

Распределение потоков метана на границе вода–атмосфера в различных районах Мирового океана

Галина Ивановна Мишукова, <https://orcid.org/0000-0003-1820-6069>, gmishukova@poi.dvo.ru

Андрей Вадимович Яцук, <https://orcid.org/0000-0003-3975-5438>, yatsuk@poi.dvo.ru

Ренат Белалович Шакиров, <https://orcid.org/0000-0003-1202-0351>, ren@poi.dvo.ru

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия

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

Резюме. Впервые рассчитаны потоки метана на границе вода–атмосфера по экспедиционным данным о концентрациях метана в поверхностном слое воды и приводном слое атмосферы на акватории трех океанов: Тихого, Индийского, Атлантического (около 30 000 миль) по ходу движения судна. В результате проведенных исследований в различных акваториях Мирового океана было обнаружено неравномерное пространственное распределение потоков метана от сильного стока до эмиссии аномальной интенсивности. В статье приведены результаты детального изучения глубоководного района открытых вод Индийского океана в северной части Восточно-Индийского хребта. На основе прямых измерений концентраций метана в поверхностном водном слое океана и содержания метана в приводном слое атмосферы выявлено как пересыщение, так и недосыщение морской воды относительно его концентраций в атмосфере. Рассмотрено распределение растворенного метана в водной толще Индийского океана.

Ключевые слова

поток метана, распределение, концентрации метана, Индийский океан

Для цитирования: Мишукова Г.И., Яцук А.В., Шакиров Р.Б. Распределение потоков метана на границе вода–атмосфера в различных районах Мирового океана. *Геосистемы переходных зон*, 2021, т. 5, № 3, с. 240–254. (На рус. и англ.).

<https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.3.240-247.247-254>

For citation: Mishukova G.I., Yatsuk A.V., Shakirov R.B. Distribution of methane fluxes on the water–atmosphere interface in different regions of the World Ocean. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2021, vol. 5, no. 3, pp. 240–254. (In Russ. & Engl.).

<https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.3.240-247.247-254>

Список литературы

1. *Геологическое строение и гидротермальные образования хребта Хуан-де-Фука* (отв. ред. А.П. Лисицын). 1990. М.: Наука, 199 с.
2. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. 1994. *Субмаринные газовые гидраты*. Л: ВНИИОкеангеология, 86 с.
3. Горяинов Н.И., Грамберг И.С., Смекалов А.С. и др. 2000. О возможной зависимости глобального роста концентраций метана в тропосфере от числа слабых землетрясений. *Геология и геофизика*, 41(8): 1187–1194.
4. Зубова М.А. 1988. *Гидраты природных газов в недрах Мирового океана*. М.: ВИЭМС, 61 с.
5. Левченко О.В., Сборщиков И.М., Маринова Ю.Г. 2014. Тектоника хребта Девианского градуса. *Океанология*, 54(2): 252–266.
6. Левченко О.В., Ананьев Р.А., Веклич И.А., Иваненко А.Н., Маринова Ю.Г., Турко Н.Н. 2018. Комплексные исследования подводной горы в основании северного сегмента Восточно-Индийского хребта. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 3(39): 90–104. [doi:10.31431/1816-5524-2018-3-39-90-104](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2018-3-39-90-104)
7. Легкодимов А.А., Мишукова О.В., Швалов Д.А., Максеев Д.С., Шакирова М.В., Бакунина М.С., Еськова Е.И. 2019. К дискуссии об эмиссии метана с акватории Татарского пролива, Японское море (по результатам 55-го рейса НИС «Академик Опарин»). *Вестник ДВО РАН*, 2: 81–87. [doi:10.25808/08697698.2019.204.2.009](https://doi.org/10.25808/08697698.2019.204.2.009)
8. Леин А.Ю., Сагалевич А.М. 2000. Курильщики поля Рейнбоу – район масштабного абиогенного синтеза метана. *Природа*, 8: 44–53.
9. Мишукова Г.И., Шакиров Р.Б. 2017. Пространственная изменчивость распределения метана в морской среде и его потоков на границе вода–атмосфера в западной части Охотского моря. *Водные ресурсы*, 44(4): 493–503. [doi:10.7868/S0321059617040137](https://doi.org/10.7868/S0321059617040137)
10. Мишукова Г.И., Мишуков В.Ф., Обжиров А.И., Пестрикова Н.Л., Верещагина О.Ф. 2015. Особенности распределения концентрации метана и его потоков на границе раздела вода – атмосфера на акватории Татарского пролива Японского моря. *Метеорология и гидрология*, 6: 89–96.
11. Мишукова Г.И., Обжиров А.И., Мишуков В.Ф. 2007. *Метан в пресных и морских водах и его потоки на границе вода–атмосфера в Дальневосточном регионе*. Владивосток: Дальнаука, 159 с.
12. Мишукова Г.И., Пестрикова Н.Л., Мишуков В.Ф., Яновская О.С. 2011. Распределение метана и расчет его потоков на границе вода–атмосфера на акватории северо-западной части Японского моря в теплый сезон. *Подводные исследования и робототехника*, 1(11): 68–74.

13. Мишукова Г.И., Пестрикова Н.Л., Верещагина О.Ф., Окулов А.К., Мишуков В.Ф. **2013**. Пространственная и временная изменчивость распределения метана и его потоков на границе вода–атмосфера на Прикурильских акваториях в районе Охотского моря и Тихого океана. *Подводные исследования и робототехника*, 1(15): 52–61.
14. Мишукова Г.И., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. **2017**. Потоки метана на границе вода–атмосфера в Охотском море. *Доклады АН*, 475(6): 697–701. [doi:10.7868/S0869565217240203](https://doi.org/10.7868/S0869565217240203)
15. Обжиров А.И., Пестрикова Н.Л., Мишукова Г.И., Мишуков В.Ф., Окулов А.К. **2016**. Распределение содержания и потоков метана на акваториях Японского, Охотского морей и Прикурильской части Тихого океана. *Метеорология и гидрология*, 3: 71–81.
16. Обжиров А.И., Мишукова Г.И., Шакиров Р.Б., Мишуков В.Ф., Мальцева Е.В., Соколова Н.Л., Окулов А.К., Яцук А.В., Лифанский Е.В. **2019**. Межсезонная изменчивость концентраций и потоков метана на границе вода–атмосфера в западной части Охотского моря. *Океанология*, 59(6): 944–951. [doi:10.31857/S0030-1574596944-951](https://doi.org/10.31857/S0030-1574596944-951)
17. Шакиров Р.Б., Мишукова О.В. **2019**. Пространственное распределение потоков метана на границе вода–атмосфера в Охотском море. *Геосистемы переходных зон*, 3(1): 107–123. doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.1.107-123
18. Шакиров Р.Б., Яцук А.В., Мишукова Г.И., Обжиров А.И., Югай И.Г., Лан Н.Х., Кыонг Д.Х. **2019**. О потоке метана в атмосферу в Южно-Китайском море. *Доклады АН*, 486(1): 103–107. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524861103-107>
19. Шакиров Р.Б., Валитов М.Г., Сырбу Н.С., Яцук А.В., Обжиров А.И., Мишуков В.Ф., Лифанский Е.В., Мишукова О.В., Саломатин А.С. **2020**. Потоки метана на границе вода–атмосфера в южной части Татарского пролива Японского моря: особенности распределения и изменчивости. *Геология и геофизика*, 61(9): 1215–1230. [doi:10.15372/GiG2019184](https://doi.org/10.15372/GiG2019184)
20. Bange H.W., Bartell U.H., Rapsomanikis S., Andrae M.O. **1994**. Methane in the Baltic and the North Seas and reassessment of marine emissions of methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 8(4): 465–480. <https://doi.org/10.1029/94gb02181>
21. Berner U., Poggenburg J., Faber E., Quadfasel D., Frische A. **2003**. Methane in ocean waters of the Bay of Bengal: its sources and exchange with the atmosphere. *Deep Sea Research. Pt II: Topical Studies in Oceanography*, 50(5): 925–950. [https://doi.org/10.1016/s0967-0645\(02\)00613-6](https://doi.org/10.1016/s0967-0645(02)00613-6)
22. Boetius A., Ferdelman T., Lochte K. **2000**. Bacterial activity in sediments of the deep Arabian Sea in relation to vertical flux. *Deep-Sea Research. Pt II: Topical Studies in Oceanography*, 47(14): 2835–2875. [https://doi.org/10.1016/s0967-0645\(00\)00051-5](https://doi.org/10.1016/s0967-0645(00)00051-5)
23. Bohrmann G., Chin C., Petersen S. et al. **1998**. Hydrothermal activity at Hook Ridge in the Central Bransfield Basin, Antarctica. *Geo-Marine Letters*, 18: 277–284. <https://doi.org/10.1007/s003670050080>
24. Callender W.R., Powell E.N. **1999**. Why did ancient chemosynthetic seep and vent assemblages occur in shallower water than they today? *International J. of Earth Sciences*, 88: 377–391. <https://doi.org/10.1007/s005310050273>
25. Cicerone R.J., Oremland R. **1988**. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 2(4): 299–327. <https://doi.org/10.1029/gb002i004p00299>
26. Conrad R., Seiler W. **1988**. Methane and hydrogen in seawater (Atlantic Ocean). *Deep Sea Research. Pt A. Oceanographic Research Papers*, 35: 1903–1917. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(88\)90116-1](https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90116-1)
27. Dickens G.R. **2001**. Modeling the global carbon cycle with a gas hydrate capacitor: significance for the latest Paleocene thermal maximum. In: C.K. Paull, W.P. Dillon (eds). *Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Dynamics*, p. 19–38. (American Geophysical Union. Geophys. Monograph Series; 124). <https://doi.org/10.1029/GM124p0019>
28. Ehhalt D.H. **1974**. The atmospheric cycle of methane. *Tellus*, 26(84): 58–70. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v26i1-2.9737>
29. Fischer D., Mogollón J., Strasser M. et al. **2013**. Subduction zone earthquake as potential trigger of submarine hydrocarbon seepage. *Nature Geoscience*, 6: 647–651. <https://doi.org/10.1038/ngeo1886>
30. Kirschke S., Bousquet Ph. ... Zeng G. **2013**. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience*, 6: 813–823. <https://doi.org/10.1038/ngeo1955>
31. Kopf A.J. **2002**. Significance of mud volcanism. *Reviews of Geophysics*, 40(2): 1005. <https://doi.org/10.1029/2000rg000093>
32. Kvenvolden K.A. **1988**. Methane hydrate – a major reservoir of carbon in the shallow geosphere. *Chemical Geology*, 71: 41–51. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90104-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90104-0)
33. Kvenvolden K.A., Kastner M. **1990**. Gas hydrates of the Peruvian outer continental margin. In: Suess E., von Huene R. et al. (eds). *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific results*, 112: 517–526. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.112.147.1990>
34. Long D., Lammers S., Linke P. **1998**. Possible hydrate mounds within large sea-floor craters in the Barents Sea. *Geological Society, London, Spec. Publ.*, 137: 223–237. [doi:10.1144/GSL.SP.1998.137.01.18](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.137.01.18)
35. Max M.D., Dillon W.P., Nishimura C., Hurdle B.G. **1999**. Sea floor methane blow-out and global firestorm at the K+T boundary. *Geo-Marine Letters*, 18: 285–291. <https://doi.org/10.1007/s003670050081>
36. Mienert J., Posewang J. **1999**. Evidence of shallow- and deep-water gas hydrate destabilizations in North Atlantic polar continental margin sediments. *Geo-Marine Letters*, 19: 143–149. <https://doi.org/10.1007/s003670050101>
37. Mischoukov V., Mishukova G. **1999**. White caps and bubble mechanisms of gas exchange between ocean and atmosphere. In: Y. Nojiri (ed.). *Proceedings of the 2nd International Symp. "CO₂ in the Oceans"*. Environ. Agency of Japan, 517–520.
38. Mishukova O., Shakirov R., Yatsuk A. **2019**. Methane fluxes on the water-atmosphere interface in the north-west of the Sea of Japan during spring–summer–autumn (2010–2018). In: *Marine Science and Technology for Sustainable Development: Abstracts of the 26th Intern. Conf. of Pacific Congress on Marine Science and Technology (PACON-2019), July 16–19, 2019, Vladivostok, Russia*. Vladivostok: POI FEB RAS, p. 84.
39. Paull C.K., Brewer P.G., Ussler W., Peltzer E.T., Rehder G., Clague D. **2003**. An experiment demonstrating that marine slumping is a mechanism to transfer methane from seafloor gas-hydrate deposits into the upper ocean and atmosphere. *Geo-Marine Letters*, 22: 198–203. <https://doi.org/10.1007/s00367-002-0113-y>
40. Reeburgh W.S. **2007**. Oceanic methane biogeochemistry. *Chemical Reviews*, 107: 486–513. <https://doi.org/10.1021/cr050362v>
41. Sarano F., Murphy R.C., Houghton B.F., Hedenquist J.W. **1989**. Preliminary observations of submarine geothermal activity in the vicinity of the White Island Volcano, Taupo volcanic zone, New Zealand. *J. of the Royal Society of New Zealand*, 19 (4): 449–459. <https://doi.org/10.1080/03036758.1989.10421847>
42. Saunoy M., Bousquet Ph., Poulter B., Peregón A., Ciais Ph., Canadell J.G., Dlugokencky E.J., Etiope G., Bastviken D., Houweling S. et al. **2016**. The global methane budget 2000–2012. *Earth System Science Data*, 8: 697–751. [doi:10.5194/essd-8-697-2016](https://doi.org/10.5194/essd-8-697-2016)
43. Schubert C.J., Nurnberg D., Scheele N., Pauer F., Kriews M. **1997**. ¹³C isotope depletion in ikaite crystals: evidence for methane release from the Siberian shelves? *Geo-Marine Letters*, 17: 169–174. <https://doi.org/10.1007/s003670050023>
44. Shakirov R.B., Valitov M.G., Obzhiriv A.I., Mishukov V.F., Yatsuk A.V., Syrбу N.S., Mishukova O.V. **2019**. Methane anomalies, its flux on the sea-atmosphere interface and their relations to the geological structure of the South-Tatar

sedimentary basin (Tatar Strait, the Sea of Japan). *Marine Geophysical Research*, 40: 581–600.

<https://doi.org/10.1007/s11001-019-09389-3>

45. Suess E., Torres M.E., Bohrmann G., Collier R.W., Greinert J., Linke P., Rehder G., Trehu A., Wallmann K., Winckler G., Zuleger E. **1999**. Gas hydrate destabilization: enhanced dewatering, benthic material turnover and large methane plumes at the Cascadia convergent margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 170 (1-2): 1–15. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(99\)00092-8](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(99)00092-8)
46. Trehu A.M., Torres M.E., Moore G.F., Suess E., Bohrmann G. **1999**. Temporal and spatial evolution of a gas hydrate-bearing accretionary ridge on the Oregon continental margin. *Geology*, 27(10): 939–942. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0939:taseoa>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0939:taseoa>2.3.co;2)
47. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. **2013**. Methane in water columns and sediment of north western Sea of Japan. *Deep Sea Research. Pt II: Topical studies in Oceanography*, 86–87: 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.08.017>
48. Weber Th., Wiseman N.A., Kock A. **2019**. Global ocean methane emissions dominated by shallow coastal waters. *Nature Communications*, 10: 4584. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12541-7>
49. Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. **1979**. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and seawater. *J. of Chemical & Engineering Data*, 24(4): 356–360. <https://doi.org/10.1021/je60083a006>
50. 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/je60068a029>