

А.А. ЛЕГКОДИМОВ, О.В. МИШУКОВА, Д.А. ШВАЛОВ,
Д.С. МАКСЕЕВ, М.В. ШАКИРОВА, М.С. БАКУНИНА,
А.И. ЕСКОВА

К дискуссии об эмиссии метана с акватории Татарского пролива, Японское море (по результатам 55-го рейса НИС «Академик Опарин»)

Рассчитаны потоки метана с акватории Татарского пролива Японского моря, рассмотрена пространственная изменчивость его эмиссии в атмосферу по результатам 55-го рейса НИС «Академик Опарин». Выявленная изменчивость потоков метана согласуется с результатами предыдущих экспедиций, что позволяет уверенно проводить корреляцию газогеохимических данных с геологическим строением района Татарского пролива и соседних акваторий. Впервые предложено ранжирование направления и интенсивности значений потоков метана для интерпретации их распределения и происхождения.

Ключевые слова: распределение метана, потоки метана, Татарский пролив, Японское море.

Discussion on methane emission from the water area of the Tatar Strait, the Sea of Japan (basing on the 55-th cruise of RV “Akademik Oparin”). A.A. LEGKODIMOV¹, O.V. MISHUKOVA¹, D.A. SHVALOV¹, D.S. MAKSEEV^{1,3}, M.V. SHAKIROVA², M.S. BAKUNINA^{1,3}, E.I. ESKOVA¹ (¹V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, ²Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok, ³Far East Federal University, Vladivostok).

According to the results of the 55-th cruise of R/V “Akademik Oparin”, methane fluxes from the Tatar Strait water area of the Sea of Japan were calculated and spatial variability of its emission into air was explored. The revealed variability of methane fluxes is consistent with the results of previous expeditions that confidently allow identifying the correlation of gas geochemical data with the geological structure of the Tatar Strait and the adjacent water areas. For the first time the ranking of directions and intensity of the values of methane fluxes for interpretation of their distribution and origin was proposed.

Key words: methane distribution, methane fluxes, the Tatar Strait, the Sea of Japan.

Введение

На изменение климата Земли оказывают влияние процессы массообмена в системе литосфера–гидросфера–атмосфера. Одним из очень актуальных, но недостаточно

*ЛЕГКОДИМОВ Алексей Александрович – аспирант, инженер, МИШУКОВА Ольга Васильевна – инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), ШВАЛОВ Дмитрий Александрович – инженер, магистрант, МАКСЕЕВ Даниил Сергеевич – инженер, магистрант (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ШАКИРОВА Мария Витальевна – соискатель (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН), БАКУНИНА Мария Сергеевна – инженер, магистрант (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ЕСКОВА Алёна Игоревна – аспирант (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: alexey.legkodimov@gmail.com

изученных остается вопрос оценки масштабов потоков метана из окраинных морей в атмосферу [8]. Ранее установлено, что поток метана на границе вода–атмосфера на акватории Дальневосточных морей имеет сильную как пространственную, так и временную изменчивость [8–11].

Проблема содержания метана в водной среде и его потоков в атмосферу напрямую связана с эмиссией газов из литосферных источников и условиями формирования скопленных углеводородов. Особенно актуальными являются газогеохимические исследования на границах взаимодействия литосферы, гидросферы и атмосферы окраинных морей. Фоновые и аномальные поля концентраций растворенного метана используют для поисков месторождений углеводородов, экологической оценки состояния окружающей среды [5, 15]. Совмещенные в пространстве аномалии метана, водорода, гелия могут указывать на наличие восходящего глубинного флюида, поэтому они используются и в качестве индикаторов зон разломов, и для прогноза сейсмических активизаций. Эти газы также являются важными газогеохимическими индикаторами альтернативных видов углеводородных ископаемых, таких как газогидраты [15].

Татарский пролив по геологическим, геохимическим, структурным и другим исследованиям [1, 5, 6] относится к перспективным для разведки залежей углеводородов, в том числе газогидратов. Изученность бассейна на нефть и газ неравномерна и недостаточна. Поисково-разведочное бурение было проведено в основном на девяти морских структурах: Александровской, Гавриловской, Изьльметьевской, Надеждинской, Красногорской, Ильинской, Старомаячинской, Кузнецовской и Виндиской. В 1987 г. под руководством А.И. Обжирова проводились газогеохимические исследования придонной воды в двух районах западного присахалинского шельфа. В северной части Татарского пролива был изучен район Александровской структуры, в средней части – территории Гавриловской, Изьльметьевской и Надеждинской площадей. По результатам исследований был сделан вывод, что более перспективными для поиска нефти и газа являются юго-восточный склон Надеждинской площади и восточная часть Изьльметьевской структуры. На примере Гавриловской структуры показано, что аномалии метана и углеводородных газов могут указывать на миграционный поток, который связан с эрозионной деятельностью в связи с раскрытием зон разлома. Газогеохимическая аномалия может являться индикатором коммерческой залежи, а комплекс геолого-структурных, геофизических и газогеохимических исследований позволит более надежно прогнозировать наличие залежи нефти и газа [3, 4].

Цель настоящей работы – рассмотреть потоки метана на границе вода–атмосфера, рассчитанные по результатам прямых измерений, выполненных в Татарском проливе.

Объекты и методы исследования

Расчет потоков метана для каждой станции отбора проб морской воды проводили по экспериментальным данным экспедиции НИС «Академик Опарин», рейс 55 (3–18.10.2018).

Пробы морской воды отбирали из носового кингстона на ходу судна в 4-метровом поверхностном слое морской воды. Вода из системы поступала в термосолинограф SBE 45 для непрерывного определения температуры и солёности при параллельном отборе воды в емкости для проведения газохроматографического анализа. Концентрацию метана определяли с временной дискретностью 1–2 ч. Одновременно проводили контрольные измерения концентрации метана в атмосфере и гидрометеорологических данных для оценки потоков метана на границе вода–атмосфера. Метеорологические измерения осуществлялись на судовой метеостанции.

В центральной части Татарского пролива выполнено 87 измерений концентрации метана с определением температуры и солёности в поверхностном водном слое, каждые 8 часов отбирали атмосферный воздух. Пробы воды отбирали в стерильные склянки объемом

65 мл и закрывали резиновой пробкой, проколотой двумя иглами для удаления воздуха и избытка воды. Для создания свободной фазы применяли газоплотный пакет Tedlar Bag Dual Valves (США) с двумя клапанами, наполненный гелием при атмосферном давлении. С помощью пустого шприца, подсоединяемого ко второй игле, отбирали 12 мл морской воды. На место отобранной воды поступал газ из пакета. Иглы удаляли, а склянки в течение 2 ч термостатировали при комнатной температуре (20–23 °С) при периодическом встряхивании с помощью перемешивающего устройства LS-110, в результате чего в емкости устанавливалось равновесие между жидкой и газовой фазами. По истечении указанного времени газовую фазу отбирали шприцем для последующего анализа. Для выражения концентрации метана в морской воде используется объемная доля (нМ/л).

Определение газовых компонентов в пробе осуществлялось на газовом хроматографе «КристалЛюкс 4000М» методом газовой адсорбции на борту судна. Анализ газа: детектор – пламенно-ионизационный (ПИД). Условия газохроматографического анализа: ПИД – колонка $l = 3,6$ м, $d = 2$ мм, заполненная Chromosorb102 (80/100); температура колонок в изотермическом режиме – 50 °С; с программированием температуры – 50–180 °С, 10 град./мин; температура детекторов – 190 °С, газ-носитель – гелий. Расчет концентраций метана, растворенного в морской воде, производили по методике S. Yamamoto et al. [18] в модификации D. Wiesenburg and N. Guinasso [17] с использованием констант растворимости метана. Расчет потоков метана проводили по методологии, описанной в работах [2, 16].

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены результаты расчета потоков метана с поверхности моря, а также распределение концентраций метана в поверхностном слое морской воды на акватории Татарского пролива.

Концентрации метана изменялись от 2,3 до 71,0 нмоль/л, среднее значение 6,7 нмоль/л. Равновесная с атмосферой концентрация метана при измеренных солености и температуре воды составляла от 2,4 до 3,1 нмоль/л, среднее значение 2,6 нмоль/л. На большей части акватории концентрации метана в поверхностном слое превышали равновесные с атмосферой значения в 2 раза. Почти для всей изучаемой акватории поверхностный слой воды пересыщен метаном относительно его содержания в атмосфере, и только на двух станциях в северной части полигона наблюдалось недосыщение и, как следствие, поглощение метана из атмосферы. Показатель насыщения составил 88–2766 %.

Анализ пространственного распределения потоков метана на границе вода–атмосфера на акватории Татарского пролива показал значительную изменчивость – от поглощения 1,6% до эмиссии 134,9 моль/(км²·сут). Максимальные потоки

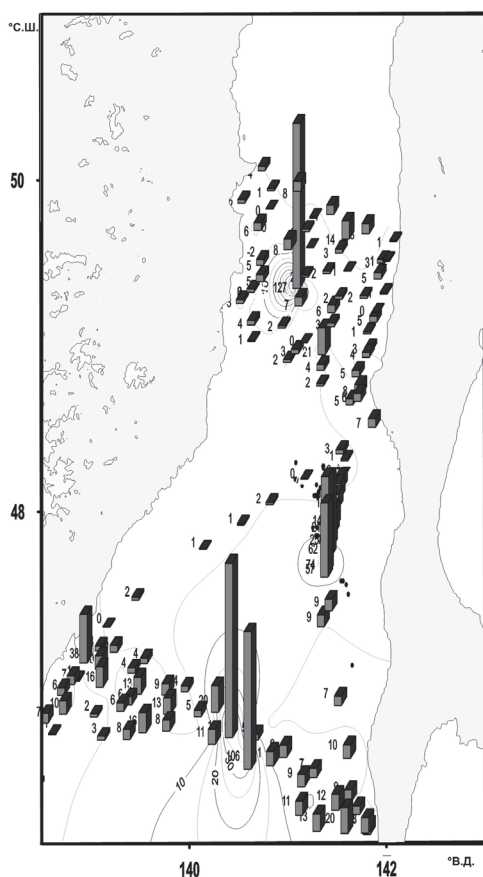


Рис. 1. Распределение потоков метана («столбики», моль/(км²·сут)) и концентраций метана (изолинии, нМоль/л) в поверхностном 4-метровом слое морской воды на акватории Татарского пролива

метана наблюдались в центральной части полигона – 127 моль/(км²·сут), в западной части пролива – 74 моль/(км²·сут) и на акватории в направлении на юго-запад от о-ва Сахалин с максимумами 135 моль/(км²·сут) и 106 моль/(км²·сут). Отчетливо выделяются 3 зоны с высокими концентрациями метана: в центральной, северной и южной частях Татарского пролива. В северной части акватории выделяется зона с локальными повышенными значениями концентраций и потоков метана – до 71 нмоль/л и 127 моль/(км²·сут) соответственно, в южной части максимальные концентрации и потоки метана – 46 нмоль/л и 135 моль/(км²·сут) соответственно.

Для ранжирования значений потоков метана и обсуждения результатов авторы предлагают использовать 10 градаций:

1. Сильный сток метана: от –4 до –1 моль/(км²·сут).
2. Слабый сток метана: от –1 до –0,01 моль/(км²·сут).
3. Равновесие: от –0,01 до 0,01 моль/(км²·сут).
4. Эмиссия: слабой интенсивности: 0,01–1 моль/(км²·сут).
5. Эмиссия умеренной интенсивности: 1–4 моль/(км²·сут).
6. Эмиссия средней интенсивности: 4–10 моль/(км²·сут).
7. Эмиссия высокой интенсивности: 10–20 моль/(км²·сут).
8. Эмиссия аномальной интенсивности: 20–50 моль/(км²·сут).
9. Эмиссия сверханомальной интенсивности: 50–150 моль/(км²·сут).
10. Ураганные значения: 150–500 моль/(км²·сут).

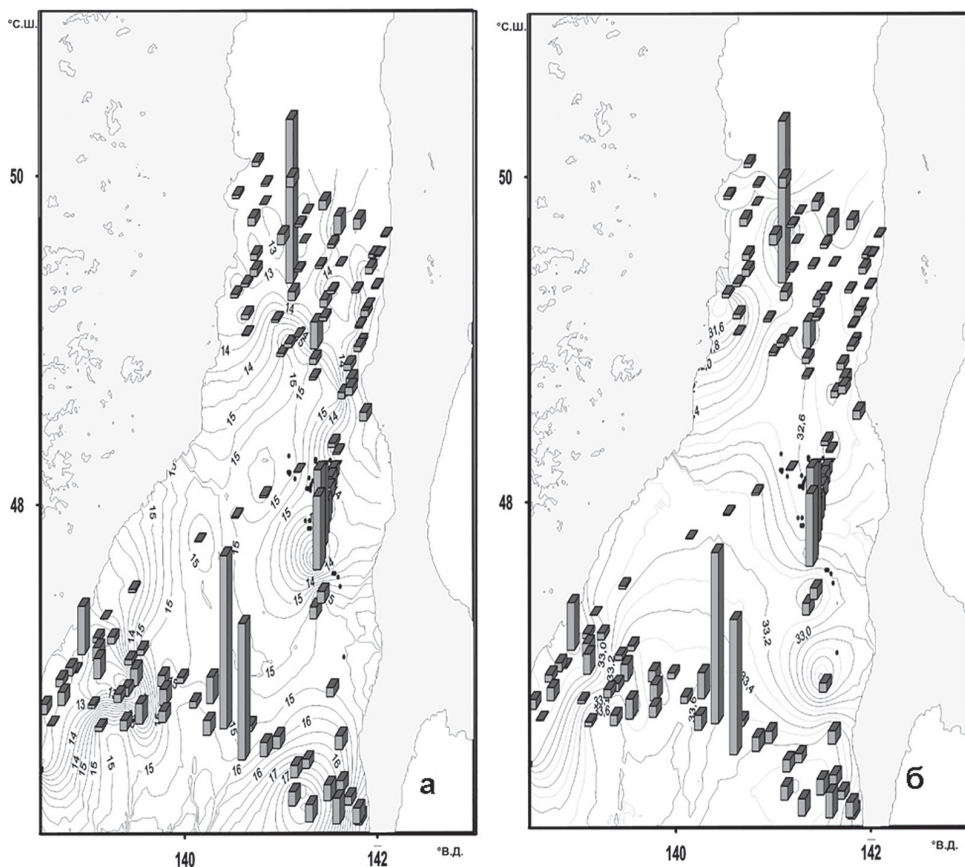


Рис. 2. Распределение потоков метана («столбики», моль/(км²·сут)) и характеристик воды в поверхностном 4-метровом слое морской воды: а – температуры (изолинии, °С); б – солёности (изолинии, ‰) на акватории Татарского пролива

На рис. 2 показано распределение потоков метана с поверхности моря, а также температуры воды и солёности в поверхностном слое морской воды на момент отбора проб на изучаемой акватории.

Если сравнить распределение потоков метана и распределение температуры и солёности в поверхностном слое воды, можно отметить, что прямого совпадения нет. Более солёная теплая вода находится в центральной и восточной акваториях южной части Татарского пролива, там же, где фиксируются значительные потоки метана, но напрямую с водной массой их связать нельзя, так как они имеют локальное местоположение. Потоки метана в центральной и северной частях пролива выделяются контрастностью своих значений – по-видимому, они обусловлены другими источниками метана, нежели принесенными из центральной и восточной частей Японского моря.

Ниже (рис. 3) показано изменение потоков метана в осадочных бассейнах Татарского пролива.

Самые высокие потоки проявились очень локально на западном борте Северо-Татарского осадочного бассейна, в северо-восточной части Южно-Татарского осадочного бассейна (район факелов и газогидратов) [7], на сочленении Южно-Татарского осадочного бассейна и Пионерского поднятия; одна точка – на Приморской моноклинали.

Локальные субвертикальные геологические тела, маркирующие флюидодинамические системы, не всегда сопоставляются с повышенными значениями потока метана. Можно выделить несколько районов совпадения повышенного потока с морской поверхности с зоной эмиссии флюида: участок в Северо-Татарском осадочном бассейне; зону *по восточному борту* Южно-Татарского осадочного бассейна, которая выделяется повышенными значениями теплового потока по данным работы [6]. На этой части акватории в предыдущие годы фиксировалась струйная разгрузка пузырей метана в виде многочисленных акустических аномалий типа факел. Для акватории с наибольшими значениями эмиссии метана в южной части Татарского пролива характерны также повышенные значения теплового потока [12–14].

Небольшой – от 3–8 моль/(км²·сут) – поток метана с морской поверхности фиксируется южнее Надеждинской структуры. Повышенная эмиссия метана – до 30 моль/(км²·сут) – фиксировалась около о-ва Моне-рон, для этой части небольшой, но устойчивый поток отмечается и по предыдущим исследованиям: НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс 52; НИС «Академик Опарин», рейс 54.

Выводы

Пополнена база данных о потоках метана для северной части Японского моря. Полученная информация о пространственной изменчивости концентраций метана в приповерхностном слое воды и изменениях

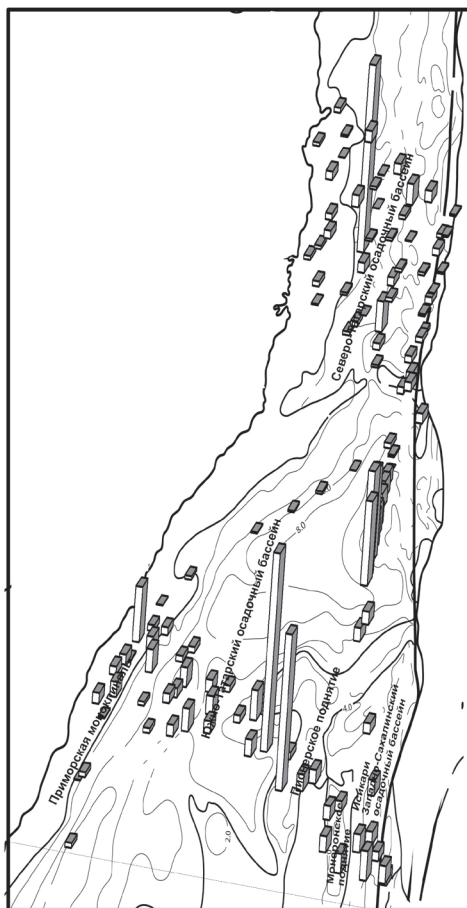


Рис. 3. Распределение потоков метана («столбики», моль/(км²·сут)), изопахиты (мощность осадочных отложений, км) на карте-схеме осадочных бассейнов Татарского пролива (на основе работ [1, 3])

потоков метана с поверхности моря согласуется с результатами предыдущих экспедиций. Выявлены 4 главные зоны с высокими потоками метана (от средней до ураганной интенсивности) и аномальными концентрациями метана в поверхностном слое.

Исследованиями подтвержден локальный характер газогеохимических аномалий, обусловленных известными ранее структурами проницаемости (разломами и структурами прорыва флюидов) литосферы Татарского пролива.

Латеральное распределение метана в поверхностном слое морской воды показывает крайне неравномерную его концентрацию на изучаемой акватории. Это обусловлено влиянием активных зон метановой дегазации морского дна.

В целом по полученным результатам можно выделить следующие особенности потоков метана в исследованной части Татарского пролива: 1) выявлены уровни потоков метана всех типов – от слабого стока до ураганных значений эмиссии. Ураганные, или сверханомальные значения маркируют зоны с газогидратами и газовыми факелами; 2) по контролю распределения потоков метана разных уровней интенсивностей гидрологические факторы имеют подчиненное по отношению к геологическим значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / А.Э. Жаров, Г.Л. Кириллова, Л.С. Маргулис, Л.С. Чуйко, В.В. Куделькин, В.Г. Варнавский, В.Н. Гагаев; отв. ред. Г.Л. Кириллова. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с. (Серия: Осадочные бассейны Востока России / гл. ред. чл.-кор. РАН А.И. Ханчук; т. 2).
2. Мишукова Г.И., Обжиров А.И., Мишуков В.Ф. Метан в пресных и морских водах и его потоки на границе вода–атмосфера в Дальневосточном регионе. Владивосток: Дальнаука, 2007. 159 с.
3. Нечаюк А.Е. Геологическое строение и динамика формирования осадочных бассейнов Татарского пролива и западного Сахалина: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Владивосток, 2017. 29 с.
4. Нечаюк А.Е., Обжиров А.И. Структуры и нефтегазоносность бассейнов Татарского пролива // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. Вып. 16, № 2. С. 27–34.
5. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
6. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона М.: Научный мир, 2010. 276 с.
7. Шакиров Р.Б. Газогеохимические поля окраинных морей Дальневосточного региона: распределение, генезис, связь с геологическими структурами, газогидратами и сейсмоструктурной: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. 49 с.
8. Climate Change 1994 / eds J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce et al. Published for the Intergovernmental panel on Climate change. Cambridge: University Press, 1996. 86 p.
9. Mishukova G.I., Shakirov R.B., Obzhiriv A.I. Methane fluxes on the water–atmosphere boundary in the Sea of Okhotsk // Doklady Earth Sciences. 2017. Vol. 475, pt 2. P. 963–967. DOI: 10.1134/S1028334X17080256.
10. Mishukova G.I., Shakirov R.B. Spatial variations of methane distribution in marine environment and its fluxes at the water–atmosphere interface in the western sea of Okhotsk // Water resources. 2017. Vol. 44, N 4. P. 662–672. DOI: 10.1134/S0097807817040133.
11. Obzhiriv A.I., Pestrikova N.L., Mishukova G.I., Mishukov V.F., Okulov A.K. Distribution of methane content and methane fluxes in the Sea of Japan, Sea of Okhotsk and Near-Kuril Pacific // Russian meteorology and hydrology. 2016. Vol. 41, N 3. P. 205–212. DOI: 10.3103/S1068373916030067.
12. Operation report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project 2012, R/V Akademik M.A. Lavrentyev cruise 59, Korea Polar research institute / eds Y.K. Jin, H. Shoji, A. Obzhiriv, B. Baranov. Incheon, 2013. 163 p.
13. Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2013, R/V Akademik M.A. Lavrentyev cruise 62, New energy resources research center, Kitami institute of technology / eds H. Shoji, Y.K. Jin, B. Baranov, N.A. Nikolaeva, A. Obzhiriv. Kitami, 2014. 111 p.
14. Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2014, R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 67, Korea polar research institute / eds Y.K. Jin, H. Minami, B. Baranov, A. Obzhiriv. Incheon, 2015. 121 p.
15. Shakirov R.B., Syrбу N.S., Obzhiriv A.I. Distribution of helium and hydrogen in sediments and water on the Sakhalin Slope // Lithology and mineral resources. 2016. Vol. 51, N 1. P. 61–73.
16. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan // Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography. 2013. Vol. 86/87. P. 25–33.
17. Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide and hydrogen in water and seawater // Journal of Chemical and Engineering Data. 1979. Vol. 24, N 4. P. 356–360.
18. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. Solubility of methane in distilled water and seawater // Journal of Chemical and Engineering Data. 1976. Vol. 21, N 1. P. 78–80.