

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОТОКОВ ГАЗА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОДА-АТМОСФЕРА

**Мишукова Г.И.¹, Окулов Ал-й.К.¹, Мишуков В.Ф.¹,
Щербаков В.А.², Окулов Ал-р.К.¹**

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток

²Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И.С. Грамберга», г. Санкт-Петербург
gmishukova@poi.dvo.ru

В работе представлены результаты исследований, выполненных в соответствии с научными темами ТОИ ДВО РАН. Распределение метана и сравнение расчетов потока метана на границе вода-атмосфера было изучено на акватории вокруг о. Кунашир.

Известно, что шельфы и склоны доминируют при учете эмиссии метана с поверхности океана в атмосферу [1]. Но динамика скоростей газообмена этих областей подвержена чрезвычайно сильным колебаниям [2]. В первую очередь это связано с неопределенностью местоположения и выявления мощности отдельных источников метана, и большим диапазоном изменения скоростей ветра по сравнению с открытыми акваториями.

Цель исследования: выявить применимость методов измерений концентраций метана и коэффициентов обмена воздух-море для открытой части моря и тектонически активных районов шельфа и склона.

Потоки метана с поверхности моря были рассчитаны для каждой точки отбора проб по экспериментальным данным концентраций растворенного метана, температуры, солёности в поверхностном слое морской воды, содержания метана в приводном слое атмосферы и реальных скоростях ветра на момент отбора проб.

Для исключения ошибок определения скорости газообмена метана в быстро меняющихся прибрежных системах мы применяли метод частого площадного отбора проб; отбора проб разными способами; для анализа состава газовой фазы использовался хроматограф с высоким разрешением на борту судна. Одновременно

измерялись температура, соленость на проточном термосолинографе и метеопараметры (давление, температура воздуха, скорость и направление ветра). Концентрации газов в воде определялись методом равновесных концентраций [3]. На рисунке 1(а) приведена схема работ района исследований в ходе рейса НИС «Профессор Гагаринский».

Большая неопределенность связана и с параметризацией коэффициентов обмена воздух-море, которые были рассчитаны несколькими способами:

1) с учетом влияния на механизм газообмена свойств поверхностного микрослоя по разработанной авторами модели [4], и усовершенствованной методике для метана, в которой рассчитанные коэффициенты газообмена хорошо совпадают с экспериментальными данными по обмену C^{14} [5]:

$F = K\Delta C$, где $\Delta C = C - C^*$ – разность между концентрацией растворенного метана и равновесной концентраций относительно его содержания в атмосфере; K – суммарный коэффициент газообмена на границе вода-воздух; K_t – термический коэффициент газообмена; K_o – коэффициент газообмена для обрушений волн; K_p – коэффициент газообмена для схлопывания пузырьков,

2) по справочным данным вязкости воды и коэффициента диффузии метана при 20°C;

3) по обычно применяемому в литературе методу: $F_{w92} = 0,31 U^2 (Sc/660)^{-1/2} \cdot \Delta C$, опубликованном в работе [6], но более поздней редакции $F_{w14} = 0,251 U^2 (Sc/660)^{-1/2} \cdot \Delta C$ [7].

Коэффициенты газообмена рассчитывались также по справочным данным коэффициента диффузии метана при 20°C и вязкости воды, солености 33‰ для постоянной температуры 20°C и переменных скоростях ветра от 2 до 16 м/с (рис. 1б); а также для интервала температур от 0 до 30°C; солености 33‰ и постоянной скорости ветра 7 м/с (рис. 1в).

На акватории Курильской котловины Охотского моря концентрации растворенного метана в поверхностном водном слое в среднем превышали равновесные с атмосферой значения в 1,4 раза. При приближении к о. Кунашир и к северу от острова концентрации растворенного метана увеличились, при этом выделилась область с максимальными содержаниями метана в поверхностном и

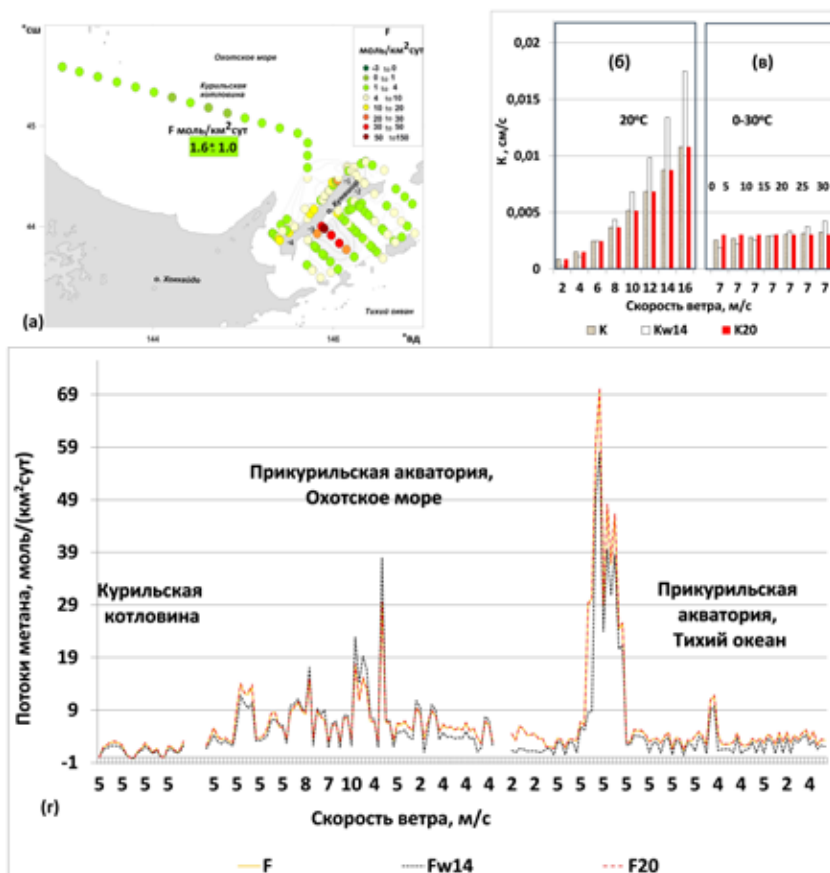


Рис. 1. (а) Схема района исследований. Распределение потоков метана на границе вода-атмосфера и разности между концентрацией растворенного метана и равновесной с атмосферой концентрацией метана (показано изолиниями); цифрами обозначены действующие вулканы о. Кунашир: 1-влк. Руруй, 2- влк. Тятя, 3-влк. Менделеева, 4-влк. Головнина. (б)-Зависимость коэффициентов газообмена, рассчитанных а) для температуры 20°C , солёности 33‰ и скоростей ветра от 2 до 16 м/с; (в)-для температур от 0 до 30°C ; солёности 33‰ и скоростей ветра 7 м/с. (г)-Сравнение скоростей газообмена, рассчитанных по формулам [5, 7] по реальным данным температуры, солёности, скоростей ветра и для коэффициента диффузии метана при 20°C .

придонном водном слое на траверзе влк. Менделеева. На акватории со стороны Тихого океана так же на траверзе влк. Менделеева выделилась область с еще большими концентрациями метана, как в поверхностном, так и придонном горизонте. Для остальной области среднее значение превышения реальных концентраций относительно равновесных составило 2,3 раза. Моделирование коэффициентов метанообмена с учетом существования поверхностного микрослоя, устойчивость которого обусловлена механизмами термической неустойчивости, обрушения волн и схлопывания газовых пузырьков с расчетами по [7] показало совпадение для скоростей ветра от 4 до 8 м/с; при солености 33‰ и интервале температур от 15 до 25 °С. При скоростях ветра более 8 м/с расчет по [7] дает повышенные коэффициенты газообмена (рис. 1б), и более сильное влияние температуры воды (рис. 1в).

Сравнение динамики скоростей газообмена, рассчитанных по данным, полученным в рейсе для пелагических вод, в летний сезон показывает, что наблюдается хорошая сходимость для приведенных способов расчета (рис. 1г). Потоки метана с акватории Курильской котловины при среднем пересыщении растворенного метана 40% и скорости ветра 5 м/с, составили $1,6 \pm 1$ моль/(км²·сут). Для сильно меняющихся скоростей ветра и большого диапазона значений пересыщения метаном поверхностного слоя воды, отмечающегося для шельфовых и склоновых областей в тектонически активных районах, скорость газообмена изменяется в больших пределах при расчете по [7].

Работа выполнена по Госбюджетным темам НИР ТОИ ДВО РАН: № 124022100076-3 и № 124022100077-0.

Литература

1. Bange H.W., Bartell U.H., Rapsomanikis S., & Andrae M.O. Methane in the Baltic and the North Seas and reassessment of marine emissions of methane // *Global Biogeochemical Cycles*. 1994. 8 (4), P. 465-480. <https://doi.org/10.1029/94gb02181>.
2. Мишукова Г.И., Яцук А.В., Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Валитов М.Г., Пономарева А.Л., Мишукова О.В. Потоки метана на границе вода-атмосфера и газогеохимические аномалии в донных отложениях северо-западной части Японского моря // *Геология и геофизика*. 2021. Т. 62. № 12. С. 1686-1704. DOI: 10.15372/GiG2021118.
3. Wiesenburg D.A., & Guinasso N.L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and seawater // *J. of Chemical & Engineering Data*. 1979. 24(4). P. 356-360. <https://doi.org/10.1021/jc60083a006>.

4. Michoukov V., & Mishukova G. 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. 1999. P. 517-520.
5. 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.
6. Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean // Journal of Geophysical Research: Oceans. 1992. V. 97. N. 5. P. 7373-7382. <https://doi.org/10.1029/92JC00188>.
7. Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited // Limnology and Oceanography: Methods. 2014. V. 12. N. 6. P. 351-362. <https://doi.org/10.4319/lom.2014.12.351>.