетрясений*. М.: Мир, 264 с.
38. Кочарян Г.Г. **2016**. *Геомеханика разломов*. М.: ГЕОС, 424 с.
39. Ломтев В.Л., Гуринов М.Г. **2009**. Тектонические условия Невельского (02.08.2007, М ~ 6.1) землетрясения. *Тихоокеанская геология*, 28(5): 44–53.