УДК 551.510.4(571.56+571.65)

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ АТМОСФЕРНОГО МЕТАНА В ЦИРКУМТИХООКЕАНСКОЙ ОБЛАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

© 2015 В.Е. Глотов, Л.П. Глотова

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. акад. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан

Поступила в редакцию 20.04.2015

Материалы газогеохимических исследований в Циркумтихоокеанской области криолитозоны на Северо-Востоке России, выполненные в конце 20-го – начале 21 вв., позволили охарактеризовать естественные источники атмосферного метана в данном регионе. В их числе: выходы свободных газов на угле- и нефтегазоносных площадях, эмиссия метана из сезонно-талого слоя, из озер и слабопроточных речных рукавов. Общая площадь районов, участвующих в формировании основного объема метана, поступающего в атмосферу, около 150 тыс. км^2. С этой площади поступает в тропосферу метана около 0,3 Тг или 42,1·10^7 м^3/год. Основной производитель метана – донные отложения озер, прежде всего, термокарстовых. Отмечено, что значительная часть годового объема метана уходит в атмосферу в начале теплого периода года при таянии льда водоемов и водотоков. Высказано мнение, что подобный режим эмиссии метана в атмосферу свойственен всем областям криолитозоны.

Ключевые слова: *Северо-Восток России, Циркумтихоокеанская область, криолитозона, атмосферный метан, термокарстовое озеро, тундра*

В последние десятилетия наметилась активизация научных исследований по выявлению закономерностей поступления в атмосферу Земли так называемых парниковых газов, которые обладают высокой прозрачностью в видимом диапазоне и большим поглощением в дальнем инфракрасном, что способствует накоплению тепла в тропосфере (парниковый эффект). К числу основных парниковых газов относится метан. Его современное содержание оценивается величиной в 1751 части на 10^9 частей по объему (1751 ppbv). В отечественной литературе содержание газов в газовой смеси оценивается в объемных процентах (%об.). В этой единице измерения концентрация метана в атмосфере в приземном слое составляет 1,751·10^{-4} %об. [13]. Газогеохимия метана изучается преимущественно на побережье и шельфе арктических морей. Открытые здесь закономерности в прогнозных оценках распространяются на всю площадь криолитозоны [11]. Однако ранее было показано, что в пределах криолитозоны следует рассматривать две области влияния океанов на историю ее формирования и современного состояния – Циркумарктическую (ЦАО) и Циркумтихоокеанскую (ЦТО), разделенные Главным водоразделом Земли (ГВЗ). Эти области на Северо-Востоке РФ имеют и четкие геологические различия [1]. Различия ЦАО и ЦТО по климату, мерзлотно-гидрогеологическим условиям, геологическому строению позволяют предполагать, что и газогеохимия метана в этих областях различна. Однако эти различия до сих пор в печати не освещены.

Цель работы: – охарактеризовать основные источники атмосферного метана в пределах Циркумтихоокеанской мерзлотно-гидрогеологической области, выявить закономерности поступления его из недр в атмосферу.

Материалы для достижения поставленной цели получены авторами статьи в последней четверти 20 в. и первом десятилетии 21 в. при газогеохимических работах, связанных с поисками месторождений нефти и газа на северо-востоке России, а также при изучении подземных вод и нерудных полезных ископаемых на побережье Тауйской губы Охотского моря. Надо заметить, что газогеохимические работы при нефтегазопоисковых работах прекратились в 1994 г. и до сих пор не возобновлены. По этой причине полученные нами материалы являются наиболее полными и представительными. Работы выполнялись как в теплое время года, так и круглогодично на стационарах в центральной части Анадырской низменности в 1986-1987 гг. и в Нижне-Арманской, открытой в Охотское

Глотов Владимир Егорович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геофизики. E-mail: geoecol@neisri.ru
Глотова Людмила Петровна, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геофизики. E-mail: glotova@neisri.ru

море, в 1990-1994 гг. Пробы газа отбирались стандартными способами, анализ их осуществлялся на хроматографе ЛХМ-8 с совмещенными детекторами по теплопроводности и по ионизации в пламени. Разделение газов (азот, кислород, водород, метан) осуществляли в колонке с молекулярными ситами 5Å зернением 80-100 меш. Определение состава и количества сорбированных грунтами компонентов, в том числе почвой, торфом, осуществлялся на хроматографе ЦВЕТ-102. Все анализы выполнялись под руководством О.В. Щербаня. Всего нами было отобрано и проанализировано более 4500 проб газа из приземного слоя атмосферы, из «сухих» выходов и водорасворенного, взятого из сезонно-талого слоя и многолетнемерзлых пород, подземного озерного и сезонного льда. Также привлекались опубликованные материалы других исследователей, указанные с списке работ, и данные рукописных отчетов, составленных геологами бывших производственно-геологических объединений (ПГО) – Северо-Восточного, Сахалинского и Камчатского, треста «Дальвостуглеразведка».

Общая характеристика объекта исследований. ЦТО в пределах Северо-Востока России имеет общую площадь около 760 тыс. км^2 (рис. 1). Она является слабо освоенной окраиной с плотностью населения около 0,2 чел. на 1 км^2. Общая длина постоянных автодорог не более 500 км. Промышленные предприятия и сельхозугодия, требующие полива, отсутствуют. Можно с полной уверенностью сказать, что значимых антропогенных источников метана на площади ЦТО нет.

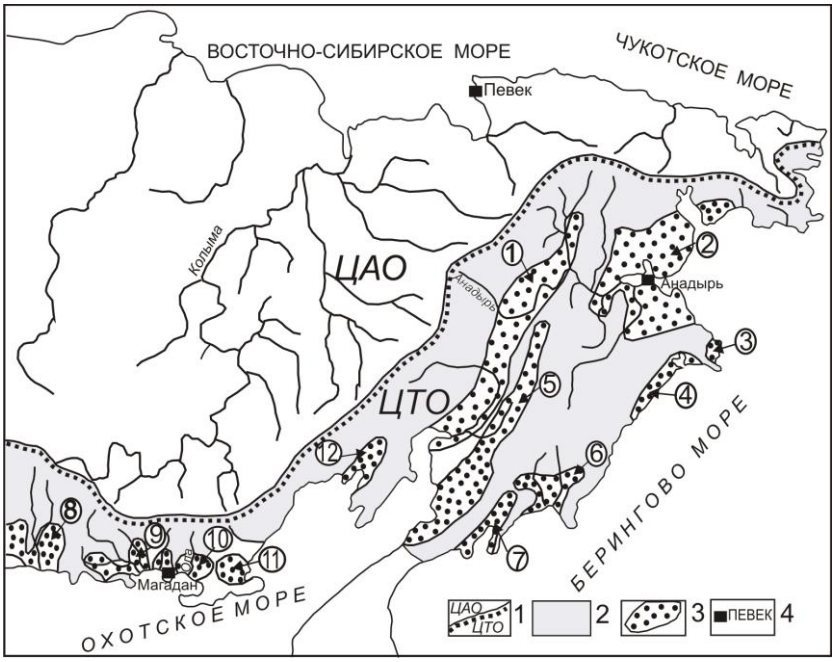

Рис. 1. Схематическая карта Циркумтихоокеанской гидрогеологической области:
1 – Главный водораздел Земли (ЦАО – Циркумарктическая область, ЦТО – Циркумтихоокеанская область); 2 – горные районы; 3 – наиболее крупные низины, в том числе (в кружочках): 1 – Пенжинская, 2 – Анадырская, 3 – Беринговская, 4 – Хатырская, 5 – Пусторецкая, 6 – Олюторская, 7 – Ильпинская, 8 – Охотская, 9 – Тауйская, 10 – Ольская, 11 – Ямская, 12 – Гижигинская, 13 – Западно-Камчатская; 4 – основные населенные пункты

Климат повсеместно холодный с чертами морского на побережьях и континентального по удалении от морей на несколько десятков километров. Среднегодовая температура воздуха отрицательная, меняясь от -2,5°С на побережье Охотского моря до -10°С в верховьях рек Пенжина и Анадырь. Длительность холодного периода года 7-7,5 месяцев.

Рельеф ЦТО преимущественно гористый. Наиболее распространены низкогорья с выположенными водоразделами, отметками вершин до 1200 м. Локально возвышаются среднегорные массивы и хребты. Суммарно гористый рельеф занимает около 600 тыс. км^2 ЦТО. На площади 150-160 тыс. км^2 развиты выположенные затундрованные пространства: грабен-долины, межгорные малые и рифтогенные впадины.

В геологическом строении ЦТО принимают участие террейны Охотско-Корякского юрско-раннемелового и Корякского раннемелого орогенных поясов. На террейны орогенных поясов наложены рифтогенные осадочные бассейны (ОБ) Пенжинско-Анадырской, включая Хатырский и Беринговский, и Гижигинско-Охотской

систем. Эти ОБ в позднем мезозое и кайнозое являлись объектами накопления осадочных пород мощностью от нескольких сот до 3-4 тыс. м. Они перспективны для поисков нефти, газа, угля, торфа. В современном рельефе эти впадины представлены низменностями или межгорными впадинами.

В геокриологическом отношении на обширных площадях в ЦТО развита слабопрерывистая и прерывистая криолитозона, которую мы рассматриваем как криогенный водоупор (КВ). Водораздельные пространства проморожены до глубины 450-500 м. В речных долинах под днищами непромерзающих озер формируются сквозные талики, по которым осуществляется свободный водогазообмен недр с атмосферой. Общая площадь сквозных таликов возрастает от 5-8% в зоне слабопрерывистой криолитозоны до 30% в прерывистой, участками островной. Во впадинах южнее 60° с.ш. характер криолитозоны островной, площадь сквозных таликов более 30%.

Изложенные основные характеристики ЦТО определяют специфику сингенетичного образования метана в недрах и его эмиссии в атмосферу. Достаточно обоснованно можно выделить два района, различные по масштабам генерации метана и его выделения в атмосферу.

Районы гористые отличаются развитием плоскогорий, нагорий, хребтов с альпинотипным рельефом. На горных склонах крутизной от 15-20° и более развиты грубообломочные делювиально-элювиальные отложения, бедные захороненным органическим веществом. Большую часть года эти образования находятся в многолетнемерзлом состоянии. Подстилающие мерзлые осадочные породы, слагающие террейны, литифицированы до уровня начальных фаций регионального метаморфизма или представлены разнообразными туфами и магматическими образованиями. В силу этих обстоятельств метаногенез в них или затруднен, или не осуществляется. Можно обоснованно предположить, что орогенные пояса, на площади которых (около 600 тыс. км^2) развит гористый рельеф, в пополнении ресурса метана в атмосфере не участвуют.

Районы низменные в геологическом отношении являются впадинами или прогибами. Это ОБ, межгорные впадины и грабен-долины, заполненные преимущественно осадочными отложениями со скоплениями захороненного органического вещества – торфа, бурого и каменного угля, нефти, газа. Обычно их поверхность – плоская низина, иногда холмистая, с болотами, тундрой или лесотундрой и множества озер, чаще всего термокарстовых. Наиболее крупные из них: Анадырская с площадью около 30 тыс. км^2, Пенжинская – около 25 тыс. км^2, Пусторецкая – около 22 тыс. км^2, Хатырская – около 5 тыс. км^2, Марковская – около 1 тыс. км^2 и т.д. Суммарная площадь низменных районов в ЦТО около 150 тыс. км^2.

Источники атмосферного метана в низменных районах разнообразны. В ОБ, которые проявляли тектоническую активность в четвертичное время (Хатырский, Беринговский, Пусторецкий), отмечены выходы свободных газовых струй – «сухих» или совместно с источниками подземных вод. Метан в виде газовых пузырьков или газовых струй выделяется в теплое время года с поверхности озер и речных проток. Он может диффундировать в атмосферу из сезонно-талового слоя (СТС) тундры и лесотундры, выделяться в виде мелких пузырьков при таянии сезонных льдов озер и речных проток.

Свободные газовые струи наиболее заметны и изучены достаточно хорошо, В Хатырском ОБ при нефтегазопоисковых работах выявлено 78 групп таких источников [6]. С сероводородными источниками связаны свободные выделения газа с содержанием метана от 70 до 97,7 об.%, в среднем 80 об.%. Суммарный дебит газовых струй около 90 м^3/сут. При этом в атмосферу поступает метана около 72 м^3/сут. или 26,3 тыс. м^3/год. Струи свободных газов выявлены в зонах надвигов по долинам рек Кулькай, Нейвытвырвеем, у подножия Именейских гор. Дебиты газовых струй от 11 до 112 м^3/сут., суммарно 153 м^3/сут. или около 56 тыс. м^3/час. Содержание метана в газовых струях 96-99 об.%, в среднем принимаем 97,5 об.%. Следовательно, выброс метана в атмосферу около 55 тыс. м^3/год. Таким образом, с площади Хатырской впадины (5 тыс. км^2) за год в атмосферу поступает около 16 м^3 CH_4/год·км^2.

На территории Беринговского (площадь около 3 тыс. км^2) и Пусторецкого ОБ (Кинкильский – около 22 тыс. км^2) источники сероводородных вод и свободных газов не изучены. По имеющимся материалам [2], геологическое строение, характер рельефа, мерзлотно-гидрогеологические условия упомянутых ОБ сходны с Хатырским ОБ. Соответственно, эмиссию метана в атмосферу с площади трех ОБ, суммарно с 25 тыс. км^2, при удельном расходе метана в 16 м^3 CH_4/год·км^2 можно оценить в 480 тыс. м^3/год.

ОБ, грабен-долины и межгорные впадины, стабильные в четвертичное время или преимущественно погружающиеся в неотектонический этап, имеют общую площадь около 120 тыс. км^2.

Они представлены тундрой и лесотундрой с повсеместным развитием многолетнемерзлых пород (ММП), которые рассматриваются как криогенные водоупоры (КВ). Сквозные талики существуют под руслами и в поймах водотоков. При наличии слабоводогазопроницаемых, главным образом глинистых, пород в составе осадочных дегазация подмерзлотных горизонтов возможна только в режиме диффузионного массопереноса. Этому способствует и температура КВ, которая в ярусе годовых теплооборотов обычно выше -4,5°С [3]. Следовательно, в мерзлых породах имеются пленочные воды, в составе которых мигрируют и газы.

Озера и слабопроточные речные рукава (далее – *озера*) являются одним из значимых производителей метана, поступающего в атмосферу. В теплое время года воды озер из-за интенсивности ветрового перемешивания насыщены кислородом с поверхности до дна. Но в придонных отложениях, представленных пелитами или торфом, сохраняется восстановительная обстановка, благоприятная для генерации метана бактериями (табл. 1).

Таблица 1. Результаты микробиологического и газового анализа субстратов дна озер Анадырской низменности [4] (анализы выполнены в лаборатории ВНИИ ЯГГ, 1972 г.)

Содержание бактерий, баллы		**Состав газа, объемные %**			
метанообразующие	водородообразующие	CH_4	CO_2	O_2	N_2+Р.Г.
0,5	1,5	61	1,24	2,27	35,5
2,5	1	71,6	0,81	0,92	25,7
0,3	0,5	53,8	0,57	1,8	43,8
0,2	3	76,7	1,09	1,72	20,5

Генерируемый бактериями метан накапливается под уплотненными дернинами, плоскими щебенками, крупными растительными остатками и выделяется в виде струй к дневной поверхности озер. Интенсивность такого выделения, по наблюдениям в озерах на северном побережье Охотского моря и в Анадырском ОБ, составляет примерно 5 см^3/м^2 в сут. С 1 км^2 озерной поверхности поступает в атмосферу около 0,2 м^3/сут. при среднем содержании метана 54 об.%. Общая площадь озер составляет примерно 30% от площади низин. Эмиссия метана из них в атмосферу составит 4860 м^3/сут., а за 5 теплых месяцев – 7,4·10^4 м^3.

В начале октября с наступлением холодного периода формируется ледовый покров, достигающий максимальной мощности 1,7 м к январю. Подо льдом в восстановительной среде активизируется бактериальная деятельность. Метан, генерируемый в донных отложениях, насыщает подледный слой воды. Этот газ образует газообразные включения во льду. Из-за множества мелких пузырьков газа лед на промерзающих озерах обычно непрозрачный. Пористость озерного льда в среднем 10 см^3/кг. Толщина льда в апреле, определенная нами при бурении скважин для взрывных работ в Анадырском ОБ, равна 1,75 м. При этой толщине суммарный объем льда составит около 79·10^9 м^3, вес его примерно 72·10^9 т. При газосодержании 10 см^3/кг общая газонасыщенность 72·10^7 м^3. Среднее содержание метана в газе льда 58 об.%, общий объем этого газа 42·10^7 м^3. В составе газа, взятого из промерзающих озер, возрастает концентрация CO_2 до 37%. Генерируемый газ пополняется за счет микровыделений газа из воды, поэтому сезонный ледовый покров является надежным аккумулятором генерируемого в озерах газа. Этот газ, сконцентрированный в свободных скоплениях (пузырьках) за 7-месячный холодный период года при таянии ледового покрова полностью выделяется в атмосферу на протяжении не более 30 суток. При этом интенсивность поступления метана в атмосферу составит около 1,4·10^7 м^3/сут.

Роль СТС в обогащении приземных слоев атмосферы метаном изучена слабо, но, видимо, она значительно меняется в зависимости от ландшафтных, климатических, гидрогеологических ситуаций. Результаты наших режимных наблюдений, проведенных в 1980-х и 1990-х гг., за составом газов, образуемых в СТС в тундре и лесотундре Охотско-Анадырской системы впадин, показал, что газогеохимические обстановки в приземных слоях атмосферы и в СТС в значительной степени связаны с температурой грунтов, фазовым состоянием воды, окислительно-восстановительным потенциалом [6, 7]. Поэтому интенсивность выделения метана из СТС в атмосферу в течение теплого сезона года (152 дня) меняется. Наибольших значений содержание метана в приземном слое отмечено в начале оттаивания, минимальные – в конце теплого сезона – начале холодного. На локальных участках выхода угольного пласта в приповерхностный слой максимальные значения этого

показателя установлены в конце теплого периода года [10]. Данный факт нуждается в дополнительном изучении.

Закономерность максимального сброса метана в атмосферу при оттаивании СТС обусловлена изменениями геохимической среды и сорбционной емкости сезонно-талых образований при переходе температур от положительных к отрицательным. В оттаивающем СТС господствует окислительная среда, обусловленная питанием подземных вод атмосферными осадками. С началом холодного периода (конец сентября – начало октября) и образованием приповерхностного мерзлого слоя почвы в СТС формируется восстановительная обстановка, благоприятная для функционирования УВГ-генерирующих бактерий, прежде всего метанпроизводящих. Существование последних в мерзлых породах доказано рядом работ [5, 12]. За счет жизнедеятельности бактерий восстановительной среды (археи) за время промерзания СТС в свободных газах накапливаются H_2, CO_2, CH_4. Содержание метана в промерзающих грунтах возрастает многократно, в отдельных случаях до 5-6 об.% [7].

Промерзание в северных районах ЦТО завершается в конце ноября, в южных на охотоморском побережье – в конце декабря. На участках, перспективных на уголь, нефть или газ, миграция углеводородных газов (УВГ) происходит из подмерзлотных слоев в СТС и при полном его промерзании [9]. Процесс, возможно, осуществляется по контакту льда-цемента с минеральными частицами при участии пленочных вод [8]. По этой причине существует зависимость миграции газов от температуры грунтов. Возможно, охлаждение их в приповерхностном слое на глубине в первые десятки сантиметров до температуры ниже -7°С препятствует диффузии газов из-за вымерзания пленочных вод, и происходит накопление этих газов в течение холодного периода года. Это было отмечено при изучении газоносности приповерхностного слоя в Анадырском ОБ (табл. 2).

Таблица 2. Содержание УВГ (среднеарифметическое, в $n \cdot 10^{-3}$ см^2/кг) в СТС на нефтегазоносных площадях Анадырского ОБ

Грунты*	**ноябрь 1986 г.**		**апрель 1987 г.**	
	метан (CH_4)	$CH_4+C_2H_6/C_3H_8+C_4H_{10}$	метан (CH_4)	$CH_4+C_2H_6/C_3H_8+C_4H_{10}$
торф	98,8	35,6	809,7	60,8
суглинок	66,8	7	221,5	17,6
супесь	5,1	-	123,66	8,3

*Примечание:** - пробы взяты с глубины сезонного промерзания

Таким образом, СТС в холодный период года является аккумулятором метана (и других газов), который, видимо, частично сбрасывается в снежный покров. Содержание метана в этом покрове на отдельный участках достигает $11{,}8 \cdot 10^{-3}$ см^3/дм^3, реже, на аномальных участках, до $25 \cdot 10^{-3}$ см^3/дм^3 [14]. Как известно, растворимость метана в дистиллированной воде при температуре 0°С равно 48,9 см^3/дм^3. Следовательно, талая вода резко недонасыщена метаном, в силу чего процесс разрушения снежного покрова не сопровождается эмиссией накопленного метана в атмосферу. Снежный покров можно рассматривать как фильтр по отношению к газам, мигрирующим в атмосферу из СТС.

Как известно, оттаиванию льдистых пород, повышению их температуры выше 0°С предшествует формирование слоя нулевой завесы, в которой грунты имеют температуру 0°С, но вода находится в твердой фазе. Повышение температуры от отрицательной до 0°С сопровождается потерей сорбированных газов. Не исключен и распад метаногидратов, рассеянных в СТС. При температуре 0°С метаноокисляющие бактерии не оказывают влияния на сброс метана в атмосферу. Так, на площади перспективного в нефтегазоносном отношении Анадырского бассейна в утренние часы с 02 по 12 июня 1987 г. концентрация метана в приземном слое атмосферы (в 0,2 м над поверхностью тундры) при мерзлом СТС составила 0,03-0,04 об.%. К 26 июня 1987 г. она понизилась до $2 \cdot 10^{-3}$ об.%. В последующие три месяца упала до уровня $n \cdot 10^{-4}$ об.% и ниже [15]. Эмиссия метана в атмосферу в июне была в среднем нами оценена в $2 \cdot 10^{-4}$ м^3/км^2·сут. После достижения глубины оттаивания ниже 20 см и формирования сезонно-водоносного слоя поток метана в атмосферу уменьшился до $2 \cdot 10^{-6}$ м^3. Приняв площадь тундры и лесотундры равной площади низменных районов, оцениваем эмиссию метана в атмосферу за время становления СТС (30 суток) в 900 м^3. В последующие дни теплого периода (122 дня) поступление метана в атмосферу составит 37 м^3, суммарное поступление с поверхности низменных районов ЦТО приведено в табл. 3.

Таблица 3. Интенсивность эмиссии метана в атмосферу из естественных источников

Источники метана, длительность функционирования	**Площадь эмиссии метана, км^2**	**Интенсивность эмиссии в атмосферу, м^3**	
		суточная, м^{3}сут.·км^2	за время функционирования источника в течение года, м^3
постоянно действующие			
выделение метана в свободных газовых струях и вместе с водой сероводородных источников за год	30 000	16	$1752 \cdot 10^5$
сезонно действующие			
эмиссия из СТС за 30 суток в начале теплого периода года	150 000	$2 \cdot 10^{-4}$	900
сброс метана из СТС за 122 суток	150 000	$2 \cdot 10^{-6}$	37
сброс метана из тающего ледового покрова озер за 30 суток	45 000	-	$42 \cdot 10^7$
эмиссия метана с поверхности озер в теплое время года за 152 суток	45 000	0,2	$1{,}4 \cdot 10^6$
Всего			$42{,}1 \cdot 10^7$

При массе 1 м^3 метана в 717 г расчетный объем оценивается в 0,31 Тг. Для сравнения укажем, что эмиссия метана в атмосферу с поверхности западносибирских болот достигает 20 Тг при площади их примерно в 7 раз больше площади рассматриваемых озер ЦТО.

Обсуждение результатов исследования. Полученные данные представляют научно-прак-тический интерес в том отношении, что в криолитозоне на территории влияния Тихого океана основным генератором метана, поступающего в атмосферу, являются озера, а также слабопроточные речные рукава. Надо заметить, что болота, т.е. избыточно увлажненные земли с мощностью накопленного торфа свыше 0,5 м, в криолитозоне проморожены и сезонно оттаивают до глубины в среднем 0,5 м. Это отличает их от болот во внемерзлотных районах, где в торфогенном слое и ниже его существует восстановительная обстановка, благоприятная для жизнедеятельности бактерий в течение года. В СТС в талом состоянии господствует окислительная обстановка, при которой преобладает окисление углеводородных газов, в том числе и в тундре. Жизнедеятельность метангенерирующих бактерий возможна только при промерзании СТС, но длительность этого периода не более 3 месяцев при прогрессирующем сокращении объема талых образований и температуре их около 0°С. Следовательно, процесс генерации метана в СТС, как и его возможная зимняя аккумуляция на нефтегазоносных площадях, имеет геохимии-ческое значение, но слабо влияет на содержание этого газа в атмосфере. В этом отношении естественные потоки метана из недр на перспективных нефтегазоносных площадях суммарно представляют более значимый объект, однако и его значимость не следует преувеличивать. Как следует из результатов наших исследований, реальными «производителями» метана с последующей его эмиссией в атмосферу являются водоемы и слабопроточные участки рек. Во всех предшествующих работах не уделялось внимание тому факту, что более полугода водотоки и водоемы закрыты льдом, который аккумулирует газы, производимые бактериями, как в своей толще, так и непромерзающей подледной воде или в подледных донных, обычно органогенных образованиях. При этом ледовый покров является основной причиной возникновения восстановительной обстановки в подледной среде, где активизируется деятельность бактерий, генерирующих метан, водород, углекислый газ. Сброс накопленных за зимний период парниковых газов происходит не более чем за месяц. В пределах северного полушария данный процесс может формировать весеннее возрастание метана в тропосфере. Можно полагать, что описанные особенности функционирования источников атмосферного метана в ЦТО на Северо-Востоке России сходны с процессами генерации и эмиссии парниковых газов и во всех других областях криолитозоны.

Выводы: обобщение материалов газогеохимических исследовании, проведенных в основном в последней четверти 20-го столетия, показывают, что реально значимым источником атмосферного метана в низменных районах ЦТО Северо-Востока России являются озера, преимущественно термокарстовые. Изучение годовой эмиссии метана в холодных регионах Земли должно проводиться с учетом сезонных изменений режима генерации парниковых газов в приповерхностных слоях и сброса их в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Белый, В.Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 76 с.
2. *Воронков, Ю.С.* Кинкильский бассейн / *Ю.С. Воронков, Е.И. Кудрявцева* // Осадочные бассейны Дальнего Востока СССР и перспективы их нефтегазоносности / отв. ред. *Ю.С. Воронкова*. – Л.: Недра, 1987. С. 197-201.
3. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / под ред. *Э.Д. Ершова*. – М.: Недра, 1989. 515 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. 26. Северо-Восток СССР. – М.: Недра, 1972. 297 с.
5. *Гиличинский, Д.А.* Итоги фундаментальных исследований криосферы Земли в Арктике и Субарктике: мат-лы Междунар. конф. в Пущино 23-26.04.1996 г. – Новосибирск: СО «Наука», 1997. 351 с.
6. *Глотов, В.Е.* Газогидрогеохимические изменения в сезонно-талом слое на Северо-Востоке СССР // Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования: сб. науч. статей / отв. ред. *Н.П. Анисимова*. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1989. С. 33-46.
7. *Глотов, В.Е.* Газогеохимическая цикличность в сезонно-талом слое низменностей криолитозоны // ДАН СССР. 1992. Т. 325. № 1. С. 150-152.
8. *Глотов, В.Е.* Миграция углеводородов через толщу многолетнемерзлых пород / *В.Е. Глотов, В.В. Иванов, Н.А. Шило* // ДАН СССР. 1985. Т. 285. № 6. С. 1443-1446.
9. *Глотов, В.Е.* Нестационарность газогеохимических полей в сезонно-талом слое осадочных бассейнов Северо-Востока России / *В.Е. Глотов, О.В. Щербань* // Наземные геохимические исследования при поисках месторождений нефти и газа. – М.: ВНИИГеоинформсистем, 1987. С. 84-90.
10. *Гресов, А.И.* Геоструктурные закономерности распределения мерзлоты в углегазоносных бассейнах Северо-Востока России / *А.И. Гресов, А.И. Обжиров, А.В. Яцук* // Криосфера Земли. 2014. Т. 18. № 1. С. 3-11.
11. *Кароль, И.Л.* Атмосферный метан и глобальный климат / *И.Л. Кароль, А.А. Киселев* // Природа. 2004. № 7. С. 47-52.
12. *Ривкин, Е.В.* Метан в вечномерзлых отложениях Северо-восточного сектора Арктики / *Е.В. Ривкин, Г.Н. Краев, К.В. Кривушин* и др. // Криосфера Земли. 2008. Т. Ч. № 2. С. 25-41.
13. Содержание метана в атмосфере Земли. 2015 // http: // yandsearch?lr=798.text
14. *Федоров, В.И.* Опыт применения газогеохимической съемки по снежному покрову в районе Западной Якутии / *В.И. Федоров, В.И. Краевский* // Наземные геохимические исследования при поисках месторождений нефти и газа. – М.: ВНИИинформсистем, 1987. С. 56-61.
15. *Glotov, V.E.* Gas-geochemical prospecting for oil and gas in the NE USSR // England. Petrol. Geol. July, 1992. Vol. 15 (3). P. 345-358.

NATURAL SOURCES OF ATMOSPHERIC METHANE IN CIRKUMPACIFIC REGION OF CRYOLITHOZONE (NORTH-EAST OF RUSSIA)

© 2015 V .E. Glotov, L.P. Glotova

North-East Complex Scientific Research Institute named after acad. N.A. Shilo FEB RAS, Magadan

The materials of geochemical studies in the Circumpacific region of the Cryolithozone in the North-East of Russia, made in the late 20th - early 21st centuries, allowed to characterize the natural sources of atmospheric methane in the given region. Among them: the output of free gas for coal and oil and gas areas, the emission of methane from the seasonally thawed layer of lakes and river flow weakly sleeves. The total area lan-sponding to the formation of the main volum of methane, released into the atmosphere about 150 thousand. km^3. From this area enters the troposphere, the scope of methane about 0.3 Tg or 42,1·10^7 m^3/year. The main producer of methane - bottom formation of lakes, primarily thermokarst. Noted that almost all of the annual methane escapes into the atmosphere at the beginning of the warm period of the year when melting ice ponds and streams. Suggested that a similar mode of methane emissions into the atmosphere peculiar to all areas of the permafrost zone.

Key words: *North-East of Russia, Cirkumpacific region, permafrost, atmospheric methane, methane sources, thermokarst lakes, tundra*

Vladimir Glotov, Doctor of Geology and Mineralogy, Main Research Fellow at the Laboratory of Regional Geology and Geophysics. E-mail: geoecol@neisri.ru
Lyudmila Glotova, Senior Research Fellow at the Laboratory of Regional Geology and Geophysics. E-mail: glotova@neisri.ru