

Геологические и гидрологические факторы формирования полей повышенных концентраций метана на восточном шельфе острова Сахалин

Холмогоров Андрей Олегович (<https://orcid.org/0000-0002-6259-1614>), kholmogorov.ao@poi.dvo.ru

Сырбу Надежда Сергеевна (<https://orcid.org/0000-0002-1441-6133>), syrbu@poi.dvo.ru

Лобанов Вячеслав Борисович (<https://orcid.org/0000-0001-9104-5578>), lobanov@poi.dvo.ru

Жердев Павел Дмитриевич (<https://orcid.org/0009-0008-5739-7543>), zherdev.pd@poi.dvo.ru

@ Мальцева Елена Валерьевна (<https://orcid.org/0000-0003-3230-7042>), ekor@poi.dvo.ru

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

Резюме [PDF RUS](#) [PDF ENG](#)

Полный текст [PDF RUS](#)

Резюме. Статья продолжает серию исследований формирования и распределения полей повышенных концентраций метана, гелия и водорода на мелководном восточном шельфе о. Сахалин. В ходе комплексной океанографической экспедиции 2024 г. были проведены многочисленные измерения, позволившие выявить локализованные участки выхода газов со дна. Установлены высокие концентрации растворенного метана – 139 нМ/л, гелия – 12 ppm, водорода – 135 ppm, а также углекислого газа – 0.47 %, что может свидетельствовать о глубинном источнике этих газов. Показано, что области формирования полей повышенного содержания метана контролируются региональной системой разломов. Связь между тектоникой и распределением газов является важным фактором для понимания геохимических процессов в этом районе. Анализ данных, полученных в течение различных сезонов, показал существенную сезонную изменчивость в распространении полей повышенных концентраций метана. В теплый период года зоны высоких концентраций метана локализуются в области холодных промежуточных вод Охотского моря. Эти зоны располагаются под нижней границей сезонного пикноклина. Распространение метана к поверхности ограничено, что обусловлено сложной структурой водных масс и процессами вертикальной диффузии. Исследуемая акватория восточного шельфа о. Сахалин подвержена влиянию Восточно-Сахалинского течения, которое играет ключевую роль в распространении растворенных газов, поступающих из источников на дне. Это подчеркивает сложность и многогранность процессов, регулирующих миграцию и распределение газов в морской среде западной части Охотского моря.

Ключевые слова:

растворенный метан, гелий, водород, остров Сахалин, восточный шельф, Восточно-Сахалинское течение, Охотское море

Для цитирования: Холмогоров А.О., Сырбу Н.С., Лобанов В.Б., Жердев П.Д., Мальцева Е.В. Геологические и гидрологические факторы формирования полей повышенных концентраций метана на восточном шельфе острова Сахалин. *Геосистемы переходных зон*, 2025, т. 9, № 2. <https://doi.org/10.30730/gtr.2025.0.gah-1>; <https://elibrary.ru/wvbsfw>; <http://journal.imgg.ru/web/full/f2025-0-1.pdf>

For citation: Kholmogorov A.O., Syrbu N.S., Lobanov V.B., Zherdev P.B., Maltseva E.V. Geological and hydrological factors of dissolved methane distribution on the eastern shelf of Sakhalin Island. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2025, vol. 9, No. 2. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2025.0.gah-1>; <https://elibrary.ru/wvbsfw>; <http://journal.imgg.ru/web/full/f2025-0-1.pdf>

Список литературы

1. Talwani M., Eldholm O. **1973.** Boundary between continental and oceanic crust at the margin of rifted continents. *Nature*, 241: 325–330. <https://doi.org/10.1038/241325a0>
2. Moore J.C., Vrolijk P. **1992.** Fluids in accretionary prisms. *Reviews of Geophysics*, 30: 113–135. <https://doi.org/10.1029/92rg00201>
3. Казанин Г.С., Барабанова Ю.Б., Кириллова-Покровская Т.А. Черников С.Ф., Павлов С.П., Иванов Г.И. **2017.** Континентальная окраина Восточно-Сибирского моря: геологическое строение и перспективы нефтегазоносности. *Разведка и охрана недр*, 10: 51–55.

4. Khain V., Polyakova I. **2008.** Oil and gas potential of continental margins of the Pacific Ocean. *Lithology and Mineral Resources*, 43: 81–92. <https://doi.org/10.1134/S0024490208010082>
5. Konyukhov A.I. **2009.** Continental margins: Global belts of oil and gas accumulation. *Lithology and Mineral Resources*, 44: 513–530. <https://doi.org/10.1134/S0024490209060017>
6. Oliver J., Isacks B.L., Barazangi M. **1974.** Seismicity at continental margins. In: Burk C.A., Drake C.L. (eds) *The geology of continental margins*. Berlin, Heidelberg, Springer, p. 85–92. https://doi.org/10.1007/978-3-662-01141-6_7
7. Orange D.L., Greene H.G., Reed D., Martin J.B., McHugh C.M., Ryan W., Maher N., Stakes D., Barry J. **1999.** Widespread fluid expulsion on a translational continental margin: Mud volcanoes, fault zones, headless canyons, and organic-rich substrate in Monterey Bay, California. *Geological Society of America Bulletin*, 111(7): 992–1009. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1999\)111<0992:wfeoat>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1999)111<0992:wfeoat>2.3.co;2)
8. Reeburgh W.S. **2007.** Oceanic methane biogeochemistry. *Chemical Reviews*, 107: 486–513. <https://doi.org/10.1021/cr050362v>
9. Römer M., Sahling H., Pape T., Bohrmann G., Spieß V. **2012.** Quantification of gas bubble emissions from submarine hydrocarbon seeps at the Makran continental margin (offshore Pakistan). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C10): C10015. <https://doi.org/10.1029/2011jc007424>
10. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O. **2010.** Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf. *Science*, 327: 1246–1250. <https://doi.org/10.1126/science.1182221>
11. Weber T., Wiseman N.A., Kock A. **2019.** Global ocean methane emissions dominated by shallow coastal waters. *Nature Communication*, 10: 4584. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12541-7>
12. Обжиров А.И., Ильичев В.И., Кулинич Р.Г. **1985.** Аномалия природных газов в придонной воде Южно-Китайского моря. *Доклады Академии наук СССР*, 281(5): 1206–1209.
13. Кулинич Р.Г., Обжиров А.И. **1985.** О структуре и современной активности зоны сочленения шельфа Сунда и котловины Южно-Китайского моря. *Тихоокеанская геология*, 3: 102–106.
14. Abrams M. **1992.** Geophysical and geochemical evidence for subsurface hydrocarbon leakage in the Bering Sea, Alaska. *Marine and Petroleum Geology*, 9(2): 208–221. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(92\)90092-s](https://doi.org/10.1016/0264-8172(92)90092-s)
15. Hovland M., Croker P.F., Martin M. **1994.** Fault – associated seabed mounds (carbonate knolls?) off western Ireland and north-west Australia. *Marine and Petroleum Geology*, 11(2): 232–246. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(94\)90099-x](https://doi.org/10.1016/0264-8172(94)90099-x)
16. Рождественский В.С. **1976.** О сдвиговых смещениях вдоль зоны Тымь-Поронайского разлома на о. Сахалин. *Доклады АН СССР*, 230(3): 678–780.
17. Ханчук А.И. **1993.** Геологическое строение и развитие континентального обрамления северо-запада Тихого океана: автореферат дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Москва, Геологический институт РАН.
18. Чехович В.Д. (ред.) **1993.** Тектоника и геодинамика складчатого обрамления малых океанических бассейнов. М.: Наука, 271 с.
19. Isozaki Y. **1996.** Anatomy and genesis of a subduction-related orogen: A new view on the geotectonic subdivision and evolution of the Japanese Islands. *The Island Arc*, 5: 289–320. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.1996.tb00033.x>
20. Maruyama S., Isozaki Y., Kimura G., Terabayashi M. **1997.** Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *The Island Arc*, 6: 121–142. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.1997.tb00043.x>
21. Гранник В.М. **2005.** Сопоставление структурных элементов Сахалина и Хоккайдо. *Доклады Академии наук*, 400(5): 654–659. EDN: [0ONLDT](https://www.edn.ru/0ONLDT)
22. Гранник В.М. **2013.** Восточно-Сахалинская островодужная система охотоморского региона. *Литосфера*, 1: 36–51.
23. Zharov A.E. **2005.** South Sakhalin tectonics and geodynamics: A model for the Cretaceous-Paleogene accretion of the East Asian continental margin. *Russian Journal of Earth Sciences*, 7: ES5002. <https://doi.org/10.2205/2005ES000190>
24. Syrbu N., Kholmogorov A., Stepochkin I., Lobanov V., Shkorba S. **2024.** Formation of abnormal gas-geochemical fields and dissolved gases transport at the shallow northeastern shelf of Sakhalin Island in warm season: Expedition data and remote sensing. *Water*, 16: 1434. <https://doi.org/10.3390/w16101434>
25. Харахинов В.В. **2010.** *Нефтегазовая геология Сахалинского региона*. М.: Научный мир, 276 с.
26. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. **2013.** Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 86–87: 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.08.017>
27. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. **1976.** Solubility of methane in distilled water and seawater. *J. of Chemical & Engineering Data*, 21(1): 78–80. <https://doi.org/10.1021/jc60068a029>
28. Wiessenburg D.A., Guinasso N.L. **1979.** Equilibrium solubility of methane, carbon dioxide, and hydrogen in water and sea water. *J. of Chemical & Engineering Data*, 24(4): 356–360. <https://doi.org/10.1021/jc60083a006>
29. Леонов А.К. **1960.** *Региональная океанография*. Л.: Гидрометеиздат, 165 с.
30. Власова Г.А., Глебова С.Ю. **2008.** Сезонная изменчивость поверхностных течений Охотского моря под влиянием синоптических процессов. *Известия ТИНРО*, 154: 259–269.
31. Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. **2008.** *Пространственная и временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря*. М.: Наука, 359 с.
32. Лучин В.А. **1998.** Непериодические течения. В кн.: *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Т. 9: *Охотское море*, вып. 1: *Гидрометеорологические условия*. СПб.: Гидрометеиздат, 233–256.
33. Ohshima K.I., Wakatsuchi M., Fukamachi Y., Mizuta G. **2002.** Near-surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters. *J. of Geophysical Research: Oceans*, 107: 11. <https://doi.org/10.1029/2001jc001005>

34. Talley L.D. **1991**. An Okhotsk Sea water anomaly: Implications for ventilation in the North Pacific. *Deep-Sea Research A. Oceanographic Research Papers*, 38(S1): S171–S190. [https://doi.org/10.1016/s0198-0149\(12\)80009-4](https://doi.org/10.1016/s0198-0149(12)80009-4)
35. Simizu D., Ohshima K.I. **2002**. Barotropic response of the Sea of Okhotsk to wind forcing. *Journal of Oceanography*, 58(6): 851–860.
36. Shimada Y., Kubokawa A., Ohshima K.I. **2005**. Influence of current width variation on the annual mean transport of the East Sakhalin Current: A simple model. *Journal of Oceanography*, 61: 913–920. <https://doi.org/10.1007/s10872-006-0009-y>
37. Simizu D., Ohshima K.I. **2006**. A model simulation on the circulation in the Sea of Okhotsk and the East Sakhalin Current. *J. of Geophysical Research: Oceans*, 111: 05016. <https://doi.org/10.1029/2005jc002980>
38. Ohshima K.I., Simizu D. **2008**. Particle tracking experiments on a model of the Okhotsk Sea: Toward oil spill simulation. *Journal of Oceanography*, 64: 103–114. <https://doi.org/10.1007/s10872-008-0008-2>
39. Ebuchi N. **2006**. Seasonal and interannual variations in the East Sakhalin Current revealed by the TOPEX/POSEIDON altimeter data. *Journal of Oceanography*, 62: 171–183. <https://doi.org/10.1007/s10872-006-0042-x>
40. Файман П.А. **2018**. *Атлас течений Охотского моря*. Владивосток: Дальневост. региональный науч.-исслед. гидрометеорологический инст., 133 с.
41. Файман П.А., Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю. **2021**. Моделирование распространения тихоокеанских вод в Охотском море. *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, 57: 329–340.
42. Rybalko S.I., Shevchenko G.V. **2003**. Seasonal and spatial variability of sea currents on the Sakhalin northeastern shelf. *Pacific Oceanography*, 1(2): 168–178.
43. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В. **2014**. Восстановление годового хода термохалинных характеристик и циркуляции вод на северо-восточном шельфе Сахалина. *Водные ресурсы*, 41(4): 362–374. doi:[10.7868/S0321059614040129](https://doi.org/10.7868/S0321059614040129); EDN: [SFAKND](https://www.edn.ru/SFAKND)
44. Fayman P., Prants S., Budyansky M., Uleysky M. **2020**. New circulation features in the Okhotsk Sea from a numerical model. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 56: 618–631. <https://doi.org/10.1134/s0001433820060043>
45. Prants S., Andreev A., Budyansky M., Uleysky M. **2017**. Mesoscale circulation along the Sakhalin Island eastern coast. *Ocean Dynamics*, 67: 345–356. <https://doi.org/10.1007/s10236-017-1031-x>
46. Полупанов П.В. **2007**. Возникновение и существование апвеллинга у северо-восточного побережья о. Сахалин. *Труды СахНИРО*, т. 9: 257–263.
47. Жабин И.А., Дмитриева Е.В. **2016**. Сезонная и межгодовая изменчивость ветрового апвеллинга у восточного побережья о-ва Сахалин по данным скаттерометра SeaWinds спутника QuikSCAT. *Исследование Земли из космоса*, 1-2: 105–115. doi:[10.7868/S0205961416010152](https://doi.org/10.7868/S0205961416010152); EDN: [VTOVNB](https://www.edn.ru/VTOVNB)
48. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Соловьев В.М., Горнов П.Ю., Шибаяев С.В. **2013**. Зона сочленения Евразийской, Охотоморской и Амурской плит по геофизическим данным. В кн.: *50 лет сейсмологического мониторинга Сибири*: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием, 21–25 окт. 2013 г. Новосибирск: ИНГГ, с. 218–221.
49. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б., Рашидов В.А., Сергеева Н.А., Филатова Н.И. **2005**. Геотраверс региона Охотского моря. *Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле*, 5: 45–58. EDN: [HRSVKV](https://www.edn.ru/HRSVKV)
50. Сим Л.А., Каменев П.А., Богомолов Л.М. **2020**. Новые данные о новейшем напряженном состоянии земной коры острова Сахалин (по структурно-геоморфологическим индикаторам тектонических напряжений). *Геосистемы переходных зон*, 4(4): 372–383. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.4.372-383>
51. Николаевский В.Н., Рамазанов Т.К. **1986**. Генерация и распространение волн вдоль глубинных разломов. *Известия АН СССР. Физика Земли*, 10: 3–13.
52. Лучин В.А. **1987**. Циркуляция вод Охотского моря и особенности ее внутригодовой изменчивости по результатам диагностических расчетов. *Труды ДВНИГМИ*, 36: 3–13. EDN: [VPXBBX](https://www.edn.ru/VPXBBX)
53. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. **2016**. Распределение гелия и водорода в отложениях и воде на склоне о. Сахалин. *Литология и полезные ископаемые*, 1: 68–81.
54. Воейкова В.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И. **2007**. *Неотектоника и активные разрывы Сахалина*. М.: Наука, 186 с.
55. Ballentine C.J., Burgess R., Marty B. **2002**. Tracing fluid origin, transport and interaction in the crust. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 47: 539–614. <https://doi.org/10.2138/rmg.2002.47.13>
56. Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Каменский И.Л. **1996**. Источники вещества в продуктах грязевого вулканизма (по изотопным, гидрохимическим и геологическим данным). *Литология и полезные ископаемые*, 6: 625–647.
57. Snyder G.T., Sano Y., Takahata N., Matsumoto R., Kakizaki Y., Tomaru H. **2020**. Magmatic fluids play a role in the development of active gas chimneys and massive gas hydrates in the Japan Sea. *Chemical Geology*, 535: 119462. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119462>
58. Тищенко П.П. **2022**. Первичная продукция фитопланктона на северо-восточном шельфе острова Сахалин в летний период. *Морской биологический журнал*, 7(4): 81–97. doi:10.21072/mbj.2022.07.4.07
59. Charlou J.L., Donval J.P., Fouquet Y., Jean-Baptiste P., Holm N. **2002**. Geochemistry of high H₂ and CH₄ vent fluids issuing from ultramafic rocks at the Rainbow hydrothermal field (36°14' N, MAR). *Chemical Geology*, 191(4): 345–359. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(02\)00134-1](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(02)00134-1)
60. Chen J., Liu Yi-F., Zhou L., Irfan M., Hou Z-W., Li W., Mbadinga S.M., Liu J.-F. Yang Shi-Zh., Wu X.L., Gu Ji-D., Mu Bo-Zh. **2020**. Long-chain n-alkane biodegradation coupling to methane production in an enriched culture from production water of a high-temperature oil reservoir. *AMB Express*, 10(63): 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-00998-5>
61. Duan Z., Mao S. **2006**. Thermodynamic model for calculating methane solubility, density and gas phase composition of methane-bearing aqueous fluids from 273 to 523 K and from 1 to 2000 bar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(13): 3369–3386. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.03.018>

62. Grabowska J., Blazquez S., Sanz E., Zerón I., Algaba J., Míguez J., Blas F., Vega C. **2022**. Solubility of methane in water: Some useful results for hydrate nucleation. *The Journal of Physical Chemistry B*, 126(42): 8553–8570. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.2c04867>
63. Kholmogorov A., Syrbu N., Shakirov R. **2022**. Influence of hydrological factors on the distribution of methane fields in the water column of the Bransfield Strait: Cruise 87 of the R/V «Academik Mstislav Keldysh», 7 December 2021 – 5 April 2022. *Water*, 14(20): 3311. <https://doi.org/10.3390/w14203311>
64. Shakirov R.B., Obzhairov A.I., Biebow N., Salyuk A.N., Tsunogai U., Terekhova V.E., Shoji H. **2005**. Classification of anomalous methane fields in the Okhotsk Sea. *Polar Meteorology and Glaciology*, 19: 50–66.
65. Obzhairov A.I., Shakirov R., Salyuk A., Suess E., Biebow N., Salomatin A. **2004**. Relations between methane venting, geological structure and seismo-tectonics in the Okhotsk Sea. *Geo-Marine Letters*, 24: 135–139. <https://doi.org/10.1007/s00367-004-0175-0>
66. Yoshida O., Yoshikawa-Inoue H., Watanabe S., Noriki S., Wakatsuchi M. **2004**. Methane in the western part of the Sea of Okhotsk in 1998–2000. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109: C09S12, Article B09204. <https://doi.org/10.1029/2003JC001910>