Аномальные концентрации атмосферного метана над Охотским морем зимой 2015/2016 гг.

Л.Н. Юрганов[1], А. Лейфер[2]

[1]University of Maryland Baltimore County, Baltimore, 21250, USA
E-mail: yurganov@umbc.edu
[2]Bubbleology Research International, Santa Barbara, 93106, USA

Приведены новейшие данные о концентрации метана над Охотским морем, полученные с помощью спутниковых интерферометров IASI-1 и IASI-2. В течение осенне-зимнего сезона 2015–2016 гг. обнаружены аномалии атмосферного метана, достигающие 70–100 ppb по сравнению с предшествующими годами. Максимальная аномалия наблюдалась над впадиной Дерюгина к северо-востоку от о-ва Сахалин. В течение последних десятилетий в этом районе разведаны запасы метаногидратов и наблюдались потоки метана в атмосферу. Данные измерений со спутников согласуются с расположением разведанных метаногидратов. Аномалия метана вдоль северо-западного побережья Охотского моря предположительно объясняется выбросом метана в атмосферу вследствие деградации природной субаквальной мерзлоты аналогично процессам, происходящим в море Лаптевых. Межгодовая изменчивость концентраций метана над Охотским морем и морями Западной Арктики в осенне-зимнем сезоне существенно выше по сравнению с летом. Такое различие объясняется переходом от устойчивой летней стратификации морской воды, препятствующей выносу метана в атмосферу, к неустойчивой, для которой характерно перемешивание, связанное с конвекцией. Также играет роль усиление турбулентной диффузии в морской толще осенью и зимой, вызванное штормами.

Ключевые слова: IASI, Охотское море, атмосферный метан, метаногидраты

Одобрена к печати: 02.06.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-231-234

В двух предыдущих статьях (Юрганов и др., 2016, далее в тексте ЮЛЛ-1; Юрганов, Лейфер, 2016, далее ЮЛ-2) была показана возможность круглогодичных измерений метана над поверхностью арктических и субарктических морей с помощью спутниковых спектрометров, работающих в среднем ИК-диапазоне по радиации Земли и атмосферы. Дистанционное зондирование арктического метана с помощью спектрометров среднего ИК-диапазона, установленных на спутниках, находящихся на полярных орбитах, успешно развивается. В настоящий момент в космосе работают 5 таких приборов: AIRS/Aqua, IASI-1/MetOp-A, IASI-2/MetOp-B, TANSO/GOSAT и CrIS/Suomi.

Неожиданная аномалия метана над Охотским морем этой зимой является предметом рассмотрения данного краткого сообщения. Спутниковые данные второго уровня (единичные измерения) для IASI-1/MetOp-A и IASI-2/MetOp-B так же, как и в предыдущих работах, взяты из архива NOAA (http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome). Ненадежные данные (например, для сплошной облачности) исключены согласно рекомендованной стандартной процедуре. Кроме того, применен критерий качества, предложенный ЮЛЛ-1: данные для температурного контраста <10 K отброшены.

Как показано в ЮЛЛ-1, среднегодовая концентрация метана над морями Западной Арктики (МЗА) возрастает со скоростью 3,03 ppb в год, что несколько меньше, чем скорость возрастания концентрации в приземном слое как над Арктикой, так и в глобальном масштабе (5−6 ppb в год). Кроме тренда существуют также межгодовые флуктуации, носящие различный характер в летний и осенне-зимний сезоны. *Рис. 1* изображает отрезки сезонного хода с 1 августа по 30 апреля следующего года. Для выявления межгодовых

флуктуаций, не связанных с трендом, данные IASI-1 были скорректированы: концентрации для 2015−2016 гг. показаны как есть; концентрации для 2014−2015 гг. увеличены на 3,03 ppb; концентрации для 2013−2014 гг. увеличены на 6,06 ppb и т.д. Из *рис. 1* видно, что как над МЗА, так и над Охотским морем с августа до середины октября межгодовые отличия вполне описываются среднегодовым трендом. В осенне-зимний период флуктуации от года к году более значительны, хотя и носят главным образом случайный характер.

Концентрации метана над Охотским морем с начала ноября 2015 г. росли быстрее, чем обычно, и достигли максимума в конце февраля (*рис. 1б*). Карты распределения метана над Охотским морем изображены на *рис. 2*. При этом важно отметить согласие данных двух спектрометров IASI, находящихся на разных платформах и вращающихся по близким полярным орбитам (*рис. 2б* и *рис. 2в*).

Оба прибора показали отчетливый максимум концентрации над хорошо изученным с точки зрения наличия метаногидратов районом: западным бортом впадины Дерюгина к северо-востоку от о-ва Сахалин (Обжиров и др., 2015). Средняя концентрация за три зимних месяца в этом районе оказалась на ~100 ppb больше, чем за аналогичный период год назад. Повышенные концентрации наблюдались также в Татарском проливе, где также обнаружены метаногидраты (Обжиров и др., 2016), около Парамушира (Обжиров и др., 2015) и других Курильских островов, вблизи о-ва Беринга (к востоку от Камчатки), а также над проливами Лаперуза и Сангарским. Таким образом, газогидратное происхождение аномального атмосферного метана во многих районах Карского моря весьма вероятно.

Происхождение метана, выделяющегося вдоль северо-западного побережья Охотского моря, менее понятно. Матвеева и Соловьев (2003) считают, что гидраты углеводородных газов в этом районе не могут существовать из-за отсутствия необходимых термобарических условий. Вполне вероятно, что выброс метана в атмосферу происходит вследствие деградации природной субаквальной мерзлоты (Анисимов и др., 2014; Космач и др., 2015) аналогично морю Лаптевых, где, по спутниковым данным, также имеются аномалии метана (ЮЛ-2).

По нашему мнению, различие между изменчивостью метана в летний и осенне-зимний сезоны (*рис. 1*) определяется главным образом переходом от устойчивой стратификации морской воды к неустойчивой. Летом поверхностный слой воды теплее и легче нижележащих слоев. С переходом к осени поверхностные слои охлаждаются, а нижележащие еще сохраняют тепло, и начинается конвекция, выносящая придонные массы воды на поверхность. Кроме того, более значительную роль в перемешивании воды начиная с осени играет турбулентная диффузия, усиленная штормами. Анализ природы межгодовой изменчивости и, в частности, аномалии 2015/2016 гг. выходит за пределы данного краткого сообщения.

В заключение отметим настоятельную необходимость прямых натурных исследований переноса метана из морей Арктики и из Охотского моря в атмосферу в осенне-зимний период, когда, по спутниковым данным, можно ожидать потоков, значительно больших,

чем летом. Эти данные нужны для моделирования влияния метана на уходящее ИК-излучение Земли и парниковый эффект.

Авторы выражают признательность А. Портнову (CAGE, Норвегия) и А. Обжирову (ТОИ ДОРАН) за полезную дискуссию. Работа выполнена благодаря гранту НАСА «Long-term Satellite Data Fusion Observations of Arctic Ice Cover and Methane as a Climate Change Feedback».

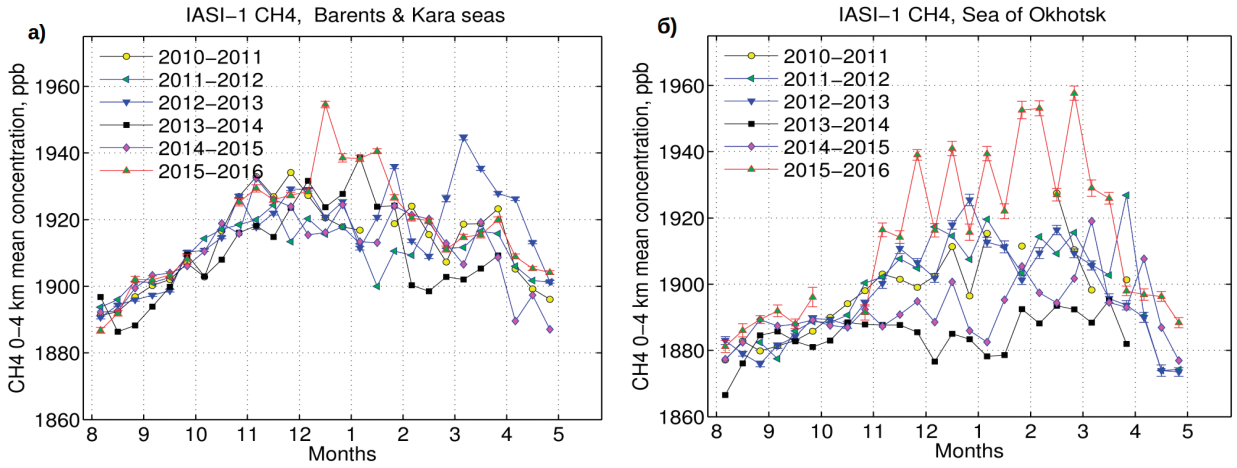

Рис. 1. Концентрации метана, усредненные между поверхностью и высотой 4 км, по данным интерферометра IASI-1/MetOp-A и по трем декадам для каждого месяца. а) Моря Западной Арктики (в основном, Баренцево и Карское). б) То же для Охотского моря. Вертикальные штрихи для 2012-2013 и для 2015-2016 сезонов соответствуют стандартным ошибкам средних значений, умноженным на 3.

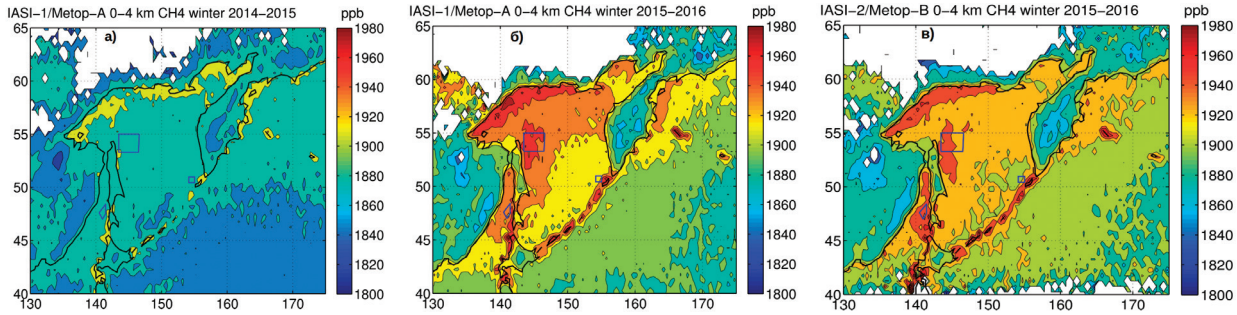

Рис. 2. а) Концентрации метана над Охотским морем по данным IASI-1, усредненным за период с декабря 2014 г. по февраль 2015 г.; б) То же, что а), но за период с декабря 2015 г. по февраль 2016 г.; в) То же, что б), но по данным IASI-2. Синими многоугольниками показаны районы расположения разведанных месторождений газогидратов.

Литература

1. *Анисимов О.А., Забойкина Ю.Г, Кокорев В.А., Юрганов Л.Н.* Возможные причины эмиссии метана на шельфе морей Восточной Арктики // Лёд и Снег. 2014. № 2 (126). С. 69–81.
2. *Космач Д.А., Сергиенко В.И., Дударев О.В., Куриленко А.В., Густаффсон О., Семилетов И.П., Шахова Н.Е.* Метан в поверхностных водах окраинных морей Северной Евразии // ДАН. 2015. Т. 465. № 4. С. 441–445.
3. *Матвеева Т.В., Соловьев В.А.* Газовые гидраты Охотского моря: закономерности формирования и распространения // Российский химический журнал. 2003. Т. 157. № 3. С. 101–111.
4. *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.

5. *Обжиров А.И., Пестрикова Н.Л., Мишукова Г.И., Мишуков В.Ф., Окулов А.К.* Распределение содержания и потоков метана на акваториях Японского, Охотского морей и прикурильской части Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2016. №3 . С. 71–81.
6. *Юрганов Л.Н., Лейфер А., Майр К.Л.* 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.
7. *Юрганов Л.Н., Лейфер А.* 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. 231–134.

Abnormal concentrations of atmospheric methane over the Sea of Okhotsk during 2015/2016 winter

L.N. Yurganov[1], I. Leifer[2]

[1]University of Maryland Baltimore County, Baltimore, 21250, USA
E-mail: yurganov@umbc.edu
[2]Bubbleology Research International, Santa Barbara, 93106, USA

The latest data on the concentration of methane over the Sea of Okhotsk, obtained using satellite interferometers IASI-1 and IASI-2 have been presented. During the 2015–2016 autumn-winter season atmospheric methane anomalies amounted 70-100 ppb in comparison with previous years. Maximum observed anomaly was observed over the Deriugin trough to the North-East of Sakhalin Island. In the recent decades, the Sea of Okhotsk was found as an area with prospected reserves of methane hydrates; methane emissions to the atmosphere were observed also. The satellite measurements of anomalies are consistent with the locations of proven methane hydrate deposits. Methane anomaly along the North-West coast of the sea is tentatively explained by methane emitted due to degradation of sub-marine permafrost, similarly to that occurring in the Laptev Sea. A significantly higher interannual variability of methane in the autumn-winter season than that in summer is explained by a transition from stable summer stratification of seawater to unstable one. Also intensification of turbulent diffusion in the sea connected with storms plays a role.

Key words: IASI, Sea of Okhotsk, atmospheric methane, methane hydrates

Accepted: 02.06.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-231-234

References

1. Anisimov O.A., Zaboikina Yu.G., Kokorev V.A., Yurganov L.N., Vozmozhnye prichiny emissii metana na shel'fe morei Vostochnoi Arktiki (Possible causes of methane release from the East Arctic seas shelf), *Led i Sneg*, 2014, No. 2 (126), pp. 69–81.
2. Kosmach D.A., Sergienko V.I., Dudarev O.V., Kurilenko A.V., Gustaffson O., Semiletov I.P., Shakhova N.E., Metan v poverhnostnyh vodah okrainnyh morej Severnoj Evrazii (Methane in surface waters of marginal seas of Northern Eurasia), *DAN*, 2015, Vol. 465, No. 4, pp. 441–445.
3. Matveeva T.V., Solov'ev V.A., Gazovye gidraty Okhotskogo morya: zakonomernosti formirovaniya i rasprostraneniya (Gas hydrates of the Sea of Okhotsk: conditions of forming and distribution), *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*, 2003, Vol. 157, No. 3, pp. 101–111.
4. Obzhirov 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.
5. Obzhirov A.I., Pestrikova N.L, Mishukova G.I., Mishukov V.F., Okulov A.K., Raspredelenie soderzhaniya i potokov metana na akvatoriyakh Yaponskogo, Okhotskogo morei i prikuril'skoy chasti Tikhogo okeana (Distribution of concentration and flux of methane in Japan Sea, Sea of Okhotsk and Kuril rim of Pacific), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2016, No. 3, pp. 71–81.
6. Yurganov L.N., Leifer I., Myhre C.L., Sezonnaya i mezhgodovaya 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.
7. Yurganov L.N., Leifer I., Otsenki emissii metana ot nekotorikh arkticheskikh i priarkticheskikh rayonov po dannym orbital'nogo interferometra IASI (Estimates of methane emission rates from some Arctic and sub-Arctic areas, based on orbital interferometer IASI data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 3. pp. 231–134.