



About gas hydrates of East Asian marginal seas: patterns of genesis and distribution (review)

R. B. Shakirov¹

A. I. Obzhirov¹

M. V. Shakirova²

E. V. Maltseva^{*1}

¹*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS,
Vladivostok, Russia*

²*Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok, Russia*

Abstract

The reviewed results on the genesis and distribution of gas hydrates in the marginal seas of Eastern Asia have been presented. Hydrate-forming gas in the continent–ocean transition zone, in general, is a mixture of the thermogenic and microbial components with the characteristic isotopic composition of methane from –40 to –75 ‰ PDB. Gas hydrates were found also within the areas of magmatic and coal-metamorphogenic gases fluxes into the host sediments. The Okhotsk and Japan Seas gas hydrate-bearing provinces have a signs of gas hydrocarbon zonality (in accordance with the classical oil and gas formation pattern). Multilevel (stratified) gas hydrates accumulations in the western part of the Pacific Ocean have been revealed, which is an important factor in the methane and carbon cycle. The genetic and spatial correlation of gas hydrate-bearing sediments with oil- gas and coal-bearing strata is traced. The most important factor in the formation of gas hydrates is the geological structure of the regions under favorable temperature, pressure and geochemical conditions. Neotectonics is the most important factor controlling relict gas hydrates, located below the sea floor up to 2000 meters, and modern tectonics – gas hydrates in the near-bottom interval. The nodes of active faults intersections, especially those controlled by deep zones, are the subject to permeability and are in close proximity to petroleum-bearing forms, which are the most promising patterns for the massive aggregates of gas hydrates. The gas hydrates of the East Asian marginal seas are insufficiently studied, and this requires the long-term international research programs.

Keywords

gas hydrates, marginal seas, patterns of genesis and distribution,
East Asia.

For citation: Shakirov R.B., Obzhirov A.I., Shakirova M.V., Maltseva E.V. About gas hydrates of East Asian marginal seas: patterns of genesis and distribution (review). *Geosystems of Transition Zones*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 65–106. (In Russ.). doi: 10.30730/2541-8912.2019.3.1.065-106

Для цитирования: Шакиров Р.Б., Обжиров А.И., Шакирова М.В. Мальцева Е.В. О газогидратах окраинных морей Восточной Азии: закономерности генезиса и распространения (обзор). *Геосистемы переходных зон*. 2019. Т. 3, № 1. С. 65–106. doi: 10.30730/2541-8912.2019.3.1.065-106

References

1. Аблаев А.Г., Тащи С.М., Мельников Н.Г. Угленосность побережий и шельфа западного сектора Япономорского региона // *Геология и полезные ископаемые шельфов России*. М.: ГЕОС, 2002. С. 256–260.
2. Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В. и др. Подводная газогидротермальная активность на северо-западном склоне о. Парамушир (Курильские острова) // *Вулканология и сейсмология*. 1984. № 6. С. 66–81.
3. Арешев Е.Г. *Нефтегазоносность окраинных морей Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии*. М.: Аванти, 2003. 288 с.

4. Астахова Н.В. *Аутигенные образования в позднекайнозойских отложениях окраинных морей Востока Азии*. Владивосток: Дальнаука, 2007. 244 с.
5. Баранов Б.В., Рукавишника Д.Д., Прокудин В.Г., Джин Я.-К., Дозорова К.А. Природа замкнутых депрессий на восточном склоне острова Сахалин // *Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2013. Вып. 21, № 1. С. 86–97.
6. Верба М.Л., Иванов Г.И., Тихонова И.М. Геолого-геохимические и геофизические свидетельства перспектив нефтегазоносности центральной и южной областей Охотского моря // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2011. Т. 6, № 4. С. 1–12. URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/49_2011.pdf (дата обращения: 19.12.2018).
7. Веселов О.В., Гордиенко В.В., Куделькин В.В. Термобарические условия формирования газогидратов в Охотском море // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. Киев: НАН Украины, 2006. Вып. 3. С. 62–68.
8. *Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря* / А.И. Обжиров, Н.В. Астахова, М.И. Липкина и др. Владивосток: Дальнаука, 1999. 184 с.
9. *Геология и полезные ископаемые шельфов России*: Атлас. М.: Науч. мир, 2004. 108 с.
10. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. *Субмаринные газовые гидраты*. Л.: ВНИИОкеангеология, 1994. 86 с.
11. Гресов А.И. Геохимическая классификация углеводородных газов угленефтегазоносных бассейнов востока России // *Тихоокеан. геология*. 2011. Т. 30, № 2. С. 85–101. [Gresov A.I. Geochemical classification of hydrocarbon gases of the coal basins of East Russia. *Russian J. of Pacific Geology*, 2011, 5(2): 164-179. <https://doi.org/10.1134/s1819714011020047>].
12. Гресов А.И. *Геолого-промышленная оценка метаноресурсного потенциала и перспектив углеметанового промысла в углегазоносных бассейнах северо-востока России*: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук / Томский политехн. ун-т. Томск, 2014. 48 с.
13. Грецкая Е.В., Петровская Н.А. Нефтегазоносность Хатырского осадочного бассейна (Берингово море) // *Газовая промышленность*. 2010. Вып. 654, № 14. С. 38–44.
14. Грецкая Е.В., Ильев А.Я., Гнибиденко Г.С. *Углеводородный потенциал осадочно-породных бассейнов Охотского моря*. Южно-Сахалинск, 1992. 44 с.
15. Грецкая Е.В., Крапивенцева В.В., Сергеев К.Ф. Углеводородный потенциал осадочных отложений Гольгинского бассейна (Камчатка) // *Докл. АН*. 2008. Т. 420, № 6. С. 796–798.
16. Ефремова А.Г. Типы газопродуцирующих отложений // *Геология нефти и газа*. 1979. № 2. С. 50–54.
17. Ефремова А.Г., Гритчина Н.Д. Газогидраты в морских осадках и проблема их практического использования // *Геология нефти и газа*. 1981. № 2. С. 32–34.
18. Зоненшайн Л.П., Мурдмаа И.О., Баранов Б.В. и др. Подводный газовый источник в Охотском море к западу от острова Парамушир // *Океанология*. 1987. Вып. 5. С. 795–800.
19. Истомин В.А., Якушев В.С. *Газовые гидраты в природных условиях*. М.: Недра, 1992. 236 с.
20. Карп Б.Я., Бессонова Е.А. Сейсмичность районов Охотского и Японского морей. Строение фундамента дна Охотского моря // *Геология и полезные ископаемые шельфов России*. М.: ГЕОС, 2002. С. 320–323.
21. Карпюк В.В. *Аналитический библиографический указатель литературы по газовым гидратам (1983–1987 гг.)*. М.: ВНИИГАЗ, 1988. 246 с.
22. Кудрявцева Е.И., Лобков В.А. Изотопный состав углерода метана как критерий прогнозирования дифференцированных залежей углеводородов // *Тихоокеан. геология*. 1984. № 3. С. 117–120.
23. Кузьмин М.И., Калмычков Б.Г., Конторович А.Э. и др. Первая находка газогидратов в осадочной толще озера Байкал // *Докл. АН*. 1998. Т. 362, № 4. С. 541–543.
24. Леин А.Ю., Иванов М.В. *Биогеохимический цикл метана в океане*. М.: Наука, 2009. 576 с.
25. Леин А.Ю., Гальченко В.Ф., Покровский Б.Г. и др. Морские карбонатные конкреции как результат процессов микробного окисления газогидратного метана в Охотском море // *Геохимия*. 1989. № 10. С. 1396–1406.
26. Леликов Е.П., Емельянова Т.А. Строение фундамента дна Охотского моря // *Геология и полезные ископаемые шельфов России*. М.: ГЕОС, 2002. С. 314–320.
27. Макогон Ю.Ф. Образование гидратов в газоносном пласте в условиях многолетней мерзлоты // *Газовая промышленность*. 1965. № 5. С. 14–15.
28. На нефтяном рынке мира // *Бюл. иностр. коммерч. информации*. 1998. № 4. С. 12–13.
29. *Нетрадиционные ресурсы метана Дальнего Востока России: распределение, генезис, промышленное значение, экология*: науч.-техн. отчет / исполн. Шакиров Р.Б.; ТОИ ДВО РАН; соглашение № 8319 от 17 авг. 2012 г. Владивосток, 2013. № 01201281458. 226 с.
30. Николаева Н.А., Деркачев А.Н., Обжиров А.И. Характерные особенности проявлений газово-флюидных эманаций на северо-восточном склоне о-ва Сахалин (Охотское море) // *Тихоокеан. геология*. 2009. Т. 28, № 3. С. 38–52. [Nikolaeva N.A., Derkachev A.N., Obzhirov A.I. Characteristic features of the occurrence of gas-fluid emanations on the northeastern slope of Sakhalin Island, Sea of Okhotsk. *Russian J. of Pacific Geology*, 2009, 3(3): 234-248. <https://doi.org/10.1134/s181971400903004x>]

31. Никонов В.Н. Тяжелые углеводороды и их соотношения в газах нефтяных и газовых залежей // *Геология нефти и газа*. 1961. № 8. С. 12–21.
32. Обжиров А.И. *Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов*. М.: Наука, 1993. 139 с.
33. Обжиров А.И., Шакиров Р.Б. Комплексные геолого-геофизические исследования газогидратов в Охотском море // *Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии*. Вып. 4. *Геология и полезные ископаемые окраинных морей Евразии*. М.: ГЕОС, 2012. С. 122–136.
34. Обжиров А.И., Берлин Ю.М., Верховская З.И., Коровицкая Е.В., Верещагина О.Ф. Особенности распределения высокомолекулярных углеводородов в донных осадках Охотского моря в районе аномальных полей метана // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2013. № 2. С. 7–11.
35. *Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона: м-б 1: 2 500 000* / отв. ред. Н.А. Богданов, В.Е. Хаин. М.: ИЛОВМ РАН, 2000. 193 с.
36. *Отчет о НИР по теме «Условия формирования и разрушения газогидратов в Охотском море, их моделирование и технико-экономическое обоснование извлечения метана из газогидратов»* / исп. Обжиров А.И. и др.; ТОИ ДВО РАН; Гос. контракт № 02.515.11.5017. Владивосток, 2008. № 02.515.11.5017. 135 с.
37. Панаев В.А. Газогидраты в Мировом океане // *Бюл. МОИП*. 1987. Т. 62, № 3. С. 66–71.
38. Полоник Н.С., Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И. Изучение состава углеводородных компонентов Южно-Сахалинского и Пугачевского грязевых вулканов // *Докл. АН*. 2015. Т. 462, № 1. С. 79–83. [Polonik N.S., Shakirov R.B., Sorochinskaya A.V., Obzhirov A.I. Studies of the composition of hydrocarbon components of the Yuzhno-Sakhalinsk and Pugachevo mud volcanoes. *Doklady Earth Sciences*, 2015, 462(1): 463-467. <https://doi.org/10.1134/s1028334x15050074>]
39. Равдоникас О.В. *Нефтепоисковая гидрогеология Сахалина*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 167 с.
40. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А. *Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин*. М.: Науч. мир, 2014. 172 с.
41. Харахинов В.В. *Тектоника Охотоморской нефтегазоносной провинции*: дис. ... д-ра геол.-минер. наук / СахалинНИПИМорнефть. Оха-на-Сахалине, 1998. 77 с.
42. Харахинов В.В. *Нефтегазовая геология Сахалинского региона*. М.: Науч. мир, 2010. 276 с.
43. Хлыстов О.М., Нишио Ш., Манаков А.Ю., Сугияма Х., Хабуев А.В., Белоусов О.В., Грачев М.А. Опыт картирования кровли приповерхностных газовых гидратов озера Байкал и извлечение газа из них // *Геология и геофизика*. 2014. Т. 55, № 9. С. 1415–1425. [Khlystov O.M., Khabuev A.V., Belousov O.V., Grachev M.A., Nishio S., Sugiyama H., Manakov A.Y. The experience of mapping of Baikal subsurface gas hydrates and gas recovery. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, 55(9): 1122-1129. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.08.007>]
44. Шакиров Р.Б. *Аномальные поля метана в Охотском море и их связь с геологическими структурами*: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / ТОИ Д, 2003.
45. Шакиров Р.Б. Особенности химического и изотопного состава углеводородных газов вулканов Менделеева и Головнина (о. Кунашир) // *Геохимия*. 2014. № 3. С. 267–269. <https://doi.org/10.7868/S0016752514010063> [Shakirov R.B. Chemical and isotopic characteristics of hydrocarbon gases from Mendeleev and Golovnin volcanoes, Kunashir Island. *Geochemistry International*, 2014, 52(3): 247-259. <https://doi.org/10.1134/s0016702914010066>]
46. Шакиров Р.Б. К вопросу об источниках углеводородных газов морских отложений и газогидратов окраинных морей Дальневосточного региона. Геодинамические процессы и природные катастрофы // *Опыт Нефтегорска: Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.*: сб. материалов: в 2 т. / под ред. Б.В. Левина, О.Н. Лихачевой. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 177–181.
47. Шакиров Р.Б. *Газогеохимические поля морей Восточной Азии*. М.: ГЕОС, 2018. 341 с.+1 вкл.
48. Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. Западно-Тихо-океанский газогидратоносный пояс // *Теоретические и практические аспекты исследований природных и искусственных газовых гидратов*: сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. / Ин-т проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, 24–28 авг. 2011. Якутск: Ахсаан, 2011. С. 191–200.
49. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. Изотопно-газогеохимические особенности распределения метана и углекислого газа на о. Сахалин и прилегающем шельфе Охотского моря // *Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2012. Т. 2, вып. 20. С. 100–113.
50. Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И. Газогеохимические аномалии в осадках Восточно-Сибирского моря // *Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2013. Вып. 21, № 1. С. 231–243.
51. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. Особенности распределения гелия и водорода на юго-восточном и юго-западном склоне о. Сахалин (по результатам 59 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2012 г.) // *Литоология и полезные ископаемые*. 2016. № 1. С. 68–81. [Shakirov R.B.,

- Syrbu N.S., Obzhirov A.I. Distribution of helium and hydrogen in sediments and water on the Sakhalin slope. *Lithology and Mineral Resources*, 2016, 51(1): 61-73. <https://doi.org/10.1134/s0024490216010065>].
52. Abrams M. Geophysical and geochemical evidence for subsurface hydrocarbon leakage in the Bering Sea, Alaska // *Marine and Petroleum Geology*. 1992. Vol. 9, N 2. P. 208–221. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(92\)90092-s](https://doi.org/10.1016/0264-8172(92)90092-s)
 53. *ARA07C Cruise Report 2016: Korea-Russia-Germany East-Siberian Sea Arc Project*. Korea Polar Research Inst., 2017. 108 p.
 54. Baranov B.V., Karp B.Ya., Wong H.K. Areas of gas seepage // *Cruise Reports I & II: INESSA – Investigation of Eastern Sakhalin Seepage Areas*. RV Professor Gagarinsky Cruise 22, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 28. Kiel, 1999. P. 45–52. (GEOMAR Report; 82).
 55. Blair N. The $\delta^{13}\text{C}$ of biogenic methane in marine sediments: the influence of C_{org} deposition rate // *Chemical Geology*. 1998. Vol. 152(1–2). P. 139–150. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(98\)00102-8](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(98)00102-8)
 56. Ryu B.-J., Collett T.S., Riedel M., Kim G.-Y., Chun J.-H., Bahk J.-J., Lee J.Y., Kim Ji-H., Yoo D.-G. Scientific results of the second gas hydrate drilling expedition in the Ulleung Basin (UBGH2) // *Marine and Petroleum Geology*. 2013. Vol. 47. P. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.07.007>
 57. Chi W.-Ch., Reed D.L., Tsai Ch.-Ch. Gas hydrate stability zone in offshore Southern Taiwan // *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 2006. Vol. 17(4). P. 829–843. [https://doi.org/10.3319/tao.2006.17.4.829\(gh\)](https://doi.org/10.3319/tao.2006.17.4.829(gh))
 58. Chuang P.C., Yang F.T., Lee H.F., Lan T.F., Hong W.L., Lin S., Sun C.H., Chen J.C., Wang Y., Chung S.H. Estimation of methane flux offshore SW Taiwan and the influence of tectonics on gashydrate accumulation // *Geofluids*. 2010. N 10. P. 497–510. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2010.00313.x>
 59. Chun J.-Hwa, Ryu B.-J., Lee S.-R. Korea gas hydrate R&D Program // *Report PETRAD-CCOP-PETROVIETNAM-VASI Workshop on Gashydrates, 1–3 March 2011: Abstracts*. Halong, Vietnam, 2011. P. 21.
 60. Collett T.S. Natural gas hydrates of the Prudhoe Bay and Kuparuk River Area, North Slope, Alaska // *AAPG Bulletin*. 1993. Vol. 77 (5). P. 793–812. doi:10.1306/BDF8D62-1718-11D7-8645000102C1865D
 61. *Cruise Reports I & II: INESSA – Investigation of Eastern Sakhalin Seepage Areas*. RV Professor Gagarinsky Cruise 22, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 28 / Eds N. Biebow, E. Huetten. Kiel, 1999. 188 p. (GEOMAR Report; 82).
 62. *Cruise Reports 88: KOMEX V & VI*. RV Professor Gagarinsky Cruise 26 and M/V Marshal Gelovany Cruise 1 / Eds N. Biebow, T. Ludmann, B. Karp, R. Kulinich. Kiel, 2000. 296 p.
 63. *Cruise Reports: CHAOS Project. RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 31 and 32*. VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, 2005. 164 p.
 64. *Cruise Reports: CHAOS Project. RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 36*. Vladivostok; St. Petersburg, 2006. 127 p.
 65. Dai J., Zou C., Li J., Ni Yu., Hu G., Zhang X., Liu Q., Yang C., Hu A. Carbon isotopes of Middle–Lower Jurassic coal-derived alkane gases from the major basins of northwestern China // *Intern. J. of Coal Geology*. 2009. Vol. 80. P. 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.08.007>
 66. Dai J., Gong D., Ni Yu., Huang Sh., Wu W. Stable carbon isotopes of coal-derived gases sourced from the Mesozoic coal measures in China // *Organic Geochemistry*. 2014. Vol. 74. P. 123–142. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2014.04.002>
 67. Freire F., Matsumoto R., Santos A.L. Structural-stratigraphic control on the Umitaka Spur gas hydrates of Joetsu Basin in the eastern margin of Japan Sea // *Marine and Petroleum Geology*. 2011. Vol. 28. P. 1967–1978. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.10.004>
 68. Fu X., Wang J., Tan F., Feng X., Wang D., He J. Gas hydrate formation and accumulation potential in the Qiangtang basin, northern Tibet, China // *Energy Conversion and Management*. 2013. Vol. 73. P. 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.020>
 69. *Gas hydrate system of the Eastern Sakhalin slope: Geophys. Approach: Scientific report of the Sakhalin slope gas hydrate project 2007* / Eds. B.V. Baranov, Y.K. Jin, H. Shoji, A. Obzhirov, K.A. Dozorova, A. Salomatin, V. Gladyshev. Korea Polar Res. Inst. (KOPRI), Incheon, 2008. 116 p.
 70. *Geology of the China Seas* / P. Wang, Q. Li, C.-F. Li. Amsterdam: Elsevier, 2014. 702 p. (Developments in Marine Geology; vol. 6).
 71. Ginsburg G.D., Milkov A.V., Soloviev V.A. et al. Gas hydrate accumulation at the Haakon Mosby Mud Volcano // *Geo-Marine Letters*. 1999. Vol. 19(1–2). P. 57–67. <https://doi.org/10.1007/s003670050093>
 72. Hachikubo A., Krylov A., Sakagami H., Minami H., Nunokawa Y., Shoji H., Matveeva T., Jin Y.K., Obzhirov A. Isotopic composition of gas hydrates in subsurface sediments from offshore Sakhalin Island, Sea of Okhotsk // *Geo-Marine Letters*. 2010. Vol. 30(3-4). P. 313–319. <https://doi.org/10.1007/s00367-009-0178-y>
 73. Hachikubo A., Tatsumi K., Sakagami H., Minami H., Yamashita S., Takahashi N., Shoji H. Molecular and isotopic compositions of hydrate-bound hydrocarbons in subsurface sediments from offshore Sakhalin Island, Sea of Okhotsk // *Proceedings of the 7th Intern. Conf. on Gas Hydrates (ICGH 2011)*, Edinburgh,

Scotland, United Kingdom, July 17–21, 2011. Edinburgh, 2011.

<http://www.researchgate.net/publication/259493672>

74. Hachikubo A., Yanagawa K., Tomaru H., Lu H., Matsumoto R. Molecular and isotopic composition of volatiles in gas hydrates and in sediment from the Joetsu Basin, eastern margin of the Japan Sea // *Energies*. 2015. Vol. 8, N 6. P. 4647–4666. <https://doi.org/10.3390/en8064647>
75. *International Energy Outlook, 2010*: Reference case. U.S. Dep. of Energy Wash., 2010. URL: www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html
76. Jeong I.S., Cho J.-Ch., Bahk J.-J., Hyun S.M., Kwon K.K., Lee J.H. et al. Vertical profile of bacterial community in the sediment of Ulleung Basin: implication of the presence of methane-driven community: Conf. paper // *Microorganisms in Industry and Environment*. 2010. P. 219–226. https://doi.org/10.1142/9789814322119_0049
77. Jianming G., Jianwen Ch., Gang L., Xunhua Zh., Jipeng Li, Fulin H. Hydrocarbon test in lower-layer atmosphere to predict deep-sea petroleum or hydrate in the Okinawa Trough: an example // *Acta Oceanol. Sinica*. 2003. Vol. 22(4). P. 569–576.
78. Kang D-H, Yoo D.G., Bahk J.J., Ryu B.J., Koo N.H., Kim W.S., Park K.S., Park K.P., Kim J.S. The occurrence patterns of gas hydrate in the Ulleung Basin, East Sea // *J. Geol. Soc. Korea*. 2009. Vol. 45(2). P. 143–155. (In Korean with Engl. abstr.).
79. Klauda J.B., Sandler S.I. Global distribution of methane hydrate in ocean sediment // *Energy Fuels*. 2005. Vol. 19. P. 459–470.
80. Kvenvolden K.A., Kastner M. Gas hydrates of the Peruvian outer continental margin // *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific results. Sites 679–688. Peru Continental Margin* / Eds. W.E. Dean et al. 1986. Vol. 112. P. 517–526.
81. Kvenvolden K.A. A primer on the geological occurrence of gas hydrate // *Geological Society Special Publication*. 1998. Vol. 137. P. 9–30.
82. Lee S.H., Chough S.K. Distribution and origin of shallow gas in deep-sea sediments of the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan) // *Geo-Marine Letters*. 2003. Vol. 22(4). P. 204–209. <https://doi.org/10.1007/s00367-002-0114-x>
83. Long D., Lovell M.A., Rees J.G., Rochelle C.A. Sediment-hosted gas hydrates: new insights on natural and synthetic systems // *Geological Society Special Publications*. 2009. Vol. 319. P. 1–9. <https://doi.org/10.1144/SP319.1>
84. Luedmann T., Wong H.K. Characteristics of gas hydrate occurrences associated with mud diapirism and gas escape structures in the northwestern Sea of Okhotsk // *Marine Geology*. 2003. Vol. 201(4). P. 269–286. [https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(03\)00224-x](https://doi.org/10.1016/s0025-3227(03)00224-x)
85. Luedmann Th., Baranov B., Karp B. (Eds) *KOMEX, Kurile Okhotsk Sea Marine Experiment: Cruise report RV Professor Gagarinsky Cruise 32 SERENADE; Seismo-Stratigraphic Research off Northern Sakhalin and in the Derugin Basin, August 31 – September 29, 2001*. Kiel, 2002. 52 p. (GEOMAR Report; 105). doi:[10.3289/GEOMAR_REP_105_2002](https://doi.org/10.3289/GEOMAR_REP_105_2002)
86. Matsumoto R., Hiromatsu M. Fluid flow and evolution of gas hydrate mounds of Joetsu basin, eastern margin of Japan Sea: constraints from high-resolution geophysical survey by AUV // *Proceedings of the 7th Intern. Conf. on Gas Hydrates (ICGH 2011)*, Edinburgh, Scotland, UK, July 17–21, 2011. <http://www.pet.hw.ac.uk/icgh7/papers/icgh2011Final00468.pdf> (дата обращения 18.12.2018).
87. Matsumoto R. et al. Formation and collapse of gas hydrates deposits in high methane flux area of the Joetsu basin, eastern margin of Japan Sea // *J. of Geography*. 2009. Vol. 118. P. 43–71. [10.5026/jgeography.118.43](https://doi.org/10.5026/jgeography.118.43)
88. Matsumoto R., Tanahashi M., Kakuwa Y., Snyder G., Ohkawa S., Tomaru H., Morita S. Recovery of thick deposits of massive gas hydrates from gas chimney structures, eastern margin of Japan Sea: Japan Sea shallow gas hydrate Project // *Fire in the Ice (US DOE–NETL newsletter)*. 2017. Vol. 17, N 1. P. 1–6. URL: <http://www.netl.doe.gov/research/oil-and-gas/methane-hydrates> (дата обращения: 13.03.2019).
89. Max M.D. (Ed.) *Natural gas hydrate*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publ., 2000. 410 p. (Oceanic and Permafrost Environments; vol. 5). <https://doi.org/10.1007/978-94-011-4387-5>
90. Mazurenko L., Kaulio V., Grineva V., Sigacheva A. Gas hydrates: 6.1. Results obtained during Leg 1 // *Hydro-carbon hydrate accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS Project Leg 1 and Leg 2): Report of RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 31 and 32* / T. Matveeva, V. Soloviev, H. Shoji, A. Obzhirov (Eds). St.-Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 2005. P. 47–60.
91. Mienert J., Posewang J. Evidence of shallow- and deep-water gas hydrate destabilizations in North Atlantic polar continental margin sediments // *Geo-Marine Letters*. 1999. Vol. 19. P. 143–149. <https://doi.org/10.1007/s003670050101>
92. Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates // *Marine Geology*. 2000. Vol. 167(1–2). P. 29–42. [https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(00\)00022-0](https://doi.org/10.1016/s0025-3227(00)00022-0)
93. Obzhirov A.I. Gasgeochemical manifestation of gas hydrates in the Sea of Okhotsk // *Alaska Geology*. 1992. Vol. 21. P. 1–7.

94. Okui A., Kaneko M., Nakanishi S., Monzawa N., Yamamoto H. An integrated approach to understanding the petroleum system of a Frontier deep-water area, offshore Japan // *Petroleum Geosciences*. 2008. Vol. 14(3): 223–233. <https://doi.org/10.1144/1354-079308-765>
95. *Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project 2011, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 56* / H. Shoji, Y.K. Jin, A. Obzhirov, B. Baranov (Eds). New Energy Resources Res. Center, Kitami Inst. of Technology, 2012. 140 p.
96. *Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project 2012, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 59* / Y.K. Jin et al. (Eds) Korea Polar Res. Inst., Incheon, 2013. 163 p.
97. *Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II, 2013, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 62* / H. Shoji et al. (Eds) New Energy Resources Res. Center, Kitami Inst. of Technology, 2014. 111 p.
98. *Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II, 2014, RV Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 67* / Y.K. Jin et al. (Eds) Korea Polar Res. Inst., Incheon, 2015. 121 p.
99. *Overview: What are gas hydrates?* / Meiji University, Gas hydrate research laboratory, 2009. URL: <http://www.kisc.meiji.ac.jp/~hydrate/english/about/index.html>
100. Pecher I.A., Fohrmann M. Natural gas hydrates as an energy resource and new developments in gas hydrate exploration // *Report PETRAD-CCOP-PETROVIETNAM-VASI Workshop on Gashydrates, 1–3 March 2011*: Abstracts. Halong, Vietnam, 2011. P. 26.
101. *Proceedings of the Ocean Drilling Program*. Vol. 190. *Initial reports deformation and fluid flow processes in the Nankai Trough Accretionary Prism*. Covering Leg 190 of the cruises of the Drilling Vessel JOIDES Resolution. Sites 1173–1178. College Station TX. 2000. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.ir.190.2001>
102. Sakai H., Gamo T., Kim E.-S., Tsutsumi M., Tanaka T., Ishibashi J., Wakita H., Yamano M., Oomori T. Venting of carbon dioxide-rich fluid and hydrate formation in Mid-Okinawa Trough Backarc Basin // *Science*. 1990. Vol. 248(4959). P. 1093–1096. <https://doi.org/10.1126/science.248.4959.1093>
103. Sasaki M., Endo N., Ohashi N., Tsukahara E. Dissociation of methane hydrate in the Sea of Okhotsk – Survey of dissolved methane concentration in sea water and sea ice // *Proceedings of the Fourth Intern. Conf. on gas hydrates*. Yokohama, Japan, 2002. P. 170–184. See also: <https://doi.org/10.1299/jsmehokkaido.2001.41.198> ; <https://doi.org/10.1299/jsmehokkaido.2002.42.96>
104. Savvichev A., Rusanov I., Crane K. *Distribution of methane in the water column and bottom sediments of the Bering Strait and Chukchi Sea*. 2004. URL: [https://www.pmel.noaa.gov/rusalca/sites/default/files/atoms/files/Methane in the Bering Strait and Chukchi Sea.pdf](https://www.pmel.noaa.gov/rusalca/sites/default/files/atoms/files/Methane%20in%20the%20Bering%20Strait%20and%20Chukchi%20Sea.pdf) (дата обращения: 25.03.2019).
105. Scholl D., Barth G., Childs J., Gibbons H. *Sub-sea floor methane in Bering Sea – USGS Emeritus describes possible gas-hydrate accumulations to the Geophysical Society of Alaska*. 2007. URL: <https://soundwaves.usgs.gov/2007/04/research3.html> (дата обращения: 12.03.2019).
106. Shakirov R.B., Obzhirov A.I., Biebow N., Salyuk A.N., Tsunogai U., Terekhova V.E., Shoji H. Classification of anomalous methane fields in the Okhotsk Sea // *J. of Polar Meteorology and Glaciology*. Tokyo, Nat. Inst. of Polar Res., 2005. Vol. 19. P. 50–66.
107. Shakirov R., Obzhirov A., Shoji H., Jin Y.K., Syrbu N., Trung N.N. New gas hydrates in the Okhotsk and Japan seas: manifestations of Pacific Gashydrate Belt // *8-th Intern. Conf. on Gas Hydrates (ICGH8)*: Abstracts. China Nat. Convention Center, Beijing, China, 28 July – 1 August, 2014. P. 92–93. <https://doi.org/10.13140/2.1.5013.4725>
108. Sloan E.D., Dendy J.E., Koh C. *Clathrate hydrates of natural gases*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 752 p. <https://doi.org/10.1201/9781420008494>
109. Suess E. Marine cold seeps and their manifestations: geological control, biogeochemical criteria and environmental conditions // *Intern. J. of Earth Sciences. GR Geologische Rundschau*. 2014. Vol. 103(7). P. 1889–1916.
110. Suess E., Torres M.E., Bohrmann G., Collier R.W., Greinert J., Linke P., Rehder G., Trehu A., Wallmann K., Winckler G., Zuleger E. Gas hydrate destabilization: enhanced dewatering, benthic material turnover and large methane plumes at the Cascadia convergent margin // *Earth and Planetary Science Letters*. 1999. Vol. 170(1–2). P. 1–15. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(99\)00092-8](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(99)00092-8)
111. Sun Zh., Wei H., Zhang X., Shang L., Yin X., Sun Yu., Xu L., Huang W., Zhang X. A unique Fe-rich carbonate chimney associated with cold seeps in the northern Okinawa Trough, East China Sea // *Deep Sea Research. Pt I: Oceanographic Research Papers*. 2015. Vol. 95. P. 37–53. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.10.005>
112. Tanahashi M. Present status of Japanese methane gas hydrate research and development program // *Report PETRAD-CCOP-PETROVIETNAM-VASI Workshop on Gashydrates, 1–3 March 2011*: Abstracts. Halong, Vietnam, 2011. P. 19–20.
113. Trung N.N. The gas hydrate potential in the South China Sea // *J. of Petroleum Science and Engineering*. 2012. Vol. 88–89. P. 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.01.007>

114. Wang Y., Feng J.-C., Li X.-S., Zhang Y., Li G. Evaluation of gas production from marine hydrate deposits at the GMGS2-Site 8, Pearl River Mouth Basin, South China Sea // *Energies*. 2016. Vol. 9. P. 222.
115. Wakita H., Sano Y., Urabe A., Nakamura Y. Origin of methane-rich natural gas in Japan: formation of gas fields due to large scale submarine volcanism // *Applied Geochemistry*. 1990. Vol. 5(3). P. 263–278. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(90\)90002-m](https://doi.org/10.1016/0883-2927(90)90002-m)
116. Wilde P., Quinby-Hunt M.S. Methane clathrate outgassing and anoxic expansion in South-East Asian deeps due to global warming // *Environmental Monitoring and Assessment*. 1997. Vol. 44(1/3). P. 149–153. <https://doi.org/10.1023/a:1005772120776>
117. Wu N., Yang Sh., Zhang H., Su Zh., Zhang K., Mordis G.J. Gas hydrate system in Northern South China Sea and numerical investigation of gas production strategy in Shenhu Area // *Report PETRAD-CCOP-PETROVIETNAM-VASI Workshop on Gashydrates, 1–3 March 2011*: Abstracts. Halong, Vietnam, 2011a. P. 17–18.
118. Wu N., Zhang H., Yang Sh., Zhang G., Liang J., Lu J., Su X., Schultheiss P., Holland M., Zhu Y. Gas hydrate system of Shenhu Area, Northern South China Sea: Geochemical results // *J. of Geological Research*. Vol. 2011b. Article ID 370298. 10 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2011/370298>
119. Xiang J. (Ed.) *Marine Science and Technology in China: A Roadmap to 2050*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 182 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05346-7>
120. Yan Pin, Deng Hui, Hailing Liu. The geological structure and prospect of gas hydrate over the Dongsha Slope, South China Sea // *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 2006. Vol. 17(4). P. 645–658 [https://doi.org/10.3319/tao.2006.17.4.645\(gh\)](https://doi.org/10.3319/tao.2006.17.4.645(gh))
121. Zeebe R.E., Wolf-Gladrow D., Eds. CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes. Chapter 3. Stable isotope fractionation // *Elsevier Oceanography Series*. Amsterdam, 2001. Vol. 65. P. 141–250. [https://doi.org/10.1016/s0422-9894\(01\)80004-0](https://doi.org/10.1016/s0422-9894(01)80004-0)
122. Zhu Y., Zhang Y., Sun Zh. Overview on permafrost gas hydrate exploration in China // *8-th Intern. Conf. on Gas Hydrates (ICGH8)*: Abstracts. China National Convention Center, Beijing, China, 28 July–1 August, 2014. P. 87. See also: Zhu Y., Zhang Y., Wen H. et al. Gas hydrate in the Qilian Mountain permafrost and their basic characteristics // *Acta Geoscientica Sinica*. 2010. Vol. 31. P. 7–16; Zhu Y., Lu Z., Xie X. Potential distribution of gas hydrate in the Qinghai-Tibetan Plateau // *Geo Bull. China*. 2011. Vol. 30. P. 1918–1926.