

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭМИССИЙ МЕТАНА ИЗ ВЛАЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВЫСОКИХ ШИРОТ

С.Н. Денисов, М.М. Аржанов

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
denisov@ifaran.ru

Аннотация. Современные оценки эмиссии метана из влажных экосистем высоких широт имеют значительный меж-модельный разброс, одной из причин которого может являться внутренняя изменчивость атмосферной циркуляции. В данной работе проведен анализ воздействия внутренней атмосферной изменчивости на вариации эмиссий метана с территории низменности Гудзонова залива. Для среднегодовых значений эмиссии показатель неопределенности, связанный с климатическим шумом, составил 32 %, а для отдельных месяцев 31–38 %. Показано, что существенный вклад в высокую неопределенность эмиссий метана вносит климатически обусловленная изменчивость площади увлажненных территорий.

Ключевые слова: эмиссии метана, региональное моделирование, влажные экосистемы

На протяжении последних десятилетий в высоких широтах Северного Полушария отмечаются существенные климатические изменения, связанные как с антропогенным влиянием на климат, так и с естественной изменчивостью климата [1]. Основной гипотезой, объясняющей динамику климата в индустриальный период, считается влияние увеличения содержания парниковых газов в атмосфере. По данным наблюдений концентрация метана в атмосфере за последнее столетие повышалась значительно более высокими темпами по сравнению с ростом содержания углекислого газа. Одним из источников, оказывающих влияние на изменение содержания метана в атмосфере, являются болотные экосистемы, в том числе бореальные экосистемы северного полушария, где наблюдаемые климатические изменения наиболее значительны, и эта тенденция может сохраняться и в XXI веке [2]. Возможным дополнительным источником CH_4 в атмосферу высоких широт Северного полушария является эмиссия CH_4 вследствие деградации наземной мерзлоты [3].

Анализ отклика эмиссий метана из почвы в атмосферу с территории Западной Сибири и низменности Гудзонова залива (НГЗ) на изменения климата проводился в рамках международного проекта WETCHIMP [4,5]. Был выявлен большой межмодельный разброс в рассчитанной площади болот и эмиссиях метана, как в пространстве, так и во времени. Свой вклад в неопределенность оценок естественных эмиссий метана из влажных экосистем может вносить внутренняя изменчивость атмосферной циркуляции. В данной работе проведен анализ воздействия внутренней атмосферной изменчивости на современные вариации эмиссий метана с территории НГЗ.

При модельных расчетах потоков метана в современном климате использовались данные ансамбля реализаций модели общей циркуляции атмосферы ECHAM5. В каждом численном эксперименте в МОЦА задавались поля температуры поверхности океана (ТПО) и концентрации морского льда (КМЛ) по данным объективного анализа наблюдений HadISST1.1 Центра Гадлея (Великобритания) [6] за период 1979–2012 гг. Выбор такого периода связан с наличием непрерывных спутниковых данных по КМЛ с 1979 г. Параметры внешнего воздействия на атмосферу (орбитальные параметры, характеристики солнечной радиации, радиационно-активные газы и аэрозоли) соответствовали стандартным для современного климата значениям и были постоянными. Единственным различием между индивидуальными экспериментами являлись начальные условия (состояние атмосферы на 1 января 1979 г.), которые задавались как мгновенные состояния атмосферы в различные 12 часовые интервалы в декабре 1978 г. Эксперименты с МОЦА с идентичными граничными условиями и различными начальными условиями позволяют оценить неопределенность в потоках метана из исследуемого региона, связанную с вкладом внутренней изменчивости атмосферной циркуляции.

Для расчета эмиссии метана из влажных экосистем использовалась модель [7] совместно с локально-одномерной моделью термо- и гидрофизических процессов в почве [8]. Модель позволяет учитывать зависимость эмиссии метана из доли модельной ячейки, занятой болотом от температуры и количества доступного углеродного субстрата аналогично [9]. Она дополнена динамической схемой расчета

площади болот в модельной ячейке основанной на подходах модели TOPMODEL [10]. TOPMODEL работает на масштабах больших водоразделов с использованием статистических данных топографии (не требует детальной топографической информации). Она основана на использовании топографического индекса влажности (Topographic Wetness Index, TWI). В расчетах была использована маска GRIDATB2 [11] с пространственным разрешением 15×15 угловых секунд. Для оценки влияния изменений площади влажных экосистем на эмиссии метана были также проведены модельные эксперименты с фиксированной площадью болот, заданной по данным [12].

Проведены ансамблевые численные эксперименты с моделью эмиссии метана из влажных экосистем НГЗ для современного климата. При оценке эмиссии метана в современном климате использовались среднемесячные данные ансамбля реализаций модели общей циркуляции атмосферы ECHAM5 за период 1979–2012 гг. На вход модели эмиссии

метана подавались поля приповерхностной температуры атмосферы, влажности воздуха, облачности, коротковолновой солнечной радиации и осадков. Были получены оценки эмиссии метана в период 1979–2012 гг. Оценивались средние значения и стандартные отклонения годовых и месячных показателей эмиссии, причем в случае месячных показателей выбирались только месяцы со значимой (>0.1 МтСН₄) эмиссией, т.е. май–октябрь. В качестве показателей изменчивости полученных оценок средних значений и стандартного отклонения, обусловленной внутренней изменчивостью климатической системы, вычислялись 95 %-е доверительные интервалы этих оценок. При расчете доверительных интервалов принималось, что соответствующие оценки подчиняются гауссову распределению вероятности. Показателями неопределенности расчетных оценок (среднего значения и стандартного отклонения) считалось отношение половины ширины 95 %-го доверительного интервала соответствующей оценки к ее среднему значению.

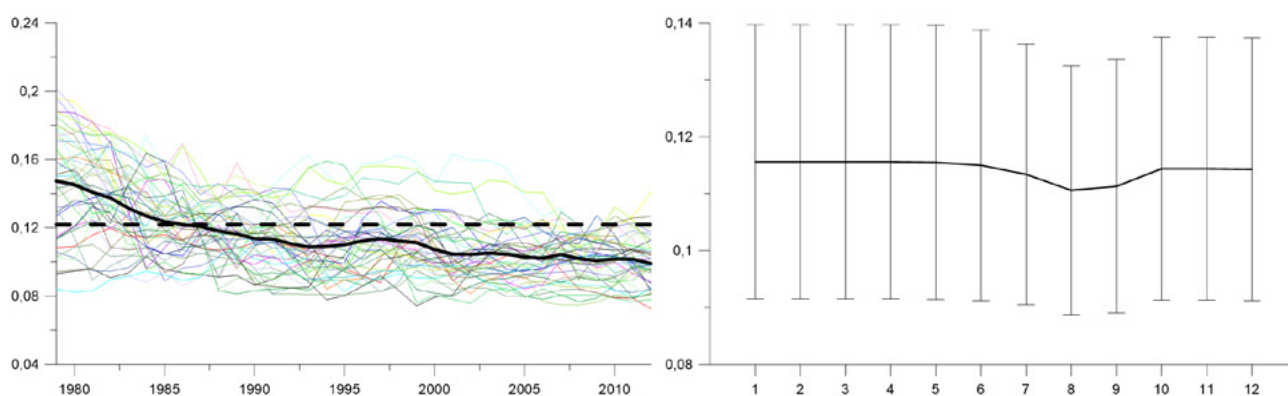


Рис. 1. Доля территории НГЗ, занимаемая влажными экосистемами по расчетам с использованием данных 45 реализаций модели ECHAM5. Среднегодовые значения для каждой из реализаций (слева) и среднеансамблевые среднемесячные значения со стандартным отклонением (справа, по оси X – номера месяцев). Жирная линия представляет среднеансамблевое значение, пунктиром обозначена площадь болот, соответствующая фиксированной маске

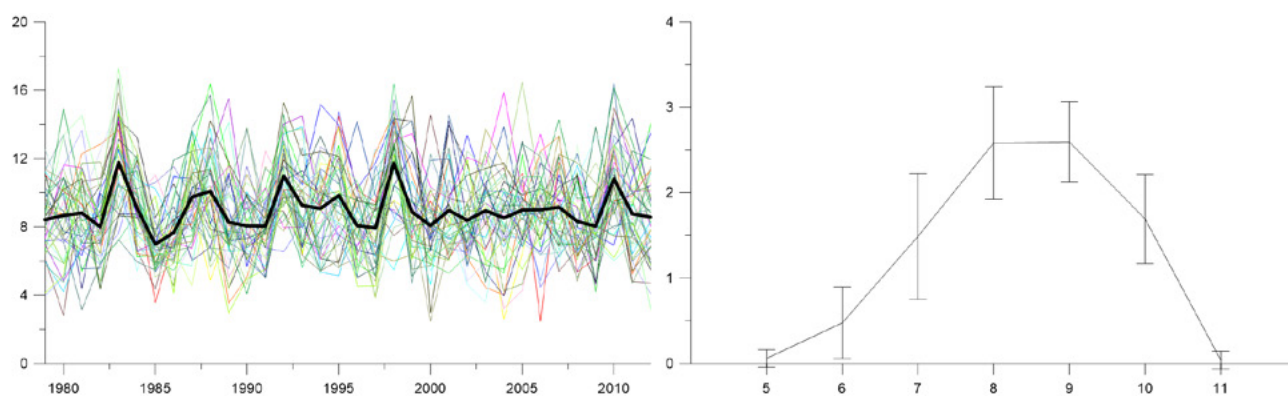


Рис. 2. Эмиссии метана [МтСН₄/г] из влажных экосистем НГЗ по расчетам с фиксированной маской болот

Доля площади НГЗ, занимаемая влажными экосистемами, в расчетном периоде составляет 8–20 % (Рис. 1). Среднеансамблевое значение за рассматриваемый период составляет 11.4 % (показатель неопределенности – 21 %). Тренд изменения площади влажных экосистем составляет около – 0.1 %/год. В отдельные годы рассчитанная площадь влаж-

ных экосистем может отличаться более чем вдвое для различных реализаций модели. В среднем рассчитанная площадь болот имеет тенденцию слегка сокращаться в конце лета и далее восстанавливаться к концу года. В течение года показатель неопределенности среднемесячных значений площади болот находится в пределах 21–22 %.

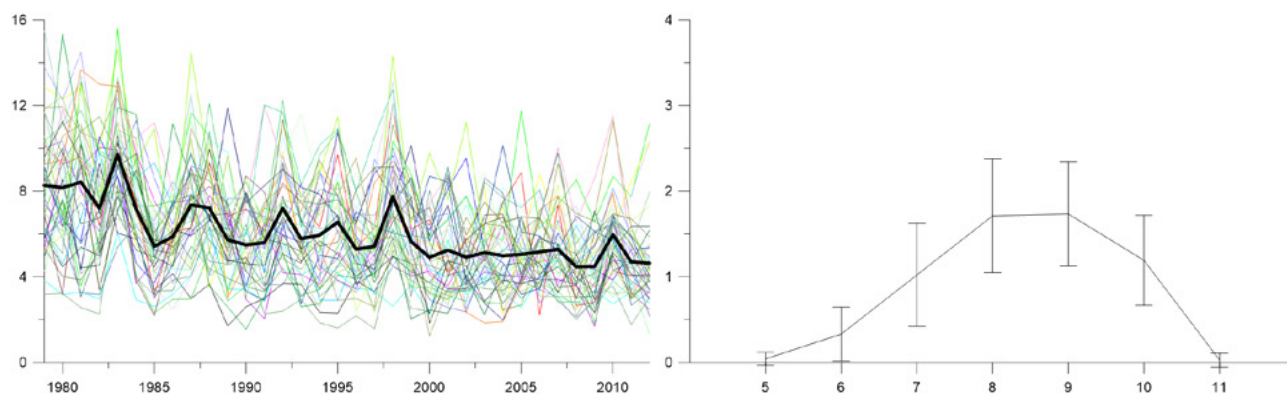


Рис. 3. Эмиссии метана [MtCH₄/г] из влажных экосистем НГЗ по расчетам с использованием динамической схемы вычисления площади болот

Получены оценки эмиссий метана из влажных экосистем НГЗ для периода 1979–2012 гг. с использованием фиксированной и динамически рассчитываемой маски болот (Рис. 2,3). Для расчетов с фиксированными болотами среднегодовые эмиссии по ансамблю составляют около 8.9 MtCH₄ (показатель неопределенности – 11 %). Тренд эмиссий составляет около 0.002 MtCH₄/год. Использование динамической маски болот существенно влияет на параметры эмиссии (особенно на показатели неопределенности). В этом случае среднегодовые эмиссии по ансамблю составляют около 6.1 MtCH₄ (показатель неопределенности – 32 %). Тренд эмиссий составляет около – 0.1 MtCH₄/год. Суммарные годовые эмиссии в отдельные годы могут отличаться более чем в 5 раз между различными реализациями модели. Наибольшие оценки среднемесячных эмиссий (более 2 MtCH₄/год) получены для августа–сентября. Для отдельных месяцев показатель неопре-

деленности средних значений эмиссии составляет 7–30 %, и 31–38 % для фиксированной и динамической маски болот соответственно, причем минимален он в те месяцы, когда эмиссии максимальны. Выявленный сезонный ход неопределенности оценок среднемесячных величин эмиссии, присущий расчетам с фиксированной маской болот, практически исчезает при использовании динамической маски.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии внутренней изменчивости климатической системы на эмиссии метана из влажных экосистем высоких широт северного полушария. Показатель неопределенности эмиссий с территории НГЗ, связанной с «климатическим шумом», составил более 30 % как на среднегодовом, так и на среднемесячном масштабе.

Работа выполнена в рамках проектов РФФИ (18-05-00087, 18-05-60111, 19-05-00409) и РНФ.

Список литературы

1. IPCC, 2013: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.)] Cambridge Univ. Press, Cambridge/New York: 2013. 1535 p.
2. Мохов И.И., Елисеев А.В. Моделирование глобальных климатических изменений в XX–XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий RCP // Доклады АН. 2012. Т. 443. № 6. С. 732–736.
3. Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochem. Cycles. 2009. Vol. 23. P. Gb2023.
4. Bohn T., Melton J.R., Ito A. et al. WETCHIMP-WSL: intercomparison of wetland methane emissions models over West Siberia // Biogeosciences. 2015. Vol. 12. No 3. P. 3321–3349.
5. Miller S.M., Commane R., Melton J.R. et al. Worthy Evaluation of wetland methane emissions across North America using atmospheric data and inverse modeling // Biogeosciences. 2016. №13. pp. 1329–1339.

6. Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. *et al.* Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108. No. D14. P. 4407.
7. Денисов С.Н., Елисеев А.В., Мохов И.И., Аржанов М.М. Модельные оценки глобальных и региональных эмиссий метана в атмосферу влажными экосистемами // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 5. С. 543–549.
8. Аржанов М.М., Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние климатических изменений над сушей внетропических широт на динамику многолетнемерзлых грунтов при сценариях RCP в XXI веке по расчетам глобальной климатической модели ИФА РАН // Метеорология и гидрология. 2013. № 7. С. 31–42.
9. Clark D.B., Mercado L.M., Sitch S., Jones C. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description – Part 2: Carbon fluxes and vegetation dynamics // Geosci. Model Dev. 2011. Vol. 4. P. 701–722.
10. Beven K.J., Kirkby M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology // Hydrological Sciences Bulletin. 1979. Vol. 24. P. 43–69.
11. Marthews T.R., Dadson S.J., Lehner B., Abele S., Gedney N. High-resolution global topographic index values for use in large-scale hydrological modeling // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2015. Vol. 19. P. 91–104.
12. Bergamaschi P., Frankenberg C., Meirink J.F. *et al.* Satellite cartography of atmospheric methane from SCIAMACHY on board ENVISAT 2. Evaluation based on inverse model simulations // J. Geophys. Res.: Atm. 2007. Vol. 112. No D2. P. D02304.

UNCERTAINTY OF NATURAL METHANE EMISSIONS FROM BOREAL WETLANDS

S.N. Denisov, M.M. Arzhanov

A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences

denisov@ifaran.ru

Abstract. Current estimates of methane emissions from high latitude wetlands have significant intermodel variations, one reason for which may be internal atmospheric circulation variability. This paper analyzes the impact of internal atmospheric variability on variations in methane emissions from the Hudson Bay Lowland (HBL) area. The ensemble of numerical experiments with a joint model of the methane cycle and heat and moisture transport in soil was performed. An ensemble of 45 realizations of the multi-year data of meteorological variables at the land surface, calculated by the ECHAM5 for different initial and identical boundary conditions for a 34-year period (from 1.01.1979 to 31.12.2012) was specified as space-distributed input data. Necessary physical characteristics of the soil were calculated in the module of heat and moisture transport, supplemented with an interactive scheme for calculating the area of the model cell occupied by the wetlands. Wetlands are estimated to occupy 8–20 % (with 11.4 % ensemble mean) of HBL region area. The ensemble average of annual emissions for HBL over the estimated period equals 6.1 TgCH₄/yr with –0.1 TgCH₄/yr trend. The obtained uncertainty associated with climate noise equals 32 % for average annual emissions, and 31–38 % for individual months. It is shown that a significant contribution to the high uncertainty of methane emissions is made by the climatically determined variability of the wetland area.

Keywords: methane emissions, regional modelling, wetlands

References

1. IPCC, 2013: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.)] Cambridge Univ. Press, Cambridge/New York: 2013. 1535 p.
2. Mokhov I.I., Eliseev A.V. Modeling of global climate variations in the 20th-23rd centuries with new RCP scenarios of anthropogenic forcing // *Doklady Earth Sciences*. 2012. Vol. 443. No 2. P. 532.
3. Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global Biogeochem. Cycles*. 2009. Vol. 23. P. Gb2023.
4. Bohn T., Melton J.R., Ito A. et al. WETCHIMP-WSL: intercomparison of wetland methane emissions models over West Siberia // *Biogeosciences*. 2015. Vol. 12. No 3. P. 3321–3349.
5. Miller S.M., Commane R., Melton J.R. et al. Worthy Evaluation of wetland methane emissions across North America using atmospheric data and inverse modeling // *Biogeosciences*. 2016. №13. P.1329–1339.
6. Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108. No. D14. P. 4407.
7. Denisov S.N., Eliseev A.V., Mokhov I.I., Arzhanov M.M. Model estimates of global and regional atmospheric methane emissions of wetland ecosystems // *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015. Vol. 51. No 5. P. 482–487.
8. Arzhanov M.M., Eliseev A.V., Mokhov I.I. Impact of climate changes over the extratropical land on permafrost dynamics under RCP scenarios in the 21st century as simulated by the IAP RAS climate model // *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2013. Vol. 38. P. 456.
9. Clark D.B., Mercado L.M., Sitch S., Jones C. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description – Part 2: Carbon fluxes and vegetation dynamics // *Geosci. Model Dev.* 2011. Vol. 4. P. 701–722.
10. Beven K.J., Kirkby M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology // *Hydrological Sciences Bulletin*. 1979. Vol. 24. P. 43–69.
11. Marthews T.R., Dadson S.J., Lehner B., Abele S., Gedney N. High-resolution global topographic index values for use in large-scale hydrological modeling // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2015. Vol. 19. P. 91–104.
12. Bergamaschi P., Frankenberg C., Meirink J.F. et al. Satellite cartography of atmospheric methane from SCIAMACHY on board ENVISAT 2. Evaluation based on inverse model simulations // *J. Geophys. Res.: Atm.* 2007. Vol. 112. No D2. P. D02304.