

УДК 551.465

## МЕЖСЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ И ПОТОКОВ МЕТАНА НА ГРАНИЦЕ ВОДА–АТМОСФЕРА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

© 2019 г. А. И. Обжиров\*, Г. И. Мишукова, Р. Б. Шакиров, В. Ф. Мишуков, Е. В. Мальцева, Н. Л. Соколова, А. К. Окулов, А. В. Яцук, Е. В. Лифанский

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия*  
*\*e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 29.11.2017 г.

После доработки 07.06.2019 г.

Принята к публикации 18.06.2019 г.

На акватории Охотского моря, восточнее о. Сахалин, впервые показана внутригодовая изменчивость потоков метана на границе вода–атмосфера. Изменчивость потоков метана определяется наличием и активностью подводных источников метана и связана с сезонными изменениями гидрологических и гидрохимических параметров морской воды и структуры течений в исследуемом регионе. Весной и осенью значения потоков больше, чем в летний период. При летней модификации воды и усилении стратификации поток метана с поверхности моря снижается. Осенью в результате сезонной конвекции вод и больших средних скоростей ветров метан, накопленный в промежуточных водах, выносится в атмосферу.

**Ключевые слова:** распределение метана, поток метана, Охотское море

DOI: 10.31857/S0030-1574596944-951

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия возрос интерес к изучению содержания метана в водной среде, обусловленный его ролью в цикле углерода, климатических изменениях, а также с использованием его как индикатора стратификации водной толщи. Но поступление метана в атмосферу с поверхности моря остается недостаточно изученным. Потоки метана с поверхности моря в атмосферу, рассчитанные по многолетним экспериментальным данным, полученным лабораторией газогеохимии ТОИ ДВО РАН в различных частях Японского и Охотского морей за период исследований в 1993–2017 гг., показывают значительную площадную и вертикальную изменчивость. Это может быть следствием многих причин, одной из которых является сезонная изменчивость.

Цель настоящей работы — расчет потоков метана на границе вода–атмосфера и анализ их изменчивости с учетом влияния комплексных факторов — геологических, метеорологических, газогеохимических и гидрологических.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение распределения потоков метана, рассчитанных по экспериментальным данным для каждой станции отбора проб морской воды, проводилось на акватории Охотского моря к востоку от о. Сахалин. Для расчетов и обсуждения использовались данные рейсов 2011 г.: НИС «Академик Лаврентьев»: № 54, май–июнь; № 56, август. Были использованы материалы и результаты других экспедиций: «Профессор Гагаринский», № 25, октябрь 1998 г.; НИС «Академик Лаврентьев» рейсы № 29, май–август 2002 г.; № 32, октябрь 2003 г.; № 36, май 2005 г.; НИС «Академик Опарин», № 54, 17–20 октября 2017 г.

Расчет потоков метана проводился по методологии, описанной в работах [3, 9]:

$$F = K^{\text{общ}} \Delta C, \quad (1)$$

где  $\Delta C$  — разность концентраций метана в морской воде, рассчитывается как разность между измеренной концентрацией метана и равновесной концентрацией, которую имел бы атмо-

сферный метан в морской воде при данной температуре, солености и атмосферном давлении;

$$K^{\text{общ}} = K_T + K_O + K_P, \quad (2)$$

где  $K^{\text{общ}}$  — 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.

Отбор проб морской воды на акваториях осуществлялся по ходу движения судна с помощью заборного устройства на глубине 4 м от поверхности моря. Часть пробы воды поступала в термосолинограф SBE 21 SEACAT (Вашингтон, США) для непрерывного определения температуры и солености, а другая часть параллельно отбиралась в емкости для проведения газохимического анализа. На станциях пробы воды отбирались батометрами Нискина системы Rozzet с различных горизонтов водной толщи. Система комбинирована с многопараметрическим STD-зондом.

Концентрация метана в воде определялась методом равновесного парафазного анализа, описанного в работе [9]. Анализ газовой фазы производился на борту судна на хроматографе «Кристалл-Люкс-4000М» (производство Рос-

сия, г. Йошкар-Ола). Метеорологические измерения проводились на судовой метеостанции в дрейфе во время работ на станциях.

Для расчета концентрации растворенного в морской воде метана использовалось уравнение, приведенное в работе [10].

В качестве базовой модели расчета полей течений была использована трехмерная нестационарная нелинейная численная модель Princeton Oceanic Model, которая находится в открытом доступе в Интернете [8], учитывающая плотностные течения  $u_{den}(x, y, t)$  и ветровые течения  $u_w(x, y, t)$ . При расчете учтены приливо-отливные течения  $u_{tide}(x, y, t)$  и турбулентные течения  $u_d(x, y, t)$ .

Начальные значения распределения температуры и солености были взяты из электронных атласов [7].

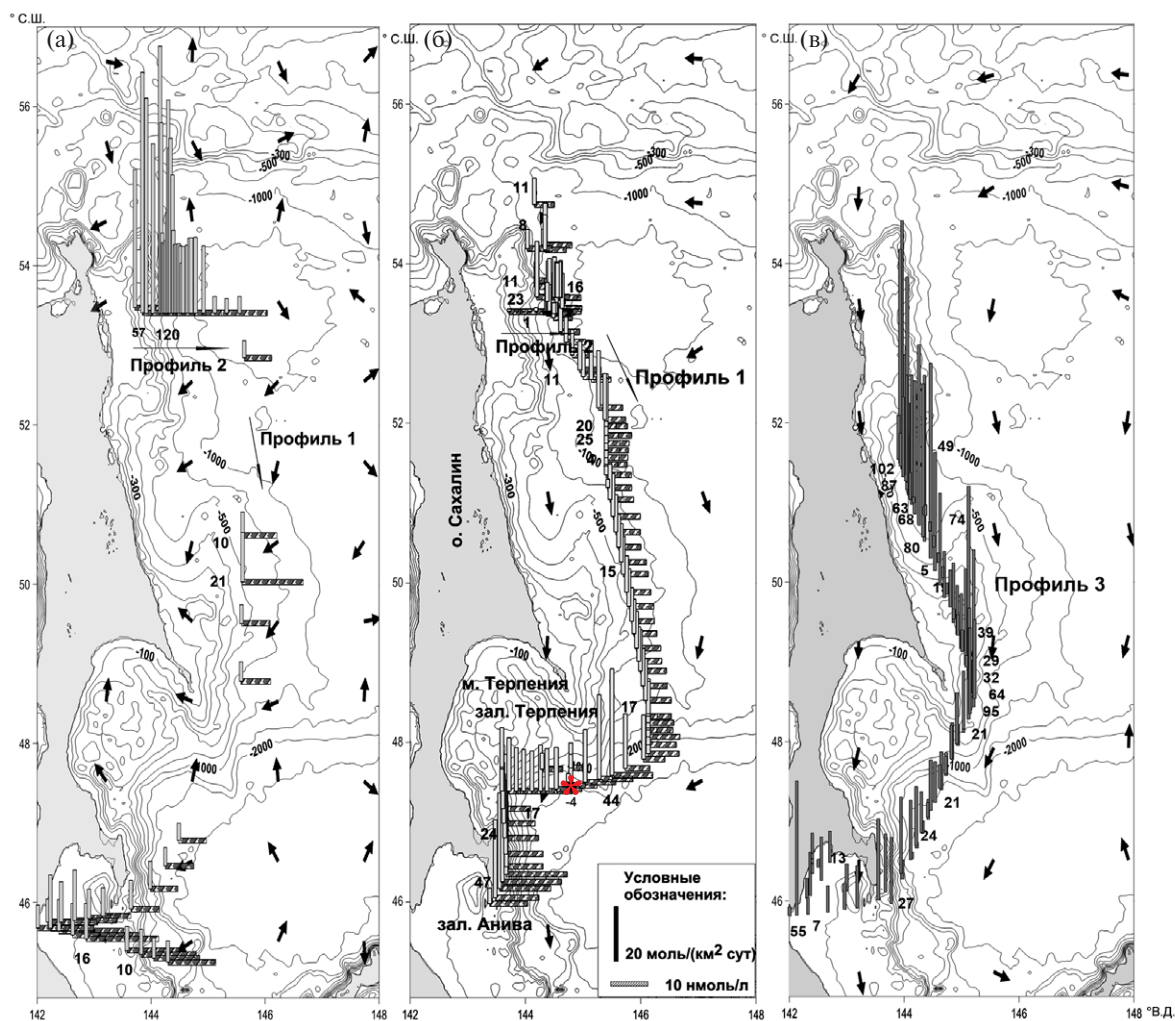
Модель для расчета распространения маркеров на акватории была протестирована на основании изучения распределения искусственных радионуклидов в морской воде после аварии на АЭС Фукусима 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные в таблице и на рис. 1 данные по распределению потоков метана (моль/км<sup>2</sup>·сут)

**Таблица.** Диапазон изменения и средние значения измеренных концентраций метана ( $C$ , нмоль/л), равновесных значений концентрации метана ( $C^*$ , нмоль/л), разностей между измеренной концентрацией метана и равновесной концентрацией ( $\Delta C$ , нмоль/л), показателей насыщения вод метаном ( $K$ , %), потоков метана на границе вода–атмосфера ( $F$ , моль/км<sup>2</sup>·сут), температуры воды ( $T$ , °C), солености ( $S$ , PSU) в 4-метровом поверхностном слое воды и скорости ветра ( $U$ , м/с)

		$C$	$C^*$	$\Delta C$	$K$	$F$	$T$	$S$	$U$
Профиль 1, направление юг–север вдоль о. Сахалин по 145–146° в.д.									
НИС «Академик Лаврентьев» рейс 54 (Май–июнь 2011 г.)	mean	13	3	10	413	33	3.7	32.0	7
	minimum	7	3	4	219	6	0.8	24.4	2
	maximum	34	4	31	1011	111	4.9	33.9	11
НИС «Академик Лаврентьев» рейс 56 (август 2011 г.)	mean	7	3	4	261	13	13.2	30.4	8
	minimum	1	2	-2	42	-4	7.4	27.3	2
	maximum	19	3	16	681	49	17.2	33.0	12
Профиль 2, направление запад–восток вдоль 53,4° с.ш.									
НИС «Академик Лаврентьев» рейс 54	mean	14	3	11	417	44	3.5	31.7	10
	minimum	7	3	4	233	6	0.8	24.4	4
	maximum	34	4	31	1011	120	4.9	32.9	11
НИС «Академик Лаврентьев» рейс 56	mean	6	3	3	210	8	11.8	29.2	7
	minimum	3	3	0	106	0	7.4	27.3	2
	maximum	10	3	7	365	22	13.2	29.9	10



**Рис. 1.** Распределение потоков метана на границе вода-атмосфера (вертикальные столбики, моль/км<sup>2</sup>-сут); распределение концентраций метана (горизонтальные столбики, нмоль/л) в поверхностном 4-метровом слое морской воды; поверхностные течения (стрелки); (а) — конец мая—начало июня; (б) — август; (в) — октябрь.

с поверхности моря, а также концентраций метана (нмоль/л) в поверхностном слое морской воды на изучаемой акватории для обеих экспедиций 2011 г. НИС «Академик Лаврентьев» показывают, что они носят крайне неравномерный характер.

В августе 2011 г. фиксируются меньшие значения потоков метана и на одной станции (№ 49) в заливе Терпения (на рис. 1 отмечено звездочкой) наблюдается поглощение метана при температуре воды 17°С и скорости ветра 6 м/с. Средняя равновесная с атмосферой концентрация метана в морской воде в конце мая — начале июня соответствует значению  $C^* \approx 3.24$  нмоль/л при солености и температуре измерений, а для августа  $C^* \approx 2.61$  нмоль/л.

Потоки метана по профилю 1 на маршруте с севера на юг вдоль восточного склона о. Сахалин сначала постепенно снижаются, а затем около мыса Терпения интенсивно возрастают. В заливе Терпения интенсивность потоков снижается.

Максимальные потоки метана с поверхности моря наблюдались на северо-восток от о. Сахалин по профилю 2 в начале июня для рейса № 54. На этом же профиле в августе для рейса № 56 концентрация метана в поверхностном слое незначительно превышает равновесные, а потоки метана в атмосферу ниже.

Значительные потоки метана на границе вода-атмосфера до 127 моль/км<sup>2</sup>-сут на северо-восточном склоне и шельфе о. Сахалин

регистрировались и для других весенних рейсов (рейс № 36 НИС «Академик Лаврентьев» (май 2005 г.). Поток до 114 моль/км<sup>2</sup>·сут отмечен для глубоководных станций, расположенных на структурах, где были подняты газогидраты.

В летний сезон наблюдается снижение потока метана с акватории моря по профилям, параллельным профилю 1 (рейс № 44 НИС «Академик Лаврентьев» — июнь 2008 г.; рейс № 47 НИС «Академик Лаврентьев» — июль-август 2009 г. [2]; рейс № 45 НИС «Академик Лаврентьев» — июль-август 2008 г. [4]).

Из данных, представленных на рис. 2а по профилю 2, следует, что очень высокие концентрации метана для августа сосредоточены не в поверхностном слое, а в водной толще.

Так как коэффициент газообмена нелинейным образом зависит от скорости ветра, на поток метана в системе океан-атмосфера значительно влияют даже непродолжительные сильные ветра. Поскольку на момент отбора проб по профилю 2 для рейсов в 2011 г. (LV 54 и LV 56) сохранялись почти одинаковые ветровые условия, представилась возможность оценить влияние сезонного изменения гидрометеорологического режима на содержание метана в поверхностном слое воды и на потоки метана с поверхности моря.

Известно, что воды летней модификации характеризуются устойчивой стратификацией. Такой слой воды гасит конвекцию, препятствует выносу значительных количеств метана

в поверхностные воды. В августе наблюдались низкие, незначительно превышающие равновесные с атмосферой концентрации метана в поверхностных водах и незначительные положительные и отрицательные потоки метана с поверхности моря, хотя в водной толще фиксируются аномально большие концентрации метана.

На рис. 2а видно, что концентрации метана по профилю 2 изменяются в очень широком диапазоне — от 0 до 500 нмоль/л. Повышенное содержание растворенного метана можно отметить в подповерхностном слое морских вод от 50 до 100 м, образование локальных максимумов метана в придонном слое и на других горизонтах 300–400 м. Максимальное значение содержания метана зафиксировано на ст. № 35 на горизонте 100 м. Значительные концентрации метана регистрируются на мелководных шельфовых станциях № 39–38, гораздо большие значения отмечены на станциях № 36 (332 нмоль/л на горизонтах 50 и 100 м) и № 35 (363–519 нмоль/л на горизонтах 200 и 100 м). На ст. № 34 содержание метана несколько снижается (до 20 нмоль/л на 100 м и 209 нмоль/л на 75 м), но на № 33 его содержание увеличивается (до 113 нмоль/л на 614 м; 25 нмоль/л на 225 м), на 200 м концентрация метана уменьшается до 3 нмоль/л. В целом, на глубоководных станциях, находящихся в этом районе, значительные концентрации метана фиксируются на горизонтах 150 м (394 нмоль/л, № 2;

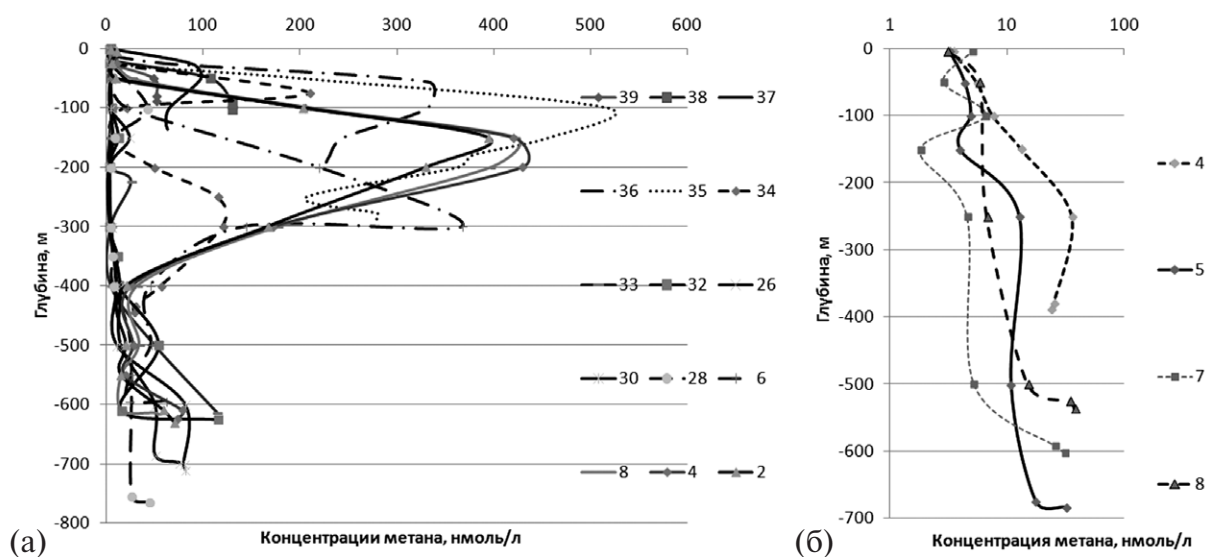


Рис. 2. Вертикальное распределение концентраций метана (нмоль/л): (а) — по профилю 2, НИС «Академик Лаврентьев», рейс № 56, август 2011 г., (б) — НИС «Профессор Гагаринский», октябрь 1998 г.



423 нмоль/л, № 8 м), на 200 м (429 нмоль/л, № 4), на 300 м (367 нмоль/л, № 6).

На акватории восточного склона и шельфа о. Сахалин наличие обогащенных метаном холодных слоев с несколькими экстремумами не имеет достаточно обоснованной гипотезы их образования. Результаты данных исследований не подтверждают предположения, что холодный промежуточный слой на горизонтах 300–400 м для летнего сезона является следствием склоновой конвекции, в результате которой происходит погружение переохлажденных шельфовых вод по склону на более глубокие горизонты. Из рис. 2 по профилю 2, захватывающим как шельф, так и мористую часть, видно, что большие значения растворенного метана регистрируются для более глубоководных станций.

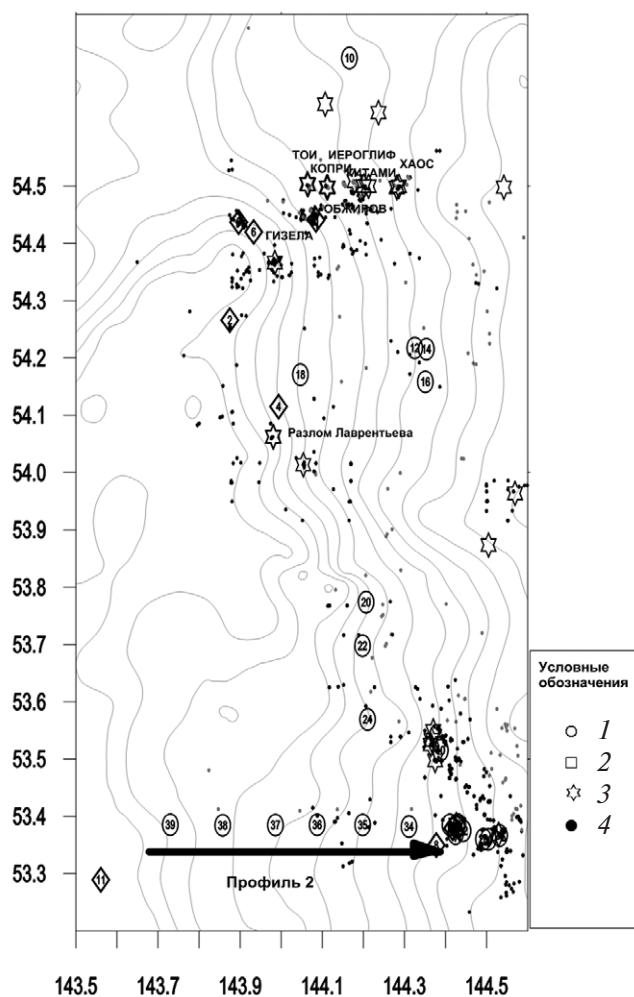


Рис. 3. Схема отбора проб в рейсах: 1 — НИС «Академик Лаврентьев», № 56; 2 — «Профессор Гагаринский», № 25, октябрь 1998 г.; 3 — площади с газогидратами; 4 — гидроакустические аномалии.

Гидрологические данные на широтном профиле 2 (море — шельф) также не подтверждают склоновую конвекцию [11]. В результате изучения распространения холодных водных масс было обнаружено, что водная масса с очень низкими значениями температуры ( $-1.645^\circ$ ) занимает сравнительно небольшую площадь (около 30 миль) непосредственно на шельфе. По мере удаления от берега происходит увеличение температуры до  $-0.669^\circ$ , и на ст. № 33, расположенной в мористой части склона, можно видеть, что происходит размывание слоя.

Данные других рейсов также показывают, что на шельфовых станциях содержание метана может быть меньше, чем на склоновых, а максимумы (как и по профилю 2) располагаются на нескольких горизонтах, чередуясь с минимумами.

Особенность профиля 2 заключается в том, что он проходит через акваторию, где сосредоточено несколько акустических аномалий, и в кернах глинистых осадков обнаружены метансодержащие газогидраты. Следует обратить внимание, что вдоль всего склона на протяжении ряда лет фиксируются многочисленные выходы метана в виде струй метановых пузырьков («факелов»), которые отмечены по обратному рассеянию при эхолучевой локации [6], а также открыты скопления углеводородов в виде нефти, газа. Всего в результате проведенных исследований на восточном склоне о. Сахалин в Охотском море на глубине 396 м и ниже обнаружено 17 площадей газогидратов [1]. Схема выходов метана в виде пузырьков газа из донных отложений в воду, обнаруженных на северо-восточном сахалинском склоне Охотского моря, а также газогидратоносных площадей показана на рис. 3.

Самые высокие содержания метана (11645 нмоль/л) зафиксированы в экспедиции LV31 в августе 2003 г. на горизонте 622 м на структуре Обжиров (ст. № 44, глубина 674 м), где в течение многих лет регистрировался долгоживущий подводный факел. На этой структуре постоянно регистрируется аномально высокая концентрация метана на различных горизонтах, так же как и на других газогидратных структурах: Гизела, Копри, Хаос, разлом Лаврентьева. Это свидетельствует о том, что на распределение метана, формирование горизонтально ориентированных слоев и температуру воды на станциях, находящихся в зоне газовой разгрузки,

определяющее влияние оказывает интенсивный пузырьковый перенос метана [3]. Над структурами, выделяющими метан, максимальные его содержания располагаются чаще всего на горизонтах, на которых происходит наибольшее растворение метана из газовых пузырьков. Важно отметить, что пузырьки газа с аномальной концентрацией метана, поступая в воду на глубине моря более 400 м, покрываются вокруг пленкой гидрата. Разложение гидратированных структур приводит к увеличению концентраций метана на указанных горизонтах и сопровождается, возможно, незначительным уменьшением температуры воды, что фиксируется гидрологическим зондированием (CTD) [11].

Интенсивное поступление метана в воду на акватории северо-восточного и восточного шельфа и склона о. Сахалин из локальных литосферных источников оказывает большое влияние на распределение растворенного метана в водной толще и в поверхностном слое за счет переноса из нижележащих слоев. Таким образом, высокие скорости эмиссии метана на границе вода–атмосфера определяются в первую очередь тем, что на изучаемой акватории обнаружены активные подводные выходы метана (рис. 3).

На рис. 1а показаны расчетные поверхностные течения для конца мая – начала июня 2011 г., при ветрах 8.8 м/с юго-восточных направлений, наблюдавшихся на время отбора проб воды. На рис. 1б показаны расчетные направления поверхностных течений в августе 2011 г. при ветрах северо-западных направлений, которые наблюдались во время отбора проб, со скоростями, сравнимыми с весенними. Расчет в летний сезон также показал, что в районе исследований, кроме генерального направления течения с севера на юг вдоль склона о. Сахалин, наблюдается сложная структура течений с формированием вихря в западной части Курильской котловины, по периферии круговорота которого наблюдаются повышенные концентрации метана в поверхностном слое воды и его потоках акватории.

Пример осеннего распределения метана в водной толще для северо-восточного шельфа и склона о. Сахалин приведен на рис. 2б для рейса «Профессор Гагаринский», октябрь 1998 г. Здесь метана однородно, и лишь в придонном слое глубоководных станций сохраняются максимальные концентрации метана. Перемеще-

вание вследствие осенней конвекции вод обуславливает более однородное распределение метана по глубине. За счет осенней конвекции, разрушающей летнюю стратификацию вод, и больших скоростей ветра метан, накопленный в водной толще, быстро выносится на поверхность. Таким образом, осенью будут наблюдаться значительные потоки метана с поверхности моря. В работе [3] приведен расчет потоков с акватории восточного шельфа и склона о. Сахалин, где показано, что при одинаковых концентрациях метана в поверхностном слое морской воды увеличение преобладающих скоростей ветра с 6 м/с для лета до 9 м/с в осенний сезон приводит к увеличению потоков метана с поверхности моря в 2 раза. Значительные потоки метана до 121 моль/км<sup>2</sup>·сут в осенний сезон фиксируются на газогидратных структурах (рейс № 32 НИС «Академик Лаврентьев», октябрь 2003 г.). Однако в осенний сезон морская поверхность обновляется очень быстро, и экспериментально зафиксировать повышенные концентрации метана удается далеко не всегда. При значительных скоростях ветров 8–12 м/с, характерных для осеннего сезона, содержание метана на поверхности быстро падает до равновесных значений, и поток метана уменьшается до минимальных значений [4, 5]. Так, например, для рейса № 25 НИС «Профессор Гагаринский», октябрь 1998 г., на одной из станций, где позже, в 2011 г., было открыто несколько газогидратных площадей, фиксируется незначительный поток метана с поверхности моря (3.19 моль/км<sup>2</sup>·сут). Есть еще причина, по которой наблюдается незначительный поток. На таких станциях газогидрат может находиться в пассивном состоянии и не проявлять признаков разложения в виде факела.

На рис. 1в показан поток по профилю 3 для рейса НИС «Академик Опарин» № 54, 17–20 октября 2017 г. На этом профиле обнаружены значительные потоки метана с поверхности моря между 52° с.ш. и 50° с.ш., а также около мыса Терпения. Потоки с акватории вдоль склона немного выше, чем потоки для НИС «Академик Лаврентьев», июнь 2008 г.; около м. Терпения немного ниже; в заливе Терпения и заливе Анива потоки сопоставимы. Но по всему профилю 3 потоки намного больше, чем в летний сезон, для НИС «Академик Лаврентьев» 2008 г. и 2009 г. [2]. Равновесные

с атмосферой концентрации метана в морской воде в октябре соответствовали значениям  $C^* \approx 3.0-3.5$  нмоль/л при солености и температуре измерений.

Следует отметить, что почти на всей траектории от м. Терпения до  $52^\circ$  наблюдались повышенные скорости ветра 12–18 м/с, и повышение содержания метана в приводном слое атмосферы. Однако концентрации метана в поверхностном слое морской воды оставались довольно высокими и значительно превышали равновесные с атмосферой. Насыщение метаном составляло 200–300%. Это является подтверждением того, что в осенний период наблюдается повышенная эмиссия метана в атмосферу, обусловленная влиянием конвективного перемешивания морской воды. На этом же рисунке показаны расчетные направления течений для реальных скоростей и направлений ветра, наблюдавшихся в период отбора проб воды. Согласно этой схеме, вдоль о. Сахалин метан должен был переноситься в направлении с севера на юг, но плавного снижения потоков метана в этом направлении мы не наблюдаем. Это говорит о том, что и по этому профилю расположены эффективные подводные источники, продолжающие оказывать влияние на потоки метана с поверхности моря.

Таким образом, максимальные потоки метана наблюдаются весной при сравнимых с августом скоростях ветра, когда после таяния льда и вскрытия рек наблюдается вынос пресных вод и начинается формирование распресненного прогретого поверхностного слоя. С усилением стратификации вод в летний период наблюдается замедление обмена метаном на границе вода-атмосфера, пузырьки газа не выходят на поверхность моря, а растворяются в морской воде.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные экспериментальные данные по изучению распределения метана и его потоков на границе вода-атмосфера показали:

1. Распределение метана в морской воде на акватории западной части Охотского моря определяется пространственным распределением подводных источников метана, где происходит активное выделение метана в морскую среду и атмосферу. Повышенный поток метана с поверхности моря наблюда-

ется на акваториях, где обнаружены акустические факелы и газогидраты.

2. На изменения концентраций метана в поверхностном слое морской воды и его потоки на границе вода-атмосфера оказывают влияние сезонные изменения гидрологических параметров морской воды в исследуемом районе. Повышенные потоки метана наблюдаются весной. А когда воды зимней модификации меняются на летние, поток метана с поверхности моря снижается. Вследствие прогрева поверхностного слоя, усиления стратификации вод в летний период обмен метаном на границе вода-атмосфера замедляется, растворенный метан начинает переноситься и накапливаться в промежуточных слоях. В осенний период наблюдается повышенная эмиссия метана в атмосферу, обусловленная влиянием конвективного перемешивания морской воды и значительными скоростями ветров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акуличев В. А., Обжиров А. И., Шакиров Р. Б. и др. Условия формирования газогидратов в Охотском море // Докл. РАН. 2014. Т. 454. № 3. С. 340-342.
2. Мишукова Г. И., Вережагина О. Ф. Распределения метана и его потоков на границе вода-атмосфера на акваториях впадины Дерюгина, шельфа и склона о-ва Сахалин Охотского моря // Вест. ДВО РАН. 2011. № 6. С. 64-71.
3. 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.
4. Мишукова Г. И., Шакиров Р. Б. Пространственная изменчивость распределения метана в морской среде и его потоков на границе вода-атмосфера в западной части Охотского моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 4. С. 493-503.
5. Обжиров А. И., Пестрикова Н. Л., Мишукова Г. И. и др. Распределение содержания и потоков метана на акваториях Японского, Охотского морей и Прикурильской части Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 71-81.
6. Саломатин А. С., Юсупов В. И. Акустические исследования газовых "факелов" Охотского моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 911-919.
7. Luchin V., Kruts A., Sokolov O. et al. Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan / Eds. Akulichev V. et al. NOAA Atlas NESDIS 67, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 2009. 380 p. CD Disc.
8. Mellor G. L. A three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model/Program in Atmospheric and Oceanic Sciences Princeton University, Princeton,

- NJ 08544-0710. June 2004. 56 p. — [http:// www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/](http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/)
9. Vereshchagina O. F., Korovitskaya E. V., Mishukova G. I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan // Deep-Sea Res. Part II: Topical Studies in Oceanography, 2013. V.86-87. P. 25-33.
10. Wiessenburg D. A., Guinasso N. L. Equilibrium Solubility of Methane, Carbon Dioxide, and Hydrogen in Water and Sea Water // J. of Chemical Engineering Data. 1979. V. 24. № 4. P. 356-360.
11. Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project 2011, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 56 August 8-28, 2011 Vladivostok–Korsakov–Sakhalin Slope–Korsakov–Vladivostok / Eds. Shoji H. et al. Published by New Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, February. Kitami, 2012. 140 p.

## INTERSEASONAL VARIABILITY IN METHANE CONCENTRATIONS AND ITS FLUXES ON WATER-ATMOSPHERE BORDER IN THE WESTERN PART OF THE SEA OF OKHOTSK

© 2019 A. I. Obzhirov\*, G. I. Mishukova, R. B. Shakirov, V. F. Mishukov, E. V. Maltseva, N. L. Sokolova, A. K. Okulov, A. V. Yatsuk, E. V. Lifanskiy

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

*\*e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru*

Received November 29, 2017

Revised version received June 07, 2019

After revision June 18, 2018

For the first time subannual variability of methane fluxes on the water-atmosphere border in the water area of the Sea of Okhotsk, located eastward to Sakhalin Island, is shown. Variability of methane fluxes is determined by the presence and activity of submarine methane sources and is connected to the seasonal changes in hydrological and hydrochemical parameters of the sea water and the structure of of currents in the region under study. In spring and autumn the average fluxes are higher, than in the summer period. Within the summer modification of water and increase of stratification, the methane flux from the sea surface is reduced. In autumn, as a result of the autumnal convection of water and high average wind speed, methane, accumulated in transitional waters, is emitted into the atmosphere.

**Keywords:** methane distribution, methane flux, the Sea of Okhotsk