

ПОТОКИ МЕТАНА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОДА-АТМОСФЕРА И РАЙОНИРОВАНИЕ АКВАТОРИИ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ В ЗИМНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Мишукова Г.И.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
gmishukova@poi.dvo.ru*

Представлены результаты исследований в Южно-Китайском море, выполненные в соответствии с научными темами Программы фундаментальных научных исследований РАН, Международными программами WESTPAC, GEOTRACERS, межправительственными мероприятиями по научно-техническому сотрудничеству РФ и СРВ по программе «Дорожной карты морских исследований» между ДВО РАН и ВАНТ и основными направлениями деятельности Российской-Вьетнамской лаборатории морских наук и технологий, в рамках Второй международной Индоокеанской экспедиции 2015–2020 гг. (Second International Indian Ocean Expedition, ПОЕ-2; направление 6: Уникальные геологические, физические, биогеохимические и экологические особенности Индийского океана).

Целью исследования было обобщение результатов изучения пространственного распределения потоков метана на границе вода-атмосфера и райони-

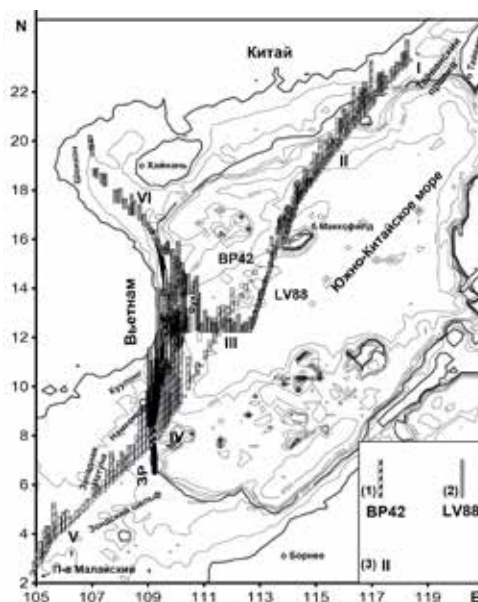


Рис. Распределение потоков метана, моль/(км²•сут) на границе раздела вода-атмосфера в Южно-Китайском море. а) (1) – НИС Академик Борис Петров, (2) – НИС Академик М.А. Лаврентьев, (3) – обозначения и порядок номеров зон эмиссии метана в атмосферу.

рование открытой части моря, континентального склона и шельфа Южно-Китайского моря по результатам двух рейсов.

Потоки были рассчитаны по данным 138 точек отбора проб воды НИС «Академик Борис Петров» ((BP42), январь 2017 г.) и 313 точек отбора проб воды НИС «Академик М.А. Лаврентьев», ((LV88), ноябрь 2019 г.) (рисунок 1). В связи с высокой изменчивостью предложено ранжирование направления и интенсивности значений потоков метана для интерпретации их распределения и происхождения [1].

На акватории Южно-Китайского моря преобладает умеренная эмиссия метана от 1–4 моль/(км²•сут), с локальными значениями эмиссии средней, высокой и очень высокой интенсивности. Можно выделить несколько зон эмиссии метана в атмосферу по газогеохимическому профилю от Тайваньского пролива до Малайского полуострова и на акватории кайнозойских осадочных бассейнов Намконсон, Фухань, Шонхон.

Первая зона расположена в шельфовой области северной части Южно-Китайского моря. После прохождения Тайваньского пролива потоки метана изменялись от 0,0 до 9,9 моль/(км²•сут). Единичные значения эмиссии максимальной интенсивности фиксируются над зоной разлома в верхней части континентального склона.

В северо-западной части Южно-Китайского моря в *шельфовой области* находится *шестая зона* Шонхон с потоком от 0,2 до 4,2; среднее значение 1,8±0,9 моль/(км²•сут).

По профилю от склона до центральной части глубоководной котловины проходит вторая зона. Интервал значений потоков в 2019 г. от 1,1 до 5,4 моль/(км²•сут) был меньше, чем от -1,5 до 6,7 в 2017 г. Полученные результаты согласуются с литературными данными [2, 3, 4]. Среднее значение 1,8±0,5 моль/(км²•сут) (выборка 53 из 58) Парные коэффициенты корреляции показывают, что значительное влияние на величину потока метана оказывают скорости ветра, концентрации растворенного метана в поверхностном водном слое, равновесные концентрации метана, процент пересыщения, разность между и равновесной концентрациями метана, температура. Для этой части профиля измерения в 2019 г. были выполнены в основном при слабых ветрах (2 ± 1 м/с) и небольших колебаниях равновесных концентраций метана, температуры, солености, что при высоком пересыщении обусловило сильную зависимость потока от скорости порывов ветра ($Q = 0,8$) [5]. Повышенные значения потоков могут быть обусловлены как антропогенными так и природными факторами. Тектоническое строение района характеризуется густой сетью разломов. Палеопроявления метана и газогидраты, обнаруженные в северной части моря свидетельствуют о нефтегазовом потенциале [6, 7]. Наличие проницаемых зон в углеводородно-газоносных толщах может быть причиной аномального поля и повышенной эмиссии метана.

На акватории осадочного бассейна Фухань расположена *третья* зона. Среднее значение $2,3 \pm 1,2$ моль/(км²•сут) (выборка 85 из 97). Максимальные значения 16 моль/(км²•сут) относятся к эмиссии метана высокой интенсивности. В пределах восточной границы осадочного бассейна Фухань проходила часть профиля, выполненного в 2017 г., со значениями от 1 до 7,5 моль/(км²•сут). Бассейн характеризуется большой мощностью осадочного чехла (до 11 км), наличием глубинных разломов, рифтогенных карбонатных резервуаров [8]. К востоку от бассейна земная кора трансформируется в океаническую [9]. Здесь, вероятно, образовались проницаемые каналы, по которым мигрируют глубинные газы.

Часть профиля, выполненного в 2017 г., на котором фиксируется очень интенсивный поток метана с максимальным значением 28 моль/(км²•сут), проходила по восточному борту бассейна Намконсон, отнесенного к четвертой зоне. На центральном участке после детальной съемки, выполненной в 2019 г. выявлены локальные области очень высокой интенсивности с максимальной эмиссией до 24 моль/(км²•сут). На южном полигоне парные коэффициенты корреляции показывают, что на величину потока в равной степени оказывают влияние, концентрации растворенного метана в поверхностном водном слое, равновесные концентрации метана, процент пересыщения, разность между измеренной и равновесной концентрациями метана, скорости ветра в отличие от глубоководной части. Значимый коэффициент корреляции между концентрациями метана в приводном слое атмосферы и равновесными концентрациями метана ($Q = 1,0$) указывает на быструю потерю метана в результате процесса диффузии, перемешивания и разбавления морской воды на континентальном шельфе и склоне. В непосредственной близости от бассейна Намконсон на шельфе Южно Китайского моря находится осадочный нефтегазоносный бассейн Куулонг с месторождениями Дракон, Белый Тигр и др. [10]. В этом же районе находятся один из крупнейших региональных разломов [11], контролирующим уступ материкового склона. Распределение концентраций метана в водной толще неравномерное. Повышенные концентрации метана на акватории полигонов Фухань и Намконсон наблюдаются на промежуточных глубинах, максимальные значения в придонном слое. При изучении вертикального распределения концентраций метана в ядрах донных отложений было выявлено, что максимальные концентрации метана приходятся на разные горизонты, но наблюдается тенденция к увеличению концентрации метана в верхней части. Поскольку максимальные значения концентраций метана в придонном слое коррелируют с аномалиями метана в ядрах донных отложений, существует вероятность того, что метан из донных осадков в шельфовой зоне поступает в воды придонного слоя, затем за счет турбулентного перемешивания, выносится в вышележащие водные

массы, что в некоторых случаях может приводить к образованию органических пленок на поверхности воды [12].

Пятая зона, длиной около 260 км выявлена на Зондском шельфе над районом Западно-Натунского и Малайского осадочных бассейнов, с потоком метана $5,1 \pm 3,4$ моль/(км²•сут), с максимальным значением 15,3 моль/(км²•сут).

Средние значения потоков метана по центральному глубоководному профилю и полигонах привьетнамского континентального склона и шельфа близки и относятся к эмиссии умеренной интенсивности, характерной для пелагических вод океана, но среднее значение немного ниже. Выделяется западный участок бассейна Фухань, центральный участок бассейна Намконсон, Зондский шельф. Самые низкие потоки были в северной части бассейна Шонхон.

Литература

1. Легкодимов А.А., Мишукова О.В., Швалов Д.А., Макеев Д.С., Шакирова М.В., Бакунина М.С., Еськова Е.И. К дискуссии об эмиссии метана с акватории Татарского пролива, Японское море (по результатам 55-го рейса НИС Академик Опарин) // Вестник ДВО РАН. 2019. № 2. С. 81–87. doi:10.25808/08697698.2019.204.2.009.
2. Tseng Hsiao-Chun, Chen Chen-Tung Arthur, Borges Alberto Vieira Delvalls Angel, Chang Yu-Chang. Methane in the South China Sea and the Western Philippine Sea // Continental Shelf Research. 2017. V. 135. P. 23-34. DOI:10.1016/j.csr.2017.01.005.
3. Ye Wang-Wang, Zhang Guiling, Zheng Wenjing, Wu Ying. Methane distributions and sea-to-air fluxes in the Pearl River Estuary and the northern South China Sea // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2019. V. 167. P. 34-45. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.06.016.
4. Zhou H., Yin X., Yang Q., Wang, H., Wu Z., Bao S. Distribution, source and flux of methane in the western Pearl River Estuary and northern South China Sea // Mar. Chem. 2009. 117. P. 21-31. DOI:10.1016/j.marchem.2009.07.011.
5. Мишуков В.Ф., Мишукова Г.И., Шакиров Р.Б. Сравнительный анализ процессов обмена метана на границе раздела вода-атмосфера на акватории окраинных морей // Вестник ДВО РАН. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 75–82. DOI: 10.37102/0869-7698_2021_221_01_07 ISSN: 0869-7698.
6. Han X.Q., Yang K.H., Huang Y.Y. Origin and nature of cold seep in northeastern Dongsha area, South China Sea: Evidence from chimney-like seep carbonates // Chin. Sci. Bull. 2013. Vol. 58. P. 3689-3697.
7. Wu N., Zhang H., Yang Sh., Zhang G. et al. Gas Hydrate System of Shenhu Area, Northern South China Sea // Geochemical Results. 2011. Art.ID 370298. http://dx.doi.org/10.1155/2011/370298
8. Лукин А.Е. Биогенно-карбонатные постройки на выступах разуплотненных кристаллических пород - перспективный тип комбинированных ловушек нефти и газа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. № 2. С. 1–21.
9. Кулинич Р. Г. Образование Южно-Китайского моря и кайнозойская эволюция земной коры Юго-Восточной Азии: диссертация доктора геолого-минералогических наук: 04.00.12. Владивосток. 1994. 308 с.
10. Tran TD, Bui CQ, Nguyen HPh Cenozoic basement structure in the South China Sea and adjacent areas by modeling and interpreting gravity data // Russ. J. Pac. Geol. 2013. 13(4). P. 227-236. https://doi.org/10.1134/S1819714013040088.
11. Аршев Е.Г. Нефтегазоносность окраинных морей Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии. М.: Аванти. 2003. 288 с.
12. Мишукова Г.И., Мишуков В.Ф., Обжиров А.И. Особенности проявления метана в природных водах на территории Приморского края России // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 43–49.