

УДК 631.41

М. В. Глаголев, И. Е. Клепцова, В. С. Казанцев, И. В. Филиппов, Т. Мачида, Ш. Ш. Максютов

ЭМИССИЯ МЕТАНА ИЗ ТИПИЧНЫХ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: К «СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ» ВС5

Измерены удельные потоки метана, характерные для некоторых болотных ландшафтов лесостепной зоны Западной Сибири. В эвтрофных болотах лесостепи удельные потоки CH_4 очень близки к таковым в подтайге, и распределение вероятности удельного потока метана имеет следующие параметры: 1-я квартиль / медиана / 3-я квартиль = 0.53 / 1.99 / 6.03 $\text{мгС CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Также близки и потоки из внутриболотных озер: как и в подтайге, это – десятки или первые сотни $\text{мгС CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Распределение вероятности удельного потока в рямах: 0.00 / 0.09 / 0.21 $\text{мгС CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. На основании модели Вс5 годовая эмиссия CH_4 из лесостепи Западной Сибири оценена величиной 0.36 Мт CH_4 /год, что составляет лишь 5 % региональной эмиссии.

Ключевые слова: эмиссия метана, болота, Западная Сибирь, лесостепь.

Введение

Интерес к изучению эмиссии CH_4 обусловлен значительным влиянием этого газа на фотохимию атмосферы и глобальное изменение климата. Хотя концентрация CH_4 в атмосфере существенно меньше, чем CO_2 , но по величине прямого потенциала глобального потепления метан в 39 раз (для периода 20 лет) превышает углекислый газ [1].

Болота – основной естественный источник CH_4 , дающий по оценкам IPCC 115 Мт CH_4 /год, что составляет около 22 % глобальной эмиссии метана или около 70 % эмиссии из всех природных источников [2]. В этом плане особый интерес представляет Западная Сибирь, так как болотные ландшафты занимают здесь в среднем около 27 % общей площади региона [3], делая эту территорию экстремально заболоченной (заболоченность может возрастать в болотных областях до 50 %, а в более мелких пространственных единицах – округах – даже до 80 %, как, например, это имеет место соответственно в Западно-Сибирской лесотундровой области пребореально-бореальных болот и Сургутско-Полесском округе северогаечных болот [4]).

Однако, несмотря на важность Западной Сибири в «проблеме метана», огромная (на порядок!) разница в оценках эмиссии CH_4 с этой территории, даваемых разными авторами (анализ основных оценок и литературный обзор см. в [5]), показывает, что пока достоверной оценки величины регионального потока не существует. Одна из причин этого – недостаток регулярных измерений эмиссии метана. В частности, нам не удалось найти каких-либо литературных данных по величинам удельных потоков метана в лесостепной зоне Западной Сибири.

Главной целью цикла наших работ последних лет является уточнение региональной оценки эмиссии CH_4 с территории Западной Сибири, основанное на получении и обработке собственных и литературных экспериментальных данных. Такое уточнение проводится нами на основе концепции «стандартной модели» [5, 6].

Задача данной работы – оценить величины удельных потоков метана, характерные для лесостепной зоны Западной Сибири, а также оценить неопределенности регионального потока, порождаемые разбросом этих величин.

Объекты и методы исследований

Измерения проводились в течение летне-осенних периодов 2007 и 2009 гг. в лесостепной зоне Западной Сибири. На исследуемой территории преобладают болота займищного типа: центральные части займищ покрыты тростниковыми (*Phragmites australis*), тростниково-осоковыми (*Carex diandra*) и вейниковыми (*Calamagrostis sp.*) болотами, периферийные части заняты осоково-злаковыми (*Scolochloa festucacea*, *Carex caespitosa*, *C. omskiana*) сообществами. Местами в займищах встречаются вкрапления выпуклых олиготрофных (сосново-кустарничково-сфагновых) «рямов» [7, 3]. Площадь остальных типов микрорельефа незначительна (табл. 1).

Измерения выполнялись на преобладающих элементах микрорельефа: в рямах и эвтропных топях. Также исследовались внутриболотные озера, о которых предполагалось, что они (за счет предположительно больших удельных потоков) могут вносить существенный вклад в величину региональной эмиссии.

Все ключевые участки, на основании которых была построена «стандартная модель» Вс5, представлены на рис. 1. К лесостепной зоне относятся участки «Николаевка» и «Кузнецкий рям». Их общая характеристика представлена в табл. 2, а подробные геоботанические описания – в табл. 3.

Удельные потоки CH_4 определялись с помощью метода статических камер. Подробное описание методики этих и сопутствующих измерений имеется в [8].

Для расчета региональной эмиссии использовалась электронная карта болот Западной Сибири [3]. Плотности вероятностей строили методом «гистограмм с интервалами равной вероятности» [9] с дальнейшей сплайн-аппроксимацией (конкретный алгоритм описан ранее в [10]). Оценка возможного раз-

Таблица 1
Относительные площади типов болот и слагающих их элементов микрорельефа (%),
подсчитанные по карте Peregon et al. [3]

Тип болотного комплекса ¹	Приозерные сплавины	Гряды	Олиготрофные мочажины	Эвтрофные болота	Озера	Рямы	Доля данного типа болот, %
Тип 9 и 10	5.27	37.07	37.07	0	9.89	10.71	0.1
Тип 11	0	0	0	0	0	100	2.99
Тип 15	0	0	0	87.18	0	12.82	0.57
Тип 16	0	0	0	100	0	0	21.78
Тип 17	0	0	0	100	0	0	0.53
Тип 18	0	0	0	96.66	0	3.34	9.94
Тип 19	0	0	0	100	0	0	62.54
Тип 20	0	0	0	100	0	0	1.21
Тип 21 ²	0.66	4.63	4.63	72.98	1.24	15.86	0.34
Доля данного типа микрорельефа, %	0.01	0.04	0.04	96.49	0.01	3.42	100

Примечание: ¹ Тип 9 – грядово-мочажинные и грядово-мочажинно-озерковые (гряды – сфагново-кустарничковые, облесенные сосной, мочажины – сфагново-шейхцериевые и сфагново-осоковые в сочетании с озерами); Тип 10 – грядово-озерковые (в сочетании с озерами гряды – сфагново-кустарничковые, облесенные сосной); Тип 11 – лесные и мохово-лесные (сосново-кустарничковые и сфагново-кустарничково-сосновые); Тип 15 – травяно-моховые (осоково-гипновые) в сочетании с выпуклыми олиготрофными (сфагново-кустарничково-сосновыми) «рямами»; Тип 16 – травяные и травяно-моховые (осоково-гипновые и осоковые); Тип 17 – лесные (березово-вейниково-осоковые, березово-осоково-сфагновые, сосново-березово-осоково-сфагновые); Тип 18 – тростниковые и тростниково-осоковые «займища» в сочетании с выпуклыми олиготрофными (сфагново-кустарничково-сосновыми) «рямами»; Тип 19 – тростниковые, тростниково-осоковые и вейниковые; Тип 20 – засоленные светлуховые и вейниковые; Тип 21 – неизвестные комплексы [3].

²Для типа 21 известна лишь его доля площади от общей. За доли площадей различных элементов микрорельефа приняты их усредненные величины у типов 9–20.

Таблица 2

Общая характеристика объектов исследования

Ключевой участок	Точки измерений	Общая характеристика
Николаевка	T.Ni.-1, T.Ni.-2, Ni.Eut.3, Ni.Rya.3	Ключевой участок расположен в 50 км на Юго-Восток от Барабинска и представляет собой выпуклый участок олиготрофного рьяма (1.5 км в диаметре) с эвтрофными топами на периферии
Кузнецкий рям	Ku1, Ku2, Ku2.1, Ku3, Ku3.1, Ku.Oz1	Ключевой участок расположен в 100 км к Западу от Новосибирска и представляет собой фрагментированный рям, перемежающийся различными типами эвтрофных сообществ. Измерения проводились на участке тростниковой группировки растительности, а также на внутриболотном озере

броса величин региональной эмиссии проводилась методом Монте-Карло [11].

Результаты и обсуждение

Результаты измерения эмиссии метана приведены в табл. 4 и 5 (соответствующие этим измерениям гидротермические и гидрохимические условия суммированы в табл. 6 и 7).

К сожалению, мы не смогли найти в литературе сведений об измерениях эмиссии CH₄ в лесостепи Западной Сибири, поэтому здесь возможно провести сравнение лишь с результатами, полученными в ближайшей (к лесостепной) зоне – подтайге.

В сравнении же с подтайгой, можно отметить, что в эвтрофных болотах лесостепи удельные потоки CH₄ очень близки к таковым в подтайге (характеристики распределения вероятности удельного потока метана: 1-я квартиль/медиана /3-я квартиль = 0.53 /1.99/ 6.03 мгС CH₄·м⁻²·час⁻¹ против 0.55/1.79/6.59 мгС CH₄·м⁻²·час⁻¹ в подтайге). Также близки и потоки из внутриболотных озер. Как и в подтайге (ср. табл. 4 с [12]), – это десятки или первые сотни мгС CH₄·м⁻²·час⁻¹.

В связи с тем, что, с одной стороны, пока еще не получено достаточного количества экспериментальных данных для статистически надежного восстанов-

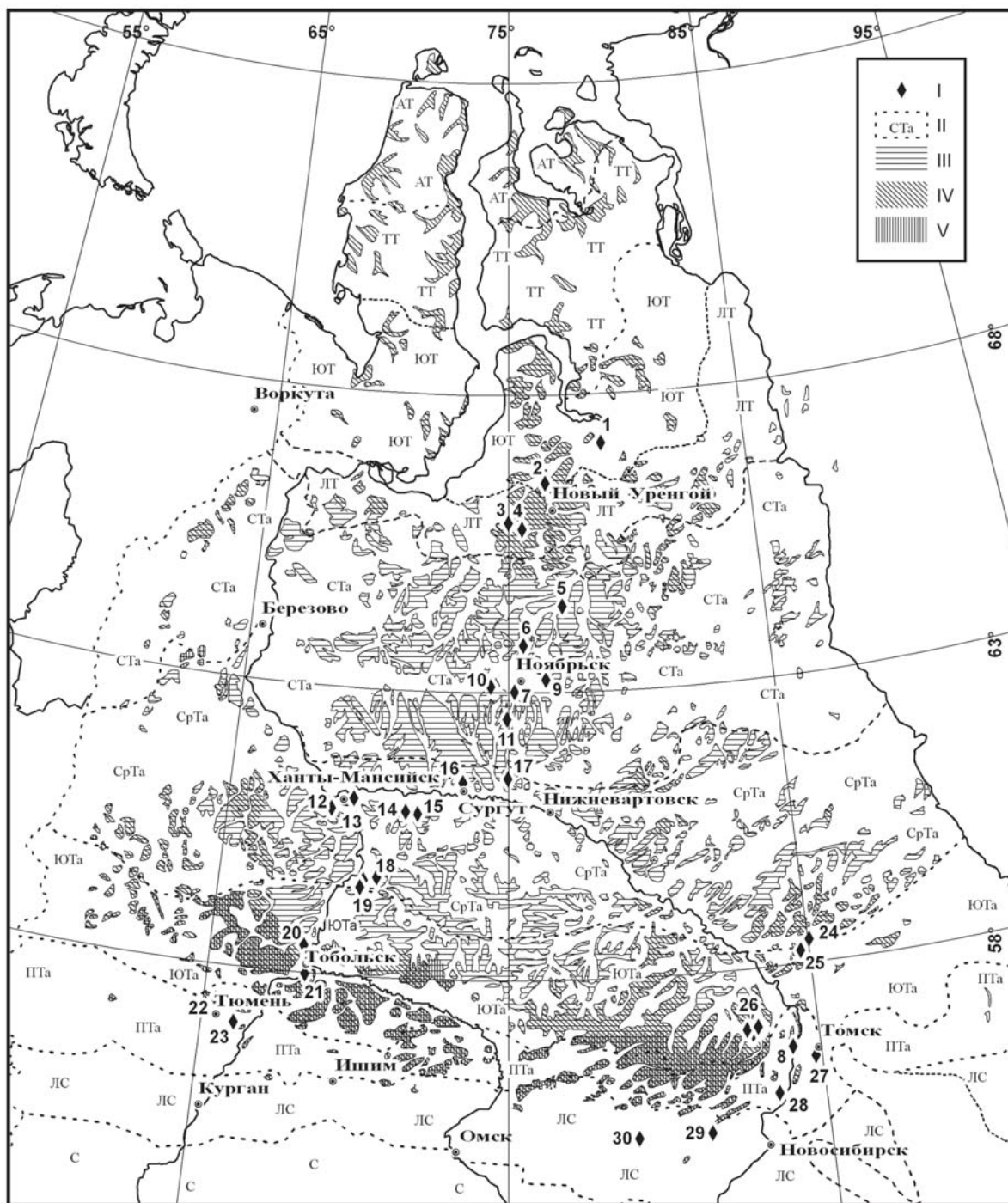


Рис. 1. Ключевые участки измерений эмиссии метана для «стандартной модели» регионального потока W_{C5} .

- I. Ключевые участки: 1 – «Тазовский»; 2 – «Новый Уренгой»; 3 – «Пангоды»; 4 – «Пангоды-Хасырей»; 5 – «Пурпе»; 6 – «Ноябрьск-Пальза»; 7 – «Ноябрьск ГМОК»; 8 – «Обское» (О.); 9 – «Ноябрьск-Денна»; 10 – «Ноябрьск-Холмы»; 11 – «Ортыгун»; 12 – «Мухрино»; 13 – «Шапша-Чистое»; 14 – «Лемпино»; 15 – «Пойковский»; 16 – «Сургут»; 17 – «Аган»; 18 – «Вах»; 19 – «Демьянка»; 20 – «Тобольск»; 21 – «Качипово»; 22 – «Тарманы» (Т.Тар.); 23 – «Мулдаши» (Т.Ту.); 24 – «Паников Мох»; 25 – «Белый Яр»; 26 – «Плотниково»; 27 – «Таган» (Та1.); 28 – «Батурино» (Bat.); 29 – «Кузнецкий Рям»; 30 – «Николаевка».

II. Границы ботанико-географических подзон: АТ – арктическая тундра, ТТ – типичная тундра, ЮТ – южная тундра, ЛТ – лесотундра, СТa – северная тайга, СрТа – средняя тайга, ЮТа – южная тайга, ПТа – подтайга, ЛС – лесостепь, С – степь.

III. Преобладает олиготрофный тип болот. IV. Преобладает мезотрофный тип болот. V. Преобладает эвтрофный тип болот

ления законов распределения вероятностей потоков CH_4 в каждом типе болотных микроландшафтов лесостепи и, с другой стороны, для тех микроландшаф-

тов, для которых возможно сравнить потоки в лесостепи и подтайге, мы видим явную близость результатов, в «лесостепной» части стандартной модели W_{C5}

(рис. 2) отчасти используются «подтаежные» вероятностные распределения.

Из рис. 2 видно, что наименьшие наиболее вероятные значения удельных потоков CH_4 наблюдаются в рямах. Это совершенно логично, так как в рямах вода стоит довольно низко (табл. 6) и условия там скорее микроаэрофильные, а не облигатно-анаэробные.

С этой точки зрения кажется вполне логичным, что наибольшие значения удельных потоков обнаруживаются в озерах.

Однако столь большие значения, как $100\text{--}200 \text{ мгС CH}_4 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{час}^{-1}$, все же кажутся нам несколько подозрительными. В работах, выполненных другими авторами (правда, в иных природных зонах), обычно

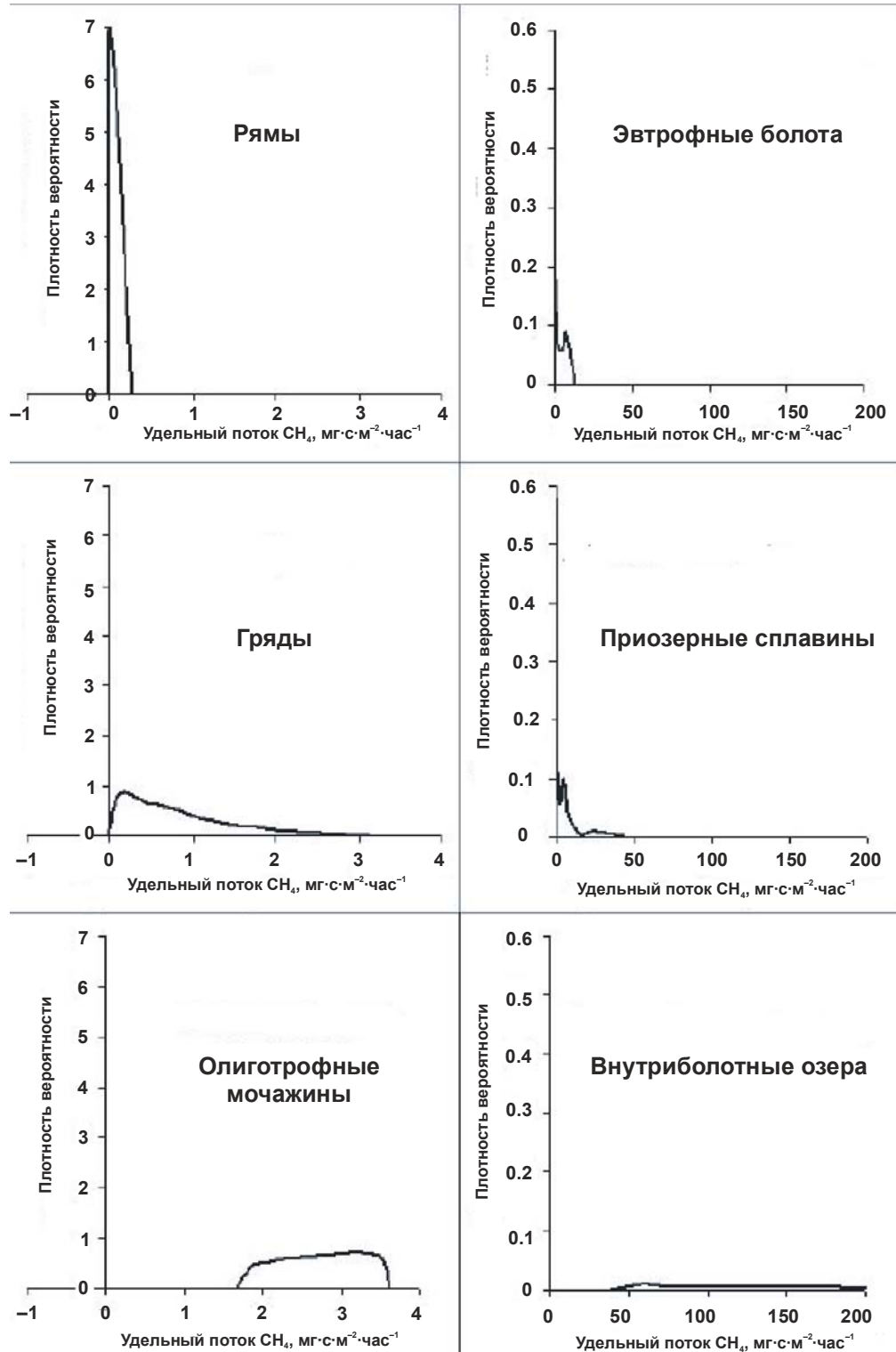


Рис. 2. Распределения плотностей вероятностей удельных потоков CH_4 в основных болотных ландшафтах лесостепи Западной Сибири (принятые в модели Вc5)

Таблица 3

Проективное покрытие ¹⁾ древесного, кустарничкового, мохового и травянистого ярусов растительности на исследовательских полигонах, %

Вид	Ярус	Исследовательский полигон			
		Ku	Ni.Rya.3	T.Ni.-1	T.Ni.-2
<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	Древесный	50	90	90	90
<i>Pinus sylvestris L.</i>	Древесный	50	+	+	+
<i>Andromeda polifolia L.</i>	Кустарничковый	–	5	5	5
<i>Chamaedaphne calyculata (L.) Moench</i>	Кустарничковый	15	20	20	20
<i>Ledum palustre L.</i>	Кустарничковый	40	40	40	40
<i>Eriophorum vaginatum L.</i>	Травянистый	+	+	+	+
<i>Oxycoccus microcarpus Turcz. ex Rupr.</i>	Травянистый	–	2	2	2
<i>Oxycoccus palustris Pers.</i>	Травянистый	5	3	3	3
<i>Rubus chamaemorus L.</i>	Травянистый	+	+	+	+
<i>Vaccinium vitis-idaea L.</i>	Травянистый	15	10	10	10
<i>Polytrichum strictum Brid.</i>	Моховый	10	1	1	1
<i>Pleurosium schreberi</i>	Моховый	15	–	–	–
<i>Sphagnum angustifolium (Russ. ex Russ.) C. Jens.</i>	Моховый	5	9	9	9
<i>Sphagnum fuscum (Schimp.) Klinggr.</i>	Моховый	–	60	60	60
<i>Sphagnum capillifolium</i>	Моховый	–	30	30	30

Примечание: ¹⁾ Знак "+" означает, что площадь проективного покрытия составляла <1%.

Таблица 4

Эмиссия метана из эвтрофных болот и внутриболотных озера

Точка	Координаты		Дата	Эмиссия CH ₄ (мгС·м ⁻² ·час ⁻¹)	
	Широта	Долгота		Среднее	STD
Эвтрофные болота					
Ku1	55.16550	81.32106	9.07.2009	2.52	2.49
Ku1	55.16550	81.32106	9.07.2009	8.09	0.24
Ku2	55.16553	81.32137	9.07.2009	– 0.09	0.03
Ku2	55.16553	81.32137	9.07.2009	1.52	1.38
Ku2	55.16553	81.32137	9.07.2009	5.66	0.17
Ku2	55.16553	81.32137	9.07.2009	8.46	0.25
Ku2.1	55.16553	81.32145	9.07.2009	0.63	1.00
Ku2.1	55.16553	81.32145	9.07.2009	0.22	0.43
Ku3	55.16578	81.32084	9.07.2009	13.33	0.87
Ku3	55.16578	81.32084	9.07.2009	7.14	0.21
Ku3.1	55.16578	81.32079	9.07.2009	–0.53	0.03
Ku3.1	55.16578	81.32079	9.07.2009	2.07	0.76
Ni.Eut.3	55.15038	79.05720	17.07.2009	2.53	0.32
Ni.Eut.3	55.15038	79.05720	17.07.2009	1.91	0.50
Ni.Eut.3	55.15038	79.05720	17.07.2009	1.30	0.73
Ni.Eut.3	55.15038	79.05720	17.07.2009	0.02	0.01
Внутриболотные озера					
Ku.Oz1	55.16550	81.32106	9.07.2009	111.56	24.84
Ku.Oz1	55.16550	81.32106	9.07.2009	165.08	8.19
Ku.Oz1	55.16550	81.32106	9.07.2009	139.59	23.68
Ku.Oz1	55.16550	81.32106	9.07.2009	57.12	3.86

наблюдались существенно меньшие значения. Так, в [13] сообщается об измерениях на юге Финляндии, выявивших потоки приблизительно в 10 раз меньшие

(до 20 мгС CH₄·м⁻²·час⁻¹). В 100 раз меньшие потоки (до 1.8 мгС CH₄·м⁻²·час⁻¹) приводятся в [14], где описано оз. Grosse Fuchskuhle, расположенное на севе-

Таблица 5

Эмиссия метана из рямов лесостепи

Точка	Координаты		Дата	Эмиссия CH ₄ (мгС·м ⁻² ·час ⁻¹)	
	Широта	Долгота		Среднее	STD
T.Ni.-1	55.10533	79.05385	5.08.2007	0.25	0.06
T.Ni.-1	55.10533	79.05385	5.08.2007	-0.03	0.01
T.Ni.-2	55.14933	79.04987	5.08.2007	0.18	0.25
T.Ni.-2	55.14933	79.04987	5.08.2007	-0.01	0.08
Ni.Rya.3.1	55.15057	79.05556	17.07.2009	0.00	0.01
Ni.Rya.3.1	55.15057	79.05556	17.07.2009	0.34	0.14
Ni.Rya.3.2	55.15057	79.05556	17.07.2009	-0.01	0.01
Ni.Rya.3.2	55.15057	79.05556	17.07.2009	0.20	0.21

Таблица 6

Гидротермические условия в точках измерений

Точка	Эмиссия метана, мгС·м ⁻² ·ч ⁻¹	Температура, °С						УБВ ^{*)} , см
		воздуха	торфа на глубине					
			0 см	5 см	15 см	25 см	45 см	
Эвтрофные болота								
Ku1	2.52	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku1	8.09	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	10
Ku2	-0.09	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku2	1.52	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku2	5.66	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku2	8.46	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku2.1	0.63	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku2.1	0.22	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku3	13.33	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	0
Ku3	7.14	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku3.1	-0.53	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	5
Ku3.1	2.07	н.д.	19.9	19.9	5.7	16.1	н.д.	10
Ni. Eut.3	2.53	н.д.	13.16	12.8	10.4	н.д.	8.0	-10
Ni. Eut.3	1.91	н.д.	13.16	12.8	10.4	н.д.	8.0	-7
Ni. Eut.3	1.30	н.д.	14.01	13.0	10.4	н.д.	7.8	-16
Ni. Eut.3	0.02	н.д.	14.01	13.0	10.4	н.д.	7.8	-10
Рямы								
T.Ni.-1	0.25	25.2	22.0	16.5	14.5	н.д.	12.4	45
T.Ni.-1	-0.03	25.2	22.0	16.5	14.5	н.д.	12.4	45
T.Ni.-2	0.18	26.5	26.6	23.4	14.9	н.д.	11.4	60
T.Ni.-2	-0.01	26.5	26.6	23.4	14.9	н.д.	11.4	60
Ni.Rya.3.1	0.00	н.д.	18.1	17.3	15.1	н.д.	11.0	10
Ni.Rya.3.1	0.34	н.д.	17.3	17.4	15.2	н.д.	11.0	10
Ni.Rya.3.2	-0.01	н.д.	17.0	17.4	15.5	н.д.	11.0	15
Ni.Rya.3.2	0.20	н.д.	17.0	17.4	15.5	н.д.	11.0	15

Примечание: *)УБВ – уровень стояния болотных вод. Ось вертикальных координат направлена вглубь почвы. Таким образом, положительные значения указывают на уровень воды ниже поверхности торфа, а отрицательные – выше этой поверхности.

ро-востоке Германии. Впрочем, существуют и такие работы, в которых приводятся потоки, сравнимые с обнаруженными нами. Так, в [15] сообщается о продукции метана (в балтийских озерах) на уровне 112 мгС CH₄·м⁻²·час⁻¹.

На основании модели Вс5 годовая эмиссия CH₄ из болот лесостепи Западной Сибири оценена величиной 0.36 МгCH₄/год, что составляет лишь 5 % региональной эмиссии (табл. 8), равной 7.2 МгCH₄/год. К сожалению, разброс оценок, получаемых по моде-

Таблица 7
Гидрохимические условия в точках измерений

Точка	рН		Электропроводность, мкСименс/см	
	min	max	min	max
Ku1, Ku2	4.89	5.97	84	125
Ku2.1	6	6	99	99
Ku3	5.74	5.74	98	98
Ku3.1	5.7	5.7	102	102
Ni. Eut.3	6.32	6.66	434	891
T.Ni.-1	3.92	4.28	140	260
T.Ni.-2	3.74	4.01	70	80
Ni.Rya. 3.1	3.34	3.74	137	179
Ni.Rya. 3.2	3.28	3.34	131	167

ли $Wc5$, весьма велик и составляет для всей Западной Сибири ± 4.75 Мт CH_4 /год. Для лесостепи разброс равен ± 0.31 Мт CH_4 /год, причем 99.8 % этого разброса обусловлено неопределенностью удельного потока из эвтрофных болот, поскольку, как видно из последней строки табл. 1, эти болота составляют подавляющую часть болот лесостепной зоны. И лишь 0.1 % разброса объясняется неопределенностью потока из внутриболотных озер. Доля их площади ничтожно мала (0.01 %), но, как видно из рис. 2, распределение плотности вероятности удельных потоков CH_4 для них чрезвычайно «широкое».

Вообще говоря, понятно, что в любом случае разброс регионального потока порожден заложенными в модель эмпирическими распределениями плотности вероятности удельных потоков из конкретных ландшафтов. Если бы распределения были бы более «узкими» (ср. «Рямы» и «Внутриболотные озера» на рис. 2), то, конечно, разброс оказался бы меньше. Но что порождает наблюдаемые весьма «широкие» распределения? Можно выделить как минимум три вероятные причины:

Неточность измерений. Распределения на самом деле могут быть гораздо «уже», но в процессе измерений мы допускаем какие-либо погрешности, порождающие слишком большие или малые фиктивные потоки. Например, при работе камерным методом мы можем случайно выдавить газ из почвы; таким образом, за время экспозиции (порядка часа) в камеру попадает газ, накопившийся в почве месяцами, что приводит к чрезвычайно большим потокам, которые, конечно, не могут наблюдаться повсеместно и часто.

Если причина состоит именно в неточности измерений, то, с одной стороны («количественный» путь), необходимо «набирать статистику» – увеличивать ко-

Таблица 8
Эмиссия CH_4 в природных зонах Западной Сибири (согласно модели $Wc5$)

Зона	Период эмиссии метана, сут	Поток CH_4 , Мт/год
Тундра	101	0.65
Лесотундра	118	0.07
Сев. тайга	135	1.06
Сред. тайга	163	1.90
Юж. тайга	169	2.17
Подтайга	183	0.92
Лесостепь	196	0.36
Степь	213	0.04

личество измерений, а с другой стороны («качественный» путь), следует развивать технику измерений (например, переходя в будущем от камерного метода к микрометеорологическим).

Ограниченность выбранной системы типов элементов ландшафта. В этом случае наблюдаемые «широкие» распределения являются суммой нескольких достаточно «узких», соответствующих более дробным типам ландшафтов, не выделяемых индивидуально в рамках использованной нами типологии ландшафтов. Обычно при этом распределение имеет несколько максимумов, каждый из которых соответствует отдельному типу ландшафта. Например, в «стандартной модели» имеется лишь единый тип «эвтрофные болота», в то время как болотоведы выделяют внутри этого типа множество разновидностей: «согры», «осоковый тип», «тростниковый тип» и многие др. [4]. Понятно, что болота лесного облика (например согры) по условиям увлажнения (а значит, и по степени анаэробнозиса!) резко отличаются от открытых болот (осоковых, тростниковых), следовательно, метан в тех и других будет образовываться совершенно с разной интенсивностью.

Вероятно, на рис. 2 («Эвтрофные болота») левый пик, приходящийся на область практически нулевых удельных потоков, соответствует лесным болотам, а правый пик, приходящийся на область довольно больших потоков (около 10 мгС $CH_4 \cdot m^{-2} \cdot час^{-1}$), соответствует травяным болотам. Если причина состоит именно в ограниченности выбранной системы элементов ландшафта, то необходимо в будущем использовать более точные карты болот.

Изменение эмиссии с течением времени. Даже если используется максимально детализированная система естественных максимально однородных ландшафтов, «широкое» распределение может получиться из-за развития процесса эмиссии с течением времени. Действительно, известно ([14, 13, 8] и др.), что эмиссия метана имеет четкий сезонный ход. Если измерения производятся в течение небольшого пери-

ода времени, то распределение плотности вероятности удельного потока CH_4 могло бы быть относительно «узким» – сосредоточившимся вокруг некоторого значения, характерного для данного ландшафта в данной зоне в данное время года. Если потом измерения производятся в другое время года (или в то же самое время, но в другой год, отличающийся по метеорологическим показателям от года первых измерений), то для этого периода новых измерений опять могло бы быть получено «узкое» (но смещенное относительно первого!) вероятностное распределение. Однако объединение измерений, произведенных в разные времена года и в разные годы (а именно это и делается для получения более объективной картины эмиссии) даст вместо нескольких «узких», смещенных друг относительно друга распределений, одно «широкое».

Если причина состоит именно в сезонном изменении эмиссии, то, вероятно, следует формализовать эту динамику в виде математической модели и вместо

статистического моделирования производить интегрирование (по времени) динамически изменяющегося потока. Межгодовая же изменчивость представляет собой источник реального разброса регионального потока. Действительно, бывают аномально засушливые и холодные годы, тогда региональный поток CH_4 на самом деле снижается; напротив, бывают аномально теплые годы с большим количеством осадков, обеспечивающих постоянно высокий уровень УБВ – тогда региональный поток действительно возрастает.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность всем участникам экспедиций 2007 и 2009 гг., трудом которых получена часть представленных экспериментальных данных. В этой связи особую признательность хотелось бы выразить В. Ботину и Д. Слонову.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (Госконтракт 02.740.11.0325).

Список литературы

1. Кароль И. Л. Оценки характеристик относительного вклада парниковых газов в глобальное потепление климата // Метеорология и гидрология. 1996. Вып. 11. С. 5–12.
2. Le Mer J., Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils // A review. Eur. J. Soil Biol. 2001. № 37. P. 25–50.
3. Peregon A., Maksyutov S., Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N. Map-based inventory of wetland biomass and net primary production in Western Siberia // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. G011007, doi:10.1029/2007JG000441.
4. Лисс О. Л., Абрамова Л. И., Аветов Н. А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
5. Глаголев М. В. Эмиссия метана: идеология и методология «стандартной модели» для Западной Сибири // Сборник научных трудов кафедры ЮНЕСКО Югорского государственного университета. Вып. 1. Новосибирск: НГУ, 2008. С. 176–190.
6. Глаголев М. В., Клепцова И. Е. Эмиссия метана в лесотундре: к созданию «стандартной модели» (Аа2) для Западной Сибири // Вестн. ТГПУ. 2009. Вып. 3. С. 77–81.
7. Тюремнов С. Н. Растительный покров // Торфяные месторождения Западной Сибири: сборник. М.: Советская наука, 1957. С. 30–39.
8. Глаголев М. В., Шнырев Н. А. Летне-осенняя эмиссия CH_4 естественными болотами Томской области и возможности ее пространственно-временной экстраполяции // Вестн. МГУ. Сер. Почвоведение. 2008. № 2. С. 24–36.
9. Костылев А. А., Миляев П. В., Дорский Ю. Д. и др. Статистическая обработка результатов экспериментов на микро-ЭВМ и программируемых калькуляторах. Л.: Энергоатомиздат. ЛО, 1991. 304 с.
10. Глаголев М. В., Сабреков А. Ф. О восстановлении плотности вероятности методом гистограмм в почвоведении и экологии // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата: сб. науч. тр. кафедры ЮНЕСКО Югорского гос. ун-та. Вып. 1. Новосибирск: НГУ, 2008. С. 55–83.
11. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 312 с.
12. Глаголев М. В., Клепцова И. Е., Казанцев В. С. и др. Эмиссия CH_4 из болотных ландшафтов подтайги Западной Сибири: к «стандартной модели» Аb4 // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: мат-лы рос. конф. / под ред. М. В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2009. С. 240–242.
13. Kankaala P., Taipale S., Nykanen H. et al. Oxidation, efflux, and isotopic fractionation of methane during autumnal turnover in a polyhumic, boreal lake // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. G02003, doi:10.1029/2006JG000336.
14. Casper P., Chan O. C., Furtado A. L. S. et al. Methane in an acidic bog lake: The influence of peat in the catchment on the biogeochemistry of methane // Aquat. Sci. 2003. № 65. P. 36–46.
15. Dzyuban A. N. Intensity of the Microbiological Processes of the Methane Cycle in Different Types of Baltic Lakes // Microbiology. 2002. № 71(1). P. 98–104.

Глаголев М. В., младший научный сотрудник.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.
ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 12, г. Москва, Россия, 119991.
E-mail: m_glagolev@mail.ru

Клепцова И. Е., студент.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.
ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 12, г. Москва, Россия, 119991.
E-mail: kleptsova@gmail.com

Казанцев В. С., младший научный сотрудник.
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН.
Пыжевский пер., 3, г. Москва, Россия, 119017.
E-mail: severus713@gmail.com

Филиппов И. В., младший научный сотрудник.
Югорский государственный университет.
Ул. Чехова, 16, г. Ханты-Мансийск, Тюменская область, Россия, 628012.
E-mail: filip83pov@yandex.ru

Мачида Т., зав. отделом атмосферного и океанического мониторинга.
Национальный институт экологических исследований.
Оногава, 16-2, г. Цукуба, префектура Ибараки, Япония, 305-8506.
E-mail: tmachida@nies.go.jp

Максютов Ш. Ш., кандидат физико-математических наук.
Национальный институт экологических исследований.
Оногава, 16-2, г. Цукуба, префектура Ибараки, Япония, 305-8506.
E-mail: shamil@nies.go.jp

Материал поступил в редакцию 28.08.2009

M. V. Glagolev, I. E. Kleptsova, V. S. Kazantsev, I. V. Filippov, T. Machida, Sh. Sh. Maksyutov

METHANE EMISSION FROM TYPICAL PEATLAND LANDSCAPES OF WESTERN SIBERIA FOREST-STEPPE: FOR «STANDARD MODEL»BC5

Were measured specific methane fluxes that are representative for some peatland landscapes of Western Siberia forest-steppe. Specific methane fluxes of forest-steppe eutrophic mires are very close to the same fluxes in subtaiga. Probability distribution of specific methane flux has following parameters: 1st quartile/median/3rd quartile = 0.53/1.99/6.03 mgC CH₄·m⁻²·h⁻¹. Methane fluxes from bog lakes are close too, as in subtaiga they are estimated at tens and first hundreds of mgC CH₄·m⁻²·h⁻¹. Probability distribution of specific methane flux in riam: 0.00 / 0.09 / 0.21 mgC CH₄·m⁻²·h⁻¹. Annual methane emission from Western Siberia forest-steppe (estimated on the model Bc5) is 0.36 MtCH₄/year that form 5 % regional emission.

Key words: *methane emission, peatlands, Western Siberia, forest-steppe.*

Glagolev M. V.
Lomonosov Moscow State University.
GSP-1, Leninskiye Gory, 1, building 12, MSU, Moscow, Russia, 119991.
E-mail: m_glagolev@mail.ru

Kleptsova I. E.
Lomonosov Moscow State University.
GSP-1, Leninskiye Gory, 1, building 12, MSU, Moscow, Russia, 119991.
E-mail: kleptsova@gmail.com

Kazantsev V. S.
A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS.
Pyzhevsky Lane, 3, Moscow, Russia, 119017.
E-mail: severus713@gmail.com

Filippov I. V.
Yugra State University.
Ul. Chekhova, 16, Khanty-Mansiysk, Tyumenskaya oblast, Russia, 628012.
E-mail: filip83pov@yandex.ru

Machida T.
National Institute for Environmental Studies.
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki, Japan, 305-8506.
E-mail: tmachida@nies.go.jp

Maksyutov Sh. Sh.
National Institute for Environmental Studies.
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki, Japan, 305-8506.
E-mail: shamil@nies.go.jp