

УДК 548.562
DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art64

ОБ ЭМИССИИ МЕТАНА В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Адушкин В.В., Кудрявцев В.П., Институт динамики геосфер РАН
E-mail: vkudryvcev41@mail.ru

Аннотация. Проблема современного изменения климата до сих пор еще часто рассматривается только как проблема прямого антропогенного влияния, как проблема выброса парниковых газов от человеческой деятельности. Однако более половины источников метана определяются различными природными механизмами. Многие из этих механизмов имеют положительную зависимость от температуры. Этот факт может быть причиной повышения эмиссии в полярной зоне, которая обусловлена положительной обратной связью между процессами потепления и эмиссией метана в полярной зоне.

Проведенный нами анализ наземных, морских и спутниковых измерений потоков метана в Арктике показал, что увеличение эмиссии метана из таких резервуаров захороненного метана, как метановые газогидраты, зоны вечной мерзлоты, озер и северных болот может заметно превысить мощность антропогенных источников. При этом вклад парникового эффекта от работы положительных обратных связей может оказаться сравнимым или даже превысить антропогенный вклад в арктической зоне.

Ключевые слова: Арктика, эмиссия метана, климат, парниковый эффект.

ON METHANE EMISSION IN THE ARCTIC

Adushkin V.V., Kudryavtsev V.P., Institute of Geosphere Dynamics RAS
E-mail: vkudryvcev41@mail.ru

Abstract. The problem of modern climate change is still often considered only as a problem of direct anthropogenic influence emission of greenhouse gases from human activity. However, more than half of methane sources are determined by various natural mechanisms. Many of these mechanisms have positive temperature dependence. This fact may be the reason for the increase in emissions in the polar zone, which is caused by the positive feedback between the warming processes and methane emissions.

Our analysis of land, sea and satellite measurements of methane fluxes in the Arctic showed that an increase in methane emissions from such buried methane reservoirs as methane gas hydrates, permafrost zones, lakes and northern marshes can significantly exceed the power of anthropogenic sources. At the same time, the contribution of the greenhouse effect from the

work of positive feedbacks may turn out to be comparable or even more than anthropogenic contribution in the arctic zone.

Keywords: Arctic, methane emission, climate, greenhouse effect

Введение

Известно, что по степени влияния на радиационный баланс атмосферы и развитие парникового эффекта метан является третьим по значимости (после паров воды и двуокиси углерода) парниковым газом. Согласно современным представлениям, изменения средней глобальной температуры атмосферы обусловлено усилением парникового эффекта и, в частности, увеличением в ней концентрации метана. Проблема современного изменения климата до сих пор еще часто рассматривается только как проблема прямого антропогенного влияния, как проблема выброса парниковых газов от человеческой деятельности. Однако более половины источников метана определяются различными природными механизмами. Многие из этих механизмов имеют положительную зависимость от температуры. Этот факт может быть причиной повышения эмиссии в полярной зоне, которая обусловлена положительной обратной связью между процессами потепления и эмиссией метана в полярной зоне.

Можно считать, что в настоящее время природа действующих источников метана известна. Однако величина и доля, вносимая в глобальный поток конкретным источником всё ещё недостаточно ясна. Поступление метана в атмосферу Земли от антропогенных источников, связанных с жизнедеятельностью человека достаточно хорошо оценивается по данным мониторинга. Большую сложность вызывают оценки природных источников из недр земли и океана. Большие трудности вызывает оценка эмиссии метана из залежей метановых гидратов в связи с отсутствием надёжных сценариев поведения этих залежей при потеплении. Явно недооценены из-за трудностей натурных наблюдений такие источники метана в арктической зоне как озёра, океан и тундра.

Особенности поведения концентрации и потока метана в атмосфере

По данным межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC-2007), глобальный поток метана в атмосферу составляет около 600 Мт/год. При этом считается, что на долю источников, связанных с различными природными механизмами эмиссии метана, приходится не более 200 Мт/год. Такой мощный источник метана как океан и газогидраты в IPCC-2007 практически совсем не принимается во

внимание. В тоже время установлено, что в арктическом регионе (севернее 66°N) потоки метана из газовых гидратов составляют около 50% от потока, а севернее 75°N поток метана из газовых гидратов является его единственным источником [Yamamoto и др., 2009]. Обращает на себя внимание тот факт, что в бюджете метана, предлагаемым (IPCC-2007), на всю гидросферу приходится 20-25 Мт\год CH_4 . На такие источники как, шельфы морей в арктической зоне по оценкам IPCC-2007 приходятся незначительная доля эмиссии метана (10-20 Мт\год).

В настоящее время ежегодное увеличение концентрации CH_4 в атмосфере составляет 0,3-1,0 %. Существует мнение, что прирост концентраций CH_4 в атмосфере, ассоциирован с антропогенной деятельностью человека. Однако указанное предположение не объясняет целый ряд особенностей поведения концентрации и потока метана в атмосферу Земли.

Глобальное увеличение концентрации и потока метана, требует дальнейшего изучения и объяснения. Расположение, характер источников и возрастание выбросов метана в настоящее время только обсуждаются. Используя результаты измерений концентраций метана в различных регионах мира, были рассчитаны [Адушкин, Кудрявцев, 2010] широтные зависимости средне годовичных значений концентраций метана в атмосфере Земли. Результаты расчётов представлены на рисунке 1.

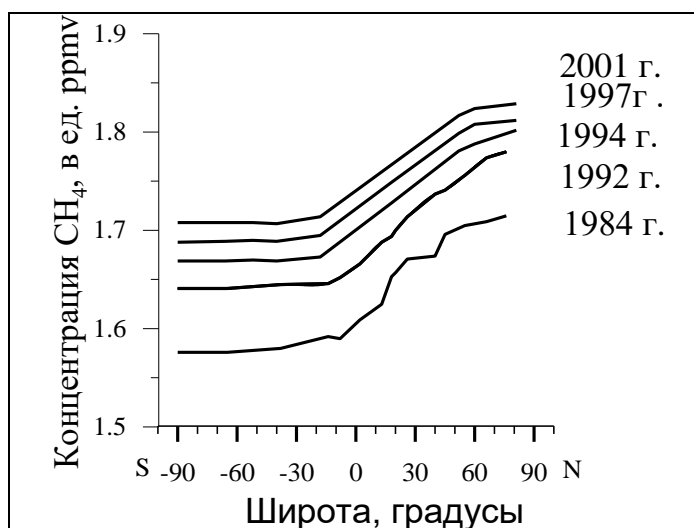


Рис. 1. Широтная зависимость концентрации CH_4

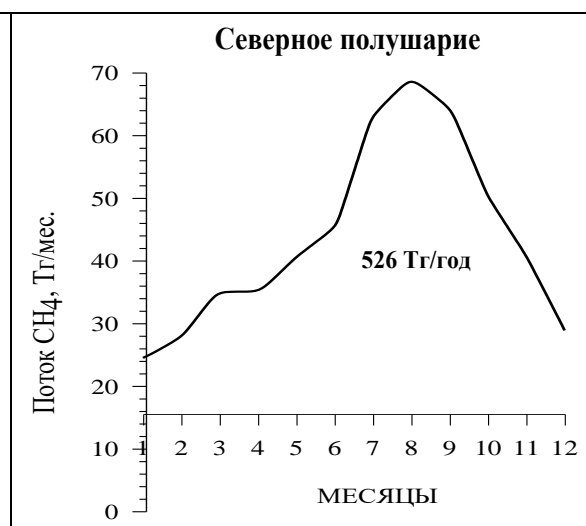


Рис. 2. Сезонная зависимость потока CH_4

Видно, что в СП концентрация метана с увеличением широты ежегодно возрастает, имея максимум в полярной зоне. При этом арктический максимум концентрации поддерживается круглогодично. Видно, что максимум CH_4 в атмосфере существует не над умеренными широтами (в полосе 20° - 60° с.ш.), а над Арктикой/Субарктикой, где

антропогенная активность относительно невелика и он не может быть объяснен циркуляцией воздушных масс.

Проведённые в работе [Адушкин, Кудрявцев, 2013] расчёты скорости изменения массы и потока метана показали, что в северном полушарии наблюдается существенная сезонная зависимость потока метана, обусловленная сезонным действием его источников. Сезонная зависимость скорости изменения потока метана в Северном полушарии представлены на рисунке №2. Видно, что максимальные потоки наблюдаются в осенний период, хотя мощность антропогенных источников на средних широтах не изменяется. Если зимой в декабре - феврале поступление метана составляет ~25 Тг/мес., то осенью в августе-сентябре он возрастает до 70 Тг/мес.

Указанные выше особенности поведения метана в атмосфере Земли невозможно объяснить с помощью антропогенной гипотезы. В частности, за счёт каких источников наблюдается значительное увеличение потока и массы метана в осенне-зимней период в атмосфере Северного полушария. Почему ежегодные максимумы концентраций находятся в полярной зоне. Однако их можно понять, если предположить, что эмиссия CH_4 в атмосферу определяется в основном природными источниками. При этом важную роль должны играть источники, расположенные в Арктике и Субарктике, которые при определённых условиях могут вносить заметный вклад в бюджет метана в атмосферу Земли. Для объяснения устойчивости осеннее - зимнего максимума концентрации метана в атмосфере высоких широт СП необходимы дополнительные, ранее не учитываемые, источники с сезонной зависимостью их мощности. Такими источниками могут быть шельфы морей Арктики и Субарктики, залежи газогидратов, тундра и термокарстовые озёра в зоне вечной мерзлоты.

В последние годы появились данные, указывающие на то, что в арктическом регионе существенный вклад в бюджет метана в атмосфере может вносить эмиссия CH_4 из зон вечной мерзлоты и термокарстовых озёр.

Подводная мерзлота мелководной части шельфа и зона вечной мерзлоты в тундре уже не играет роль запорного клапана. Результаты измерений потока метана в тундре показывают, что увеличение потоков в октябре наблюдалось во многих районах Арктики. Например, в октябре в Гренландии и Канаде, в сентябре в Финляндии и Коми. Станция мониторинга концентрации на Барроу (Аляска) ежегодно регистрирует повышенные

концентрации метана в атмосфере, максимумы, которых приходится на осенне-зимний сезон, когда наземная продукция CH_4 арктического региона постепенно прекращается.

Большой интерес вызывает гипотеза о возможности выброса значительных объемов метана со дна Северного ледовитого океана, вызванного потеплением морской воды (Archer, 2007). При определённых условиях СЛО может вносить заметный вклад в бюджет метана в атмосферу. Были получены данные, которые свидетельствуют о возможной эмиссии метана из мощного глубинного источника на арктическом шельфе. Там где субаквальная мерзлота уже деградировала, происходит катастрофический выброс метана предположительно из газогидратов [Шахова., 2009]. Некоторые из этих источников метана, не включённые в официальные данные IPCC, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Мощность некоторых арктических источников метана.

Источники метана	Поток, Тг/год	Литература
Зона вечной мерзлоты	36	Zhuang et al.2009
Озёра Сибири, Аляски	$24,2 \pm 10,5$	Walter et al. 2008
Озёра Швеции, Канады	8–48	Bastviken. 2004
Шельф Тих.Арктики	90	Шахова др.2009
Всего	158–208	–

Из таблицы видно, что только не указанные (в IPCC, 2007) источники Арктики могут вносить в бюджет СП около 158-208 Тг/год метана. В тоже время согласно данным IPCC на все природные источники Земли приходится 200 Тг/год метана, т.е. роль Арктики явно недооценен, В условиях потепления роль таких источников как эмиссия метана из зон вечной мерзлоты, озёр и шельфа морей Арктики может оказаться весьма существенной в формирование глобального потока метана.

До недавнего времени в научной литературе практически отсутствовали данные о вкладе арктического шельфового региона в формирование глобального потока метана. Работы [Shakhova et. al, 2015; Шахова, Семилетов, и др. 2009; Юрганов и др. 2016] и других содержат данные, которые позволяют предположить, что роль Мирового океана и, в частности, Северного ледовитого океана существенно недооценена. Анализ возможных источников позволил авторам работы [Сергиенко и др., 2012] сформулировать гипотезу о возможной причастности к генезису выявленных аномалий глубинных источников метана.

Возможные причины изменения концентрации метана

Подводная мерзлота мелководной части шельфа и зоны вечной мерзлоты уже не играют роль запорного клапана. Ускорившееся потепление Арктики стимулировало предположения относительно ускорения диссоциации гидратов метана в Арктике и появления новой температурной положительной обратной связи. При прогнозируемом потеплении в ближайшем будущем в несколько градусов может вскрыться такой резервуар захороненного метана, как метановые газогидраты [Сергиенко и др., 2012], а также зоны вечной мерзлоты и северные болота, которые начнут интенсивно выделять метан [Walter et al., 2007]. Следовательно, будут осуществляться положительные обратные связи, обусловленные действием увеличенного содержания метана.

Известно, что потепление Арктики происходит примерно в два раза быстрее, чем рост глобальной температуры. В Сибири и на Чукотке в период 1976–2012 гг. температура росла со скоростью 0,8–1,2°C за десять лет [Доклад об особенностях климата, 2013], то есть за указанный период среднегодовая температура в Сибири повысилась на 3-4 градуса. Повышение температуры приводит к деградации вечной мерзлоты. Кроме этого, происходит быстрое разрушение берегового ледового комплекса. В то же время, потепление оказывает мощное влияние на состояние подводной мерзлоты, которая претерпевает более значительные изменения термического режима, по сравнению с наземной мерзлотой. Все это приводит к вовлечению в современный биогеохимический цикл огромного количества органического вещества, ранее законсервированного в вечной мерзлоте на шельфе морей и СЛО.

К сожалению, систематические натурные измерения метана в атмосфере над поверхностью морей Северного Ледовитого океана до последнего времени были малочисленны или отсутствовали. Сети 5 действующих арктических атмосферных обсерваторий, Барроу (Аляска, США), Эврика и Алерт (Канада), Цеппелин (Шпицберген), Тикси (ГМО. РФ), а также экспедиционных и самолётных измерений явно недостаточно для получения данных о метане в нижней атмосфере над Арктикой и его изменчивости как сезонной, так и межгодовой. Естественные источники метана распределены в пространстве и времени неравномерно, и их интенсивность может быть самой разной, вплоть до залповых выбросов. В этих условиях важную роль играют спутниковые измерения излучения Земли и атмосферы в круглогодичном исследовании эмиссии метана в Арктике.

В Таблице 2 представлена среднегодовая скорость эмиссии метана в атмосферу из локальных арктических источников полученная при помощи дистанционного зондирования земли из космоса. [Юрганов и др., 2016].

Таблица №2 Среднегодовая скорость эмиссии метана в атмосферу из локальных арктических источников (Юрганов и др. Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2)

	МВА	МЗА	СЛО	ЗСН	Аляска	Аркт. Суша>60° с.ш.
Площадь млн.км ²	1,4	4,7	12,1	2,3	1,72	17,2
Эмиссия Мт/год	6,1	33,3	48,5	22,0	6,7	70,7

Здесь МВА – моря восточной Арктики, МЗА – моря западной Арктики, СЛО – Северный ледовитый океан, ЗСН – западно-сибирская низменность, и суша на широте более 60°.

Принято считать, что подавляющая часть всех источников метана сосредоточена на суше (AMAP Assessment, 2015). Однако в случае Северного Ледовитого океана существует большая неопределенность, связанная с экспериментальными трудностями измерений, особенно в холодный период года. Так, согласно (AMAP Assessment, 2015), диапазон оценок эмиссии метана от СЛО составляет от 1 до 10 Мт метана в год, т.е. практически на порядок меньше спутниковых данных (70,7 Мт/год). Постоянные измерения концентраций метана на 3–4 прибрежных станциях недостаточны для надежных оценок вклада огромных площадей океана. Самолетные и корабельные (Shakhova et al., 2015) измерения над океаном носят эпизодический характер. Между тем, оценки в бюджет метана выбросов значительных объемов со дна СЛО, вызванных потеплением морской воды (Archer, 2007) важны для понимания причин увеличения глобальной концентрации метана в атмосфере и как следствие потепления. Диссоциация даже небольшой доли гидратов метана в условиях современного потепления Арктики способна существенно повысить его концентрацию в атмосфере. Это может привести к добавочному нагреву воздуха вследствие парникового эффекта и к положительной обратной температурной связи.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ наземных, морских и спутниковых измерений потоков метана показывает, что увеличение концентрации метана в СП в основном определяется его эмиссией из природных источников.

Эмиссия из таких резервуаров захороненного метана в арктической зоне, как метановые газогидраты, зоны вечной мерзлоты, тундры, озёра и северные болота может

заметно превысить мощность антропогенных источников в Северном полушарии. При этом указанные выше механизмы имеют положительную зависимость от температуры.

Включение при повышении температуры, механизмов по высвобождению метана из естественных резервуаров приводит к еще большему накоплению метана в атмосфере Земли и как следствие к ещё большему потеплению. При этом увеличение эмиссии метана из антропогенных источников нужно рассматриваться, как своеобразный спусковой крючок, который запускает значительно более мощные процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Кудрявцев В.П. Глобальный поток метана в атмосферу и его сезонные вариации // Известия РАН. Физика Земли. 2010. Т. 46. № 4. С. 350-357.
2. Адушкин В.В., Кудрявцев В.П. Оценка глобального потока метана в атмосферу и его сезонных вариаций // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 2. С. 144.
3. AMAP Assessment 2015: Methane as an Arctic climate forcer: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2015. Oslo, Norway. 139 p. ISBN 978-82-7971-091-2.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2012 год / Под ред. А.И. Бедрицкого и др. М.: Росгидромет, 2013. 83 с.
5. IPCC 2007. Climate Change 2007: //The Physical Science Basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK and New York, USA.
6. Сергиенко В.И., Дударев О.В., Дмитриевский Н.Н. и др. Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: Некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // Докл. РАН. 2012. № 3. С. 330–335.
7. Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Семилетов И.П. Вклад восточно-сибирского шельфа в современный цикл метана // Вестник РАН. 2009. Т. 79. № 6. С. 507-518.
8. 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.
9. Bastviken, D., J. Cole, M. Pace, and L. Tranvik (2004), Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, Global Biogeochem. Cycles, 18, GB4009, doi:10.1029/2004GB002238.

10. *Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., et al.* The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // Transactions of the Royal Society A. 2015. Vol. 373..
11. *Walter K.M., Chanton J.P., Chapin F.S. III et al.* Methane production and bubble emissions from arctic lakes: Isotopic implications for source pathways and ages //J. Geophys. Res. 2008.V. 113.G00A08. P. 1-16.
12. *Yamamoto A., Yamanaka Y., Tajika E.* Modeling of methane bubbles released from large seafloor area: Condition required for methane emission to the atmosphere // Earth Planet. Sci. Lett. 2009. V. 284. P. 590–598.
13. *Zhuang Q., Melack J. M., Zimov S. et al.* Global methane emissions from wetlands, rice paddies, and lakes.//Eos. 2009. V. 90. No. 5.P. 37-38.