

Признаки ускорения возрастания концентрации метана в атмосфере после 2014 года: спутниковые данные для Арктики

Л.Н. Юрганов¹, А. Лейфер², С. Вадаккпулиямбатта³

¹ *Мэрилендский университет, Балтимор, 21250, США
E-mail: yurganov@umbc.edu*

² *Баблеолоджи Ресерч Интернешнл, Санта Барбара, 93106, США*

³ *Центр по исследованию арктических газогидратов, окружающей среды и климата
Отделение наук о Земле Норвежского Арктического университета
Тромсе, 9037, Норвегия*

Проанализированы результаты спутникового зондирования с помощью европейского орбитального интерферометра IASI/MetOP-А и алгоритма обработки данных, разработанного в NOAA. Спутниковые измерения для умеренных и высоких широт Северного полушария дают рост скорости концентрации метана от 4–9 ppbv/год (частей на миллиард по объему) в 2010–2013 гг. до 12–17 ppbv/год в 2015–2016 гг. Глобальные оценки на основе приземных измерений NOAA на прибрежных станциях показывают возрастание от ~5–6 ppbv/год в 2007–2013 гг. до 9–12 ppbv/год в последние два года. Спутниковые данные позволяют анализировать концентрацию метана как над сушей, так и над Арктическими морями при отсутствии приповерхностных инверсий температуры. Результаты дистанционных измерений сравниваются с прямыми самолетными измерениями на Аляске в летне-осенний период в ходе эксперимента CARVE (Carbon in Arctic Reservoirs Vulnerability Experiment). Максимальные аномалии метана (по сравнению с районом между Скандинавией и Исландией) наблюдались в ноябре-декабре над морской поверхностью вдоль берегов Норвегии, Новой Земли, Шпицбергена и других районов Арктики. В летний период аномалии над океаном были незначительны. С годами аномалии росли: максимальная скорость отмечена для района к западу от Новой Земли ($9,4 \pm 3,7$) ppbv/год. Над Аляской аномалия концентрации метана в летнее время, когда активны микробиологические источники, росла со скоростью ($2,6 \pm 1,0$) ppbv/год. Местоположение максимумов аномалии вокруг Шпицбергена соответствует наблюдавшимся выходам метана с морского дна и предсказанным районам диссоциации метаногидратов. Отмеченное в данной работе увеличение скорости возрастания метана в течение последних двух лет не обязательно говорит о долгосрочной тенденции: 2015–2016 гг. характеризуются как период одного из наиболее сильных эффектов Эль-Ниньо.

Ключевые слова: IASI, дистанционное зондирование, атмосферный метан, метаногидраты

*Одобрена к печати: 15.06.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-248-258*

Введение

Метан (CH₄) является климатообразующим газом, вторым по важности после двуокиси углерода. Относительная концентрация метана в атмосфере в 1983–1991 гг. возрастала со скоростью 10–15 частей на миллиард по объему (ppbv) в год, затем возрастание замедлилось и в 2000–2006 гг. роста практически не было. В 2007–2014 гг. скорость роста метана составила ~5–6 ppbv/год (Saunio et al., 2016). Авторы работы (Dlugokencky et al., 2009) предложили несколько механизмов, ответственных за наблюдаемую картину вариаций метана, однако до сих пор нет единого мнения на этот счет (Saunio et al., 2016). Сеть станций NOAA позволяет контролировать приземный метан с высокой точностью, однако станции расположены неравномерно (Dlugokencky et al., 2009). Например, систематические данные о концентрациях метана в воздухе над Северным Ледовитым океаном (СЛО) отсутствуют, имеются лишь спорадические измерения с борта судов, в основном в летнее время (Muyhre et al., 2016; Shakhova et al., 2010). В толще океана потоки пузырей метана, в том числе от метаногидратов, надежно детектируются сонарами (Обжиров, Телегин,

Болобан, 2015; Veloso et al., 2015). До сих пор неясно тем не менее, насколько велик поток метана через морскую поверхность в атмосферу. В летнее время, например, он невелик (Muyhre et al., 2016), а в осенне-зимнее недостаточно исследован. Наблюдаемое ныне потепление Арктики может вызвать быстрое разрушение метаногидратов и значительный рост его концентрации в атмосфере с последующим обратным влиянием на климат (АМАР..., 2015).

Дистанционное спутниковое зондирование, основанное на спектрометрах, принимающих собственную радиацию Земли, а не отраженный солнечный свет, является перспективным методом исследования атмосферного метана в Арктике. Л.Н. Юрганов, А. Лейфер и К. Лунд-Майр (2016) (далее — ЮЛЛ-1) показали возможность круглогодичных и круглосуточных измерений метана над поверхностью Арктических и субарктических морей с помощью спутниковых спектрометров, работающих в среднем ИК-диапазоне. Юрганов и Лейфер (2016а) (далее — ЮЛ-2) определили районы СЛО с максимальными выбросами метана в осенне-зимний период: вдоль берегов Норвегии, Новой Земли и Шпицбергена, а также акватория Охотского моря. Юрганов и Лейфер (2016б) (далее — ЮЛ-3) обратили внимание на резкое возрастание концентрации метана над Охотским морем зимой 2015/2016 гг. по сравнению с предыдущими годами.

В настоящей работе отмечено увеличение скорости возрастания концентрации метана в 2015–2016 гг. по сравнению с предыдущим пятилетним периодом в средних и высоких широтах северного полушария. Концентрации метана над отдельными районами СЛО росли со скоростью более высокой по сравнению с северной Атлантикой. Степень влияния Арктики на глобальный метан, однако, неясна и требует отдельного рассмотрения.

Валидация методики

Данные европейского спутникового интерферометра IASI/MetOP-A об относительных концентрациях метана по объему, полученных с помощью методики, описанной в работе (Xiong et al., 2013), взяты из архива NOAA (<https://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>). ЮЛЛ-1 показали, что при недостаточном температурном контрасте (ТК) в нижнем слое тропосферы, т.е. при разнице температур между поверхностью и высотой 4 км менее 10°C, прибор теряет чувствительность к нижней тропосфере полностью. По этой причине все данные для случаев $TK < 10^\circ C$ (главным образом в холодный период года) были исключены из рассмотрения. Оставшиеся профили метана, мало зависящие от термической стратификации, были усреднены отдельно для высот 0–4 и 4–13 км.

Авторы работы (Xiong et al., 2013) исследовали вопрос надежности измерений метана прибором IASI и продемонстрировали его высокую чувствительность к метану в средней и высокой тропосфере. В той же работе сделан вывод о пониженной чувствительности метода к нижним слоям атмосферы (ниже 4 км высоты). Нужно отметить, однако, что авторы указанной статьи использовали для валидации главным образом результаты самолетных измерений в наиболее чистых районах акватории Тихого океана. Между тем, источники метана,

расположенные на суше, вызывают увеличение его концентраций вплоть до 3–4 ppbv, т.е. в 1,5–2 раза выше фоновых (Leifer et al., 2017). При таких высоких концентрациях прибор может быть способен к исследованию нижней тропосферы даже при пониженной чувствительности. По этой причине требуется добавочная валидация при наличии поверхностных источников метана.

ЮЛЛ-1 сравнили концентрацию метана, измеренную IASI над открытой водной поверхностью вблизи арх. Шпицберген, где обнаружены залежи метаногидратов (Myhre et al., 2016), с данными локальных измерений на прибрежной станции Zepellin (Fisher et al., 2011), добавленными данными до конца 2014 г., и получили хорошее согласие для ежемесячных значений. Ежедневные концентрации, однако, практически не коррелировали. Авторы объяснили этот эффект расположением станции Zepellin вблизи верхней границы пограничного слоя тропосферы и связанной с этим высокой изменчивостью концентраций метана.

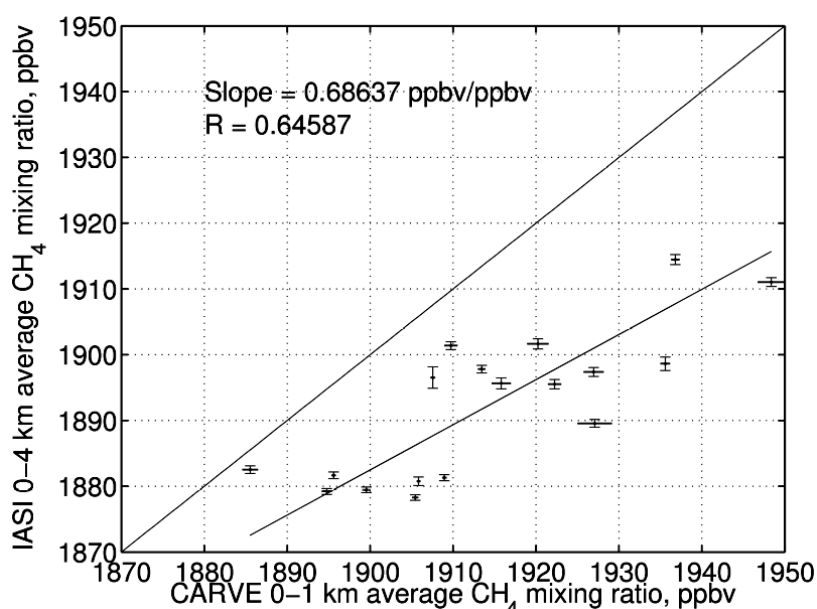


Рис. 1. Среднемесячные концентрации метана, измеренные IASI над юго-западной частью Аляски в зависимости от соответствующих прямых измерений на самолете в ходе эксперимента CARVE. Вертикальные и горизонтальные штрихи соответствуют $2s(N-1)^{-1/2}$, где s — удвоенное среднеквадратическое отклонение отдельных измерений, N — их количество

Публикация натурных самолетных измерений метана в теплый период года (май–ноябрь) с 2012 по 2014 г. над Аляской в ходе эксперимента CARVE (Budney et al., 2016; Chang et al., 2014; Miller et al., 2016; https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1402) позволила нам провести более надежную валидацию спутниковых измерений. Наибольшее количество полетов проводилось над юго-западной низменной частью Аляски, включающей долину реки Юкон и п-ов Сьюард в треугольнике с координатами вершин 64° с.ш., 150° з.д.; 59° с.ш., 165° з.д.; 67° с.ш., 168° з.д. Ежемесячные концентрации метана в слое 0–4 км, измеренные IASI над указанным районом, с погрешностью 15–20 ppbv и общим количеством 81 591 точек сравнивались с показаниями лазерного анализатора Picarro в диапазоне высот 0–1 км с погрешностью 0,3 ppbv и общим количеством точек 106 490 (рис. 1). Значительный разброс

среднемесячных результатов (коэффициент корреляции 0,65) можно объяснить неоднородностями распределения концентраций метана как по горизонтали, так и по вертикали. Наклон линии регрессии, полученной методом наименьших квадратов, и равный 0,69 (верхний и нижний доверительные интервалы с надежностью 95%, вычисленные по методике (Chatterjee, Hadi, 1986), составили 0,90 и 0,47 соответственно), характеризует чувствительность дистанционного метода по отношению к вариациям метана в нижнем слое тропосферы для конкретных летних условий на Аляске. Практически это означает, что дистанционный метод занижает реальные вариации в среднем примерно на 30%. К сожалению, пока не существует достаточного количества прямых самолетных и приводных измерений метана в ноябре-декабре над поверхностью СЛО, которые позволили бы окончательно доказать надежность результатов дистанционных измерений в Арктике.

Спутниковые результаты измерений концентрации метана

Как уже отмечалось, данные IASI в слое 4–13 км наиболее надежны (Xiong et al., 2013). На *рис. 2* красными точками показаны средние за 10 дней значения концентрации метана в слое 4–13 км для широтного пояса 45–85° с.ш., черными треугольниками — от 60 до 85° с.ш., а также линии, полученные скользящим усреднением за три года. В обоих широтных поясах обнаруживается ускорение возрастания метана начиная примерно с 2014 г. Для сравнения приведены среднемесячные значения приземной концентрации метана, усредненные по всем станциям сети NOAA (Dlugokencky et al., 2009), продолженные до декабря 2016 г.: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/. Величины возрастания от года к году (разницы концентраций между указанным годом и предыдущим) содержатся в *табл. 1*. Спутниковые измерения для Северного полушария к северу от 45° с.ш. дают рост скорости концентрации от 4–9 ppbv/год в 2010–2013 гг. до 12–17 ppbv/год в 2015–2016 гг. Глобальные оценки на основе приземных измерений NOAA на прибрежных станциях для тех же периодов показывают возрастание от ~5 до 9–12 ppbv/год. Разница в скорости роста между Арктикой и значительной частью всего Северного полушария (*рис. 2, табл. 1*) по данным IASI практически отсутствует. В третьей строчке *табл. 1* приведены аналогичные данные для североатлантического полигона, взятого для сравнения с СЛО (см. ниже).

Таблица 1. Скорости возрастания концентрации метана по данным IASI (4–13 км высоты) и у поверхности Земли на прибрежных станциях сети NOAA, в ppbv/год

<i>Годы</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>
IASI, 45–85° с.ш.	3,7	7,7	7,8	9,7	11,6	16,7
IASI, 60–85° с.ш.	3,1	7,2	9,9	11,4	9,2	18,8
IASI, Северная Атлантика	2,8	6,3	6,0	8,0	5,9	19,5
NOAA, глобально	4,3	5,2	5,1	9,2	11,5	9,1

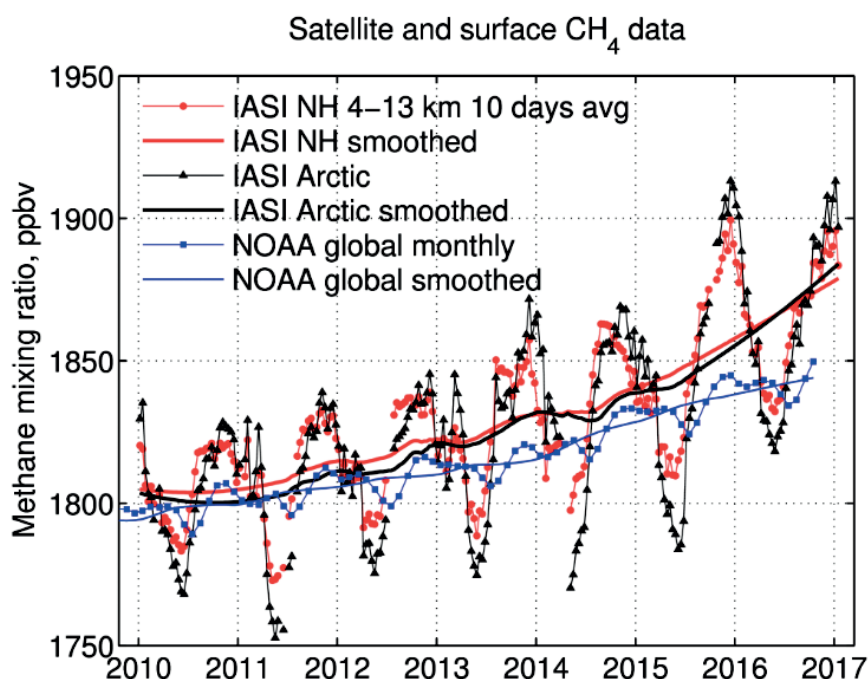


Рис. 2. Зонально усредненные концентрации метана выше 4 км высоты по данным IASI (красные кружки для 45–85° с.ш., черные треугольники для 60–85° с.ш.) в сравнении с глобальными приземными измерениями на сети NOAA (квадратики)

Рассмотрим более детально, как менялась концентрация метана в нижней тропосфере над некоторыми районами Арктики по данным IASI. Для отделения вклада Арктических источников в атмосферный метан от переноса метана из низких широт необходимо перейти к аномалии метана; в качестве фонового района выбран участок в Северной Атлантике между Скандинавией и Исландией (рис. 3, табл. 1). Концентрации метана над фоновым районом были вычтены из всех данных. Карты распределения аномалии метана, усредненные для двухмесячного периода в ноябре-декабре 2010 г. (рис. 3а) и для того же периода в 2016 г. (рис. 3б), указывают на рост контраста между Арктическими морями и Северной Атлантикой. Для дальнейшего анализа выбраны пять районов с повышенной аномалией концентрации: у берегов Норвегии, Гренландии, Новой Земли и Шпицбергена (в последнем случае западная и восточная части отдельно), а также субарктического Охотского моря.

Изменение аномалии метана от года к году в осенне-зимний период показано на примере морских районов к западу и востоку от Шпицбергена (рис. 4). Для количественной оценки скоростей роста аномалии в выбранных участках поверхности Арктических морей и Охотского моря проведен регрессионный анализ (рис. 5 и табл. 2). Границы трех выбранных участков показаны на рис. 3, к западу от Гренландии координаты вершин выбранного четырехугольника над морской поверхностью такие: 75° с.ш., 61° з.д.; 75° с.ш., 53° з.д.; 57° с.ш., 43° з.д.; 57° с.ш., 51° з.д. В диапазоне широт 78–80° с.ш. аномалия метана к востоку от Шпицбергена росла быстрее, чем к западу от Шпицбергена (6,2 против 4,8 ppbv/год). Максимальный рост аномалии наблюдался к западу от Новой Земли: 9,4 ppbv/год.

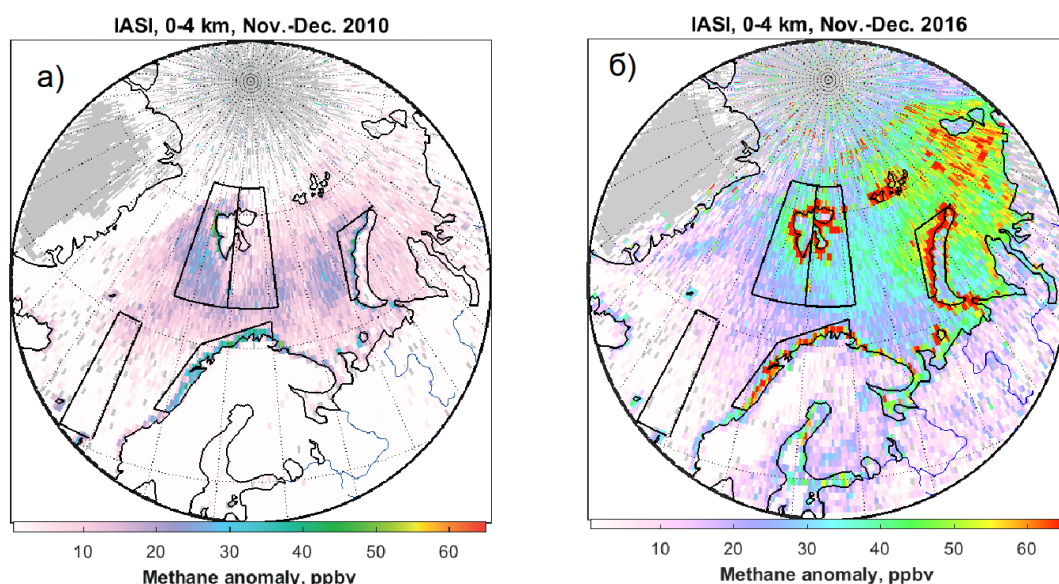


Рис. 3. Измеренные IASI и усредненные за ноябрь-декабрь 2010 г. аномалии концентрации метана в слое 0–4 км на сетке с шагом $0,5 \times 0,5^\circ$ (а); то же для ноября-декабря 2016 г. (б)

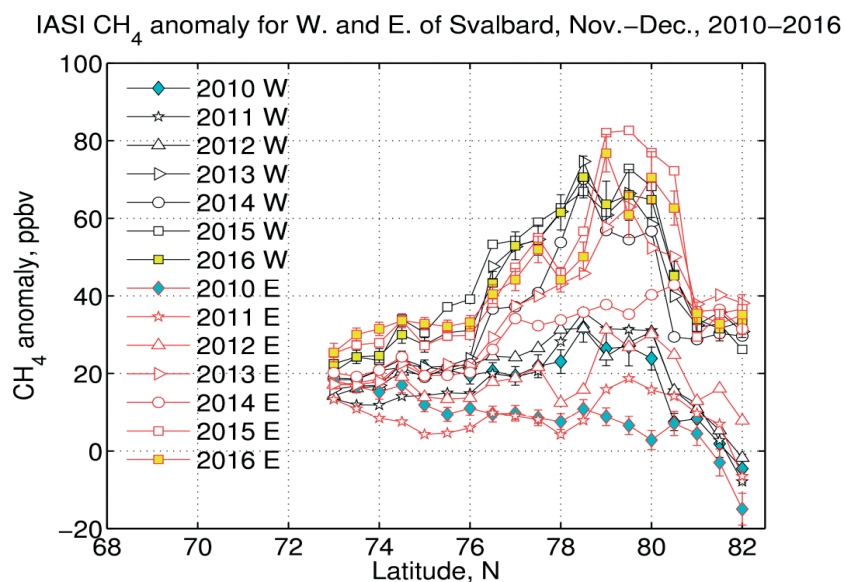


Рис. 4. Широтные зависимости аномалии концентрации метана для двух районов — к западу (черным цветом) и к востоку от Шпицбергена (Свальбарда). Вертикальными штрихами показаны удвоенные среднеквадратичные отклонения для среднего. Границы районов показаны на рис. 3

Таблица 2. Наклон прямой линейной среднеквадратической регрессии для аномалии метана над различными участками в Арктике и коэффициенты корреляции

Участок	Наклон, ppbv/год	ВГДИ, ppbv/год	НГДИ, ppbv/год	Коэфф. корр.
К северу от Норвегии	3,79	5,33	2,25	0,87
К западу от Шпицбергена	4,80	7,42	2,18	0,77
К вост. от Шпицбергена	6,24	8,47	4,01	0,90
К западу от Новой Земли	9,43	13,18	5,68	0,88
К западу от Гренландии	7,06	11,64	2,48	0,68
Охотское море	7,62	12,63	2,61	0,67
Аляска (июль-сентябрь)	2,56	3,55	1,57	0,88

ВГДИ — верхняя граница доверительного интервала для наклона, НГДИ — нижняя граница доверительного интервала; надежность 95%.

Более медленный рост аномалии метана в период максимальной эмиссии в июле-сентябре был характерен для Аляски: 2,6 ppbv/год (границы выбранного района на Аляске см. выше). Отметим, что нижние границы доверительных интервалов с надежностью 95% для наклона прямых линейной регрессии во всех случаях, включая Аляску, были положительными.

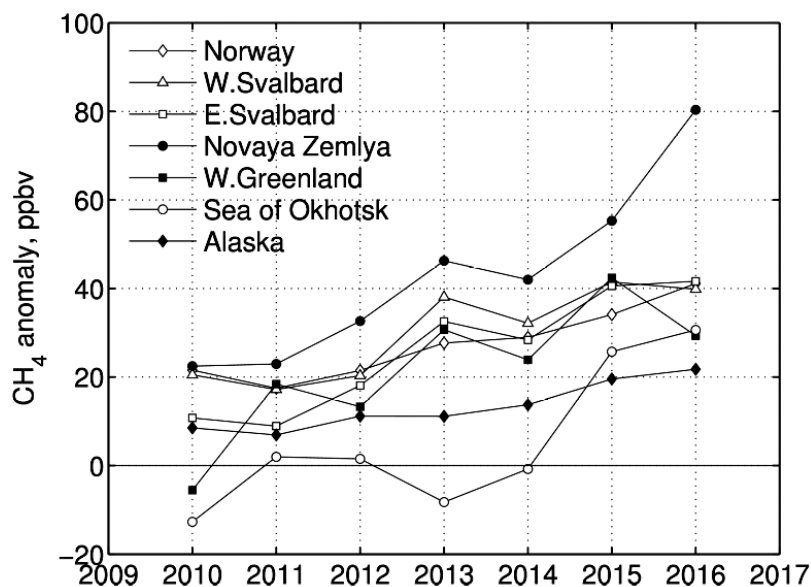


Рис. 5. Средние аномалии концентрации метана в осенне-зимний период (ноябрь-декабрь) для пяти районов морей СЛО и Охотского моря. Также показаны летне-осенние данные (за июль-сентябрь) для низменного юго-западного района Аляски

Обсуждение

Концентрация метана в атмосфере испытывает сезонные вариации и межгодовой тренд. Сезонные вариации обусловлены вариациями фотохимического стока, связанного с концентрацией гидроксила, ответственного за 83% глобального стока метана (Saunois et al., 2016). По этой причине амплитуда вариаций в умеренно-высоких широтах (рис. 2), где высока межсезонная разница в интенсивности солнечной радиации, больше, чем по данным NOAA, которые включают как тропики, так и отчасти южное полушарие. Межгодовой тренд, скорее всего, обусловлен ростом средне-глобальной эмиссии метана (Saunois et al., 2016).

Отмеченное в данной работе увеличение скорости возрастания метана в течение последних двух лет как в Арктике, так и, по данным NOAA, в других районах планеты, не обязательно говорит о долгосрочной тенденции: 2015–2016 гг. характеризуются как период одного из наиболее сильных эффектов Эль-Ниньо (Varotsos, Tzanis, Sarlis, 2016). Тем не менее, приведенные спутниковые данные для большинства рассмотренных районов (кроме Охотского моря, рис. 5) говорят об интенсификации выбросов метана от СЛО в атмосферу в зимние месяцы в течение всего периода измерений, а не только в 2015/2016 гг. В летние месяцы как по спутниковым данным (ЮЛЛ-1, ЮЛ-3), так и по прямым измерениям в океане и атмосфере (Myhre et al., 2016), поток метана через поверхность океана

незначителен. Сезонное возрастание эмиссии начиная с ноября можно объяснить нарушением летней устойчивой температурной стратификации в океане и развитием ветрового и конвективного перемешивания (Добровольский, Залогин, 1982). Если предположить, что скорость осенне-зимней эмиссии метана от морей Арктики пропорциональна его аномалии, то за семь лет она удвоилась.

Конкретный механизм образования метана, выделяющегося от поверхности морей СЛО, до конца не ясен. Есть свидетельства образования метана в поверхностном слое океана в тающем льде (Damm et al., 2015). Однако превалирует мнение о диссоциации метаногидратов вблизи дна морей СЛО (АМАР..., 2015; Veloso et al., 2015). Район к западу от Шпицбергена исследован наиболее полно (Veloso et al., 2015). Спутниковые данные подтверждают наличие существенных аномалий концентрации метана в этом районе начиная с ноября (ЮЛЛ-1, ЮЛ-2). В данной работе показано, что к востоку от Шпицбергена аномалии метана растут с годами даже быстрее, чем к западу. В статье (Muyre et al., 2016) приведена карта зарегистрированных выходов пузырей метана и предсказанных эмиссий метана от метаногидратов к западу от Шпицбергена. По той же методике мы рассчитали положение районов потенциальных выбросов метана к востоку от Шпицбергена (рис. 6). Спутниковые данные вполне согласуются с расположением метаногидратов как к западу, так и к востоку от Шпицбергена. Другой хорошо известный район, богатый метаногидратами — Охотское море (Обжиров, Телегин и Болобан, 2015; Соловьев и др., 1994), также обнаруживает высокие аномалии метана в 2015 и 2016 гг. (рис. 5).

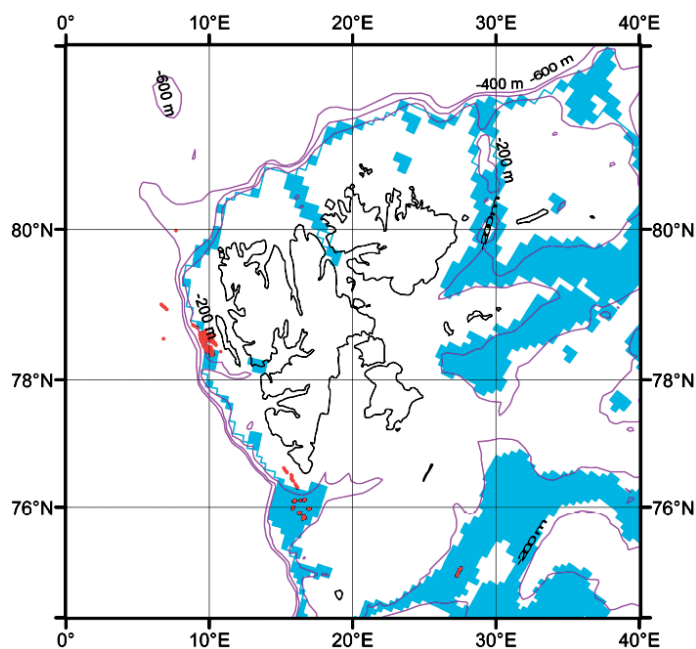


Рис. 6. Обнаруженные к западу от Шпицбергена (красный цвет) положения факелов метана. Синим цветом показаны потенциальные районы эмиссии метана, рассчитанные с помощью моделирования нарушения стабильности метаногидратов при заданном повышении температуры придонной воды. Малиновым цветом показаны изобаты

Вопрос, насколько велико влияние Арктических источников метана, как морских, так и расположенных на суше, на его глобальную концентрацию и ускорение ее роста, требует

численных экспериментов на климатических моделях (Володин, 2015) и выходит за рамки настоящей работы.

Авторы благодарны Э. Длугокенки (E. Dlugokencky, NOAA) за возможность использования последних глобальных данных по метану и NASA за публикацию результатов программы CARVE. Работа выполнена благодаря гранту NASA “Long-term Satellite Data Fusion Observations of Arctic Ice Cover and Methane as a Climate Change Feedback”.

Литература

1. Володин Е.М. Влияние источников метана в высоких широтах северного полушария на межполушарную асимметрию его концентрации и на климат // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 3. С. 287–294.
2. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М. Изд-во МГУ. 1982. 146 с.
3. Обжиров А.И., Телегин Ю.А., Болобан А.В. Потоки метана и газогидраты в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2015. Т. 19. № 1. С. 56–63.
4. Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д., Обжиров А.И., Дуглас В.К. Газовые гидраты Охотского моря // Отечественная геология. 1994. № 2. С. 10–17.
5. Юрганов Л.Н., Лейфер А. (2016а) Оценки эмиссии метана от некоторых арктических и приарктических районов по данным орбитального интерферометра IASI // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 173–183.
6. Юрганов Л.Н., Лейфер А. (2016б) Аномальные концентрации атмосферного метана над Охотским морем зимой 2015/2016 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 231–234.
7. Юрганов Л.Н., Лейфер А., Лунд-Майр К. Сезонная и межгодовая изменчивость атмосферного метана над морями Северного Ледовитого океана по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 107–119.
8. AMAP Assessment 2015: Methane as an Arctic climate forcer: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, 2015. 139 p.
9. Budney J.W., Chang R.Y.W., Commane R., Daube B.C., Dayalu A., Dinardo S.J., Gottlieb E.W., Karion A., Lindaas J.O.W., Miller C.E., Miller J.B., Miller S., Pender M., Pittman J.V., Samra J., Sweeney C., Wofsy S.C., Xiang B. 2016. CARVE: L2 Merged Atmospheric CO₂, CO, O₃ and CH₄ Concentrations, Alaska, 2012–2015. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. 2016. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1402>
10. Chang R.Y.W., Miller C.E., Dinardo S.J., Karion A., Sweeney C., Daube B.C., Henderson J.M., Mountain M.E., Eluszkiewicz J., Miller J.B., Bruhwiler L.M.P., Wofsy S.C. Methane emissions from Alaska in 2012 from CARVE airborne observations // Proc. National Academy of Sciences of the United States of America. 2014. Vol. 111. No. 47. P. 16694–16699.
11. Chatterjee S., Hadi A.S. Influential observations, high leverage points, and outliers in linear regression // Statistical Science. 1986. Vol. 1. P. 379–416.
12. Damm E., Rudels B., Schauer U., Mau S., Dieckmann G. Methane excess in Arctic surface water-triggered by sea ice formation and melting // Scientific Reports. 2015. Vol. 5. 16179.
13. Dlugokencky E.J., Bruhwiler L., White J.W.C., Emmons L.K., Novelli P.C., Montzka S.A., Masarie K.A., Lang P.M., Crotwell A.M., Miller J.B., Gatti L.V. Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden // Geophysical Research Letters. 2009. Vol. 36. L18803.
14. Fisher R.E., Sriskantharajah S., Lowry D., Lanoisellé M., Fowler C.M.R., James R.H., Hermansen O., Lund Myhre C., Stohl A., Greinert J., Nisbet-Jones P.B.R., Mienert J., Nisbet E.G. Arctic methane sources: isotopic evidence for atmospheric inputs // Geophysical Research Letters. 2011. Vol. 38. L21803.
15. Leifer I., Melton C., Buckland K.N., Clarisse L., Coheur P., Frash J., Gupta M., Tratt D.M., Leen J.B., Van Damme M., Whitburn S., Yurganov L. Remote sensing and in situ measurements of methane and ammonia emissions from a megacity dairy complex: Chino, CA // Environmental Pollution. 2017. Vol. 221. P. 37–51.
16. Miller S., Miller C., Commane R., Chang R.-W., Dinardo S., Henderson J., Karion A., Lindaas J., Melton J., Miller J., Sweeney C., Wofsy S., Michalak A. A multi-year estimate of methane fluxes in Alaska from CARVE atmospheric observations // Global Biogeochemical Cycles. 2016. Vol. 30. P. 1441–1453.
17. Myhre C.L., Ferré B., Platt S.M., Silyakova A., Hermansen O., Allen G., Pisso I., Schmidbauer N., Stohl A., Pitt J., Jansson P., Greinert J., Percival C., Fjaeraa A.M., O’Shea S.J., Gallagher M., Le Breton M., Bower K.N., Bauguitte S.J.B., Dalsøren S., Vadakkepuliambatta S., Fisher R.E., Nisbet E.G., Lowry D., Myhre G., Pyle J.A., Cain M., Mienert J. Extensive release of methane from Arctic seabed west of Svalbard during summer 2014 does not influence the atmosphere // Geophysical Research Letters. 2016. Vol. 43. P. 4624–4631.
18. Saunio M., Bousquet P., Poulter B., Peregon A. The global methane budget 2000–2012 // Earth System Scientific Data. 2016. Vol. 8. P. 697–751.
19. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O. Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf // Science. 2010. Vol. 327. P. 1246–1250.

20. Varotsos C.A., Tzanis C.G., Sarlis N.V. On the progress of the 2015–2016 El Niño event // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 16. P. 2007–2011.
21. Veloso M., Greinert J., Mienert J., De Batist M. A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders: Examples from the Arctic offshore NW-Svalbard // *Limnology Oceanography Methods*. 2015. Vol. 13. P. 267–287.
22. Xiong X., Barnett C., Maddy E., Gambacorta A., King T., Wofsy S. Mid-upper tropospheric methane retrieval from IASI and its validation // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2013. Vol. 6. P. 2255–2265.

Evidences of accelerating the increase in the concentration of methane in the atmosphere after 2014: satellite data for the Arctic

L.N. Yurganov¹, I. Leifer², S. Vadakkepuliambatta³

¹ *University of Maryland Baltimore County, Baltimore 21250, USA*

E-mail: yurganov@umbc.edu

² *Bubbleology Research International, Santa Barbara 93106, USA*

³ *Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate, Department of Geosciences
UiT – The Arctic University of Norway, Tromsø 9037, Norway*

European orbital IASI/MetOP-A interferometer TIR radiation data were processed by NOAA for methane profiles and uploaded in a publicly accessible archive. Satellite measurements for the middle and high latitudes of the Northern Hemisphere reveal a concentration growth rate of 4–9 ppbv/year in 2010–2013 and up to 12–17 ppbv/year in the 2015–2016. Global estimates based on surface measurements of NOAA at coastal stations for the same periods show an increase from 5–6 ppbv/year after 2007 to 9–12 ppbv/year last two years. Satellite data allow analyzing the methane concentration both over land and over the Arctic seas in the absence of near-surface temperature inversions. The results of remote measurements are compared with direct aircraft measurements in summer-autumn Alaska during the CARVE experiment. The maximum anomalies of methane (in comparison with a relatively clean area between Scandinavia and Iceland) were observed in November–December over the sea surface along the coasts of Norway, Novaya Zemlya, Svalbard and other regions of the Arctic. Anomalies were insignificant in summer. Over the years, the winter anomalies (contrasts) grew: the maximum rate was recorded for the area to the west of Novaya Zemlya (9.4 ± 3.7) ppbv/year. Above Alaska, the anomaly of methane concentration in summer, when the microbiological sources are active, increased at a rate (2.6 ± 1.0) ppbv/year. The locations of the maxima of the anomaly around Svalbard correspond to the observed methane seeps from the seabed and the predicted regions of dissociation of methane hydrates. The observed methane acceleration during the last two years does not necessarily indicate a long-term tendency: 2015–2016 was a strong El Niño period.

Keywords: IASI, remote sensing, atmospheric methane, methane hydrates

Accepted: 15.06.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-248-258

References

1. Volodin E.M., Vliyanie istochnikov metana v vysokikh shirotakh severnogo polushariya na mezhpolutsharnuyu assimetriyu ego kontsentratsii i na klimat (Influence of methane sources in Northern Hemisphere high latitudes on the interhemispheric asymmetry of its atmospheric concentration and climate), *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 287–294.
2. Dobrovolskii A.D., Zalogin B.S., *Morya SSSR* (Seas of the USSR), Moscow, Izd-vo MGU, 1982, 146 p.
3. Obzhairov A.I., Telegin Yu.A., Boloban A.V., Potoki metana i gazogidraty v Okhotskom more (Methane fluxes and gas hydrates in the Sea of Okhotsk), *Podvodnie issledovaniya i robototekhnika*, 2015, Vol. 19, No. 1, pp. 56–63.
4. Solov'ev V.A., Ginzburg G.D., Obzhairov A.I., Duglas V.K., Gazovye gidraty Okhotskogo morya (Gas hydrates of the Sea of Okhotsk), *Otechestvennaya geologiya*, 1994, No. 2, pp. 10–17.
5. Yurganov L.N., Leifer I., Otsenki emissii metana ot nekotorykh arkticheskikh i priarkticheskikh rayonov po danym orbital'nogo interferometra IASI (Estimates of methane emission rates from some Arctic and sub-Arctic areas, based on orbital interferometer IASI data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 3, pp. 173–183.
6. Yurganov L.N., Leifer I., Anomal'nye kontsentratsii atmosfernogo metana nad Okhotskim morem zimoi 2015/2016 gg. (Abnormal concentrations of atmospheric methane over the Sea of Okhotsk during 2015/2016 winter), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 3, pp. 231–234.

7. Yurganov L.N., Leifer I., Lund-Myhre C., Sezonnaya i mezhdogovaya izmenchivost' atmosfernogo metana nad moryami Severnogo Ledovitogo okeana po sputnikovym dannym (Seasonal and interannual variability of atmospheric methane over Arctic Ocean from satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 2, pp. 107–119.
8. *AMAP Assessment 2015: Methane as an Arctic climate forcer: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*, Oslo, Norway, 2015, 139 p.
9. Budney J.W., Chang R.Y-W., Commane R., Daube B.C., Dayalu A., Dinardo S.J., Gottlieb E.W., Karion A., Lindaas J.O.W., Miller C.E., Miller J.B., Miller S., Pender M., Pittman J.V., Samra J., Sweeney C., Wofsy S.C., Xiang B., 2016, *CARVE: L2 Merged Atmospheric CO₂, CO, O₃ and CH₄ Concentrations, Alaska, 2012–2015*, ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1402>.
10. Chang R.Y-W., Miller C.E., Dinardo S.J., Karion A., Sweeney C., Daube B.C., Henderson J.M., Mountain M.E., Eluszkiewicz J., Miller J.B., Bruhwiler L.M.P., Wofsy S.C., Methane emissions from Alaska in 2012 from CARVE airborne observations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, Vol. 111, No. 47, pp. 16694–16699.
11. Chatterjee S., Hadi A.S., Influential observations, high leverage points, and outliers in linear regression, *Statistical Science*, 1986, Vol. 1, pp. 379–416.
12. Damm E., Rudels B., Schauer U., Mau S., Dieckmann G., Methane excess in Arctic surface water-triggered by sea ice formation and melting, *Scientific Reports*, 2015, Vol. 5, 16179.
13. Dlugokencky E.J., Bruhwiler L., White J.W.C., Emmons L.K., Novelli P.C., Montzka S.A., Masarie K.A., Lan P.M., Crotwell A.M., Miller J.B., Gatti L.V., Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden, *Geophysical Research Letters*, 2009, Vol. 36, L18803.
14. Fisher R.E., Sriskantharajah S., Lowry D., Lanoisellé M., Fowler C.M.R., James R.H., Hermansen O., Lund Myhre C., Stohl A., Greinert J., Nisbet-Jones P.B.R., Mienert J., Nisbet E.G., Arctic methane sources: isotopic evidence for atmospheric inputs, *Geophysical Research Letters*, 2011, Vol. 38, L21803.
15. Leifer I., Melton C., Buckland K.N., Clarisse L., Coheur P., Frash J., Gupta M., Tratt D.M., Leen J.B., Van Damme M., Whitburn S., Yurganov L., Remote sensing and in situ measurements of methane and ammonia emissions from a megacity dairy complex: Chino, CA, *Environmental Pollution*, 2017, Vol. 221, pp. 37–51.
16. Miller S., Miller C., Commane R., Chang R.-W., Dinardo S., Henderson J., Karion A., Lindaas J., Melton J., Miller J., Sweeney C., Wofsy S., Michalak A., A multi-year estimate of methane fluxes in Alaska from CARVE atmospheric observations, *Global Biogeochemical Cycles*, 2016, Vol. 30, pp. 1441–1453.
17. Myhre C.L., Ferré B., Platt S.M., Silyakova A., Hermansen O., Allen G., Pizzo I., Schmidbauer N., Stohl A., Pitt J., Jansson P., Greinert J., Percival C., Fjaeraa A.M., O'Shea S.J., Gallagher M., Le Breton M., Bower K.N., Bauguitte S.J.B., Dalsøren S., Vadakkepuliambatta S., Fisher R.E., Nisbet E.G., Lowry D., Myhre G., Pyle J.A., Cain M., Mienert J., Extensive release of methane from Arctic seabed west of Svalbard during summer 2014 does not influence the atmosphere, *Geophysical Research Letters*, 2016, Vol. 43, pp. 4624–4631.
18. Saunio M., Bousquet P., Poulter B., Peregon A., The global methane budget 2000–2012, *Earth System Scientific Data*, 2016, Vol. 8, pp. 697–751.
19. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O., Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf, *Science*, 2010, Vol. 327, pp. 1246–1250.
20. Varotsos C.A., Tzanis C.G., Sarlis N.V., On the progress of the 2015–2016 El Niño event, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, Vol. 16, pp. 2007–2011.
21. Veloso M., Greinert J., Mienert J., De Batist M., A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders: Examples from the Arctic offshore NW-Svalbard, *Limnology Oceanography Methods*, 2015, Vol. 13, pp. 267–287.
22. Xiong X., Barnet C., Maddy E., Gambacorta A., King T., Wofsy S., Mid-upper tropospheric methane retrieval from IASI and its validation, *Atmospheric Measurement Techniques*, 2013, Vol. 6, pp. 2255–2265.