

Клепцова И.Е.<sup>1)</sup>, Глаголев М.В.<sup>1,2)</sup>, Филиппов И.В.<sup>2)</sup>, Максютлов Ш.Ш.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

<sup>2)</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

<sup>3)</sup>National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

kleptsova@gmail.com, m\_glagolev@mail.ru

В статье приводятся экспериментальные данные по потокам метана с рямов и гряд средней тайги Западной Сибири. Эти данные объединяются в рамках «стандартной модели» Вс7, включающей в себя медианы распределений потоков метана с шести типов микроландшафтов, их площади в ячейках географической сетки  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  и продолжительность периода эмиссии метана для данной зоны. На основании модели Вс7 годовая эмиссия  $\text{CH}_4$  из средней тайги Западной Сибири оценена величиной  $0.69 \text{ MtCH}_4/\text{год}$ , что составляет 21.6% региональной эмиссии.

**Ключевые слова:** эмиссия метана, средняя тайга, рямы, гряды, Западная Сибирь.

### Введение

После водяного пара и диоксида углерода, метан является наиболее важным парниковым газом в земной атмосфере. Тем не менее, наши представления о его глобальном балансе все еще ограничены значительной неопределенностью мощностей его источников [Fung et al., 1991]. По современным оценкам, болотные экосистемы вносят существенный вклад в эмиссию метана, выделяя от 100 до 230  $\text{TgCH}_4/\text{год}$  [Denman et al., 2007], являясь, таким образом, главным естественным источником метана.

В этом плане особый интерес представляет Западная Сибирь, болотные ландшафты которой (в соответствии с картой Романовой) занимают 68.5 Мга или 27% от ее общей площади [Peregon et al., 2008], делая территорию экстремально заболоченной. В соответствии с последними оценками, болота Западной Сибири выделяют в атмосферу  $3.9 \pm 1.9 \text{ TgCH}_4/\text{год}$  [Глаголев и Максютлов, 2009], что составляет 3.4% от глобального бюджета метана с болот всего мира. Однако очевидная неточность данной оценки делает необходимым проведение дальнейших исследований, главной целью которых является её последующее улучшение.

Настоящая работа призвана представить экспериментальные данные по эмиссии метана с рямов и гряд средней тайги Западной Сибири.

### Объекты и методы исследований.

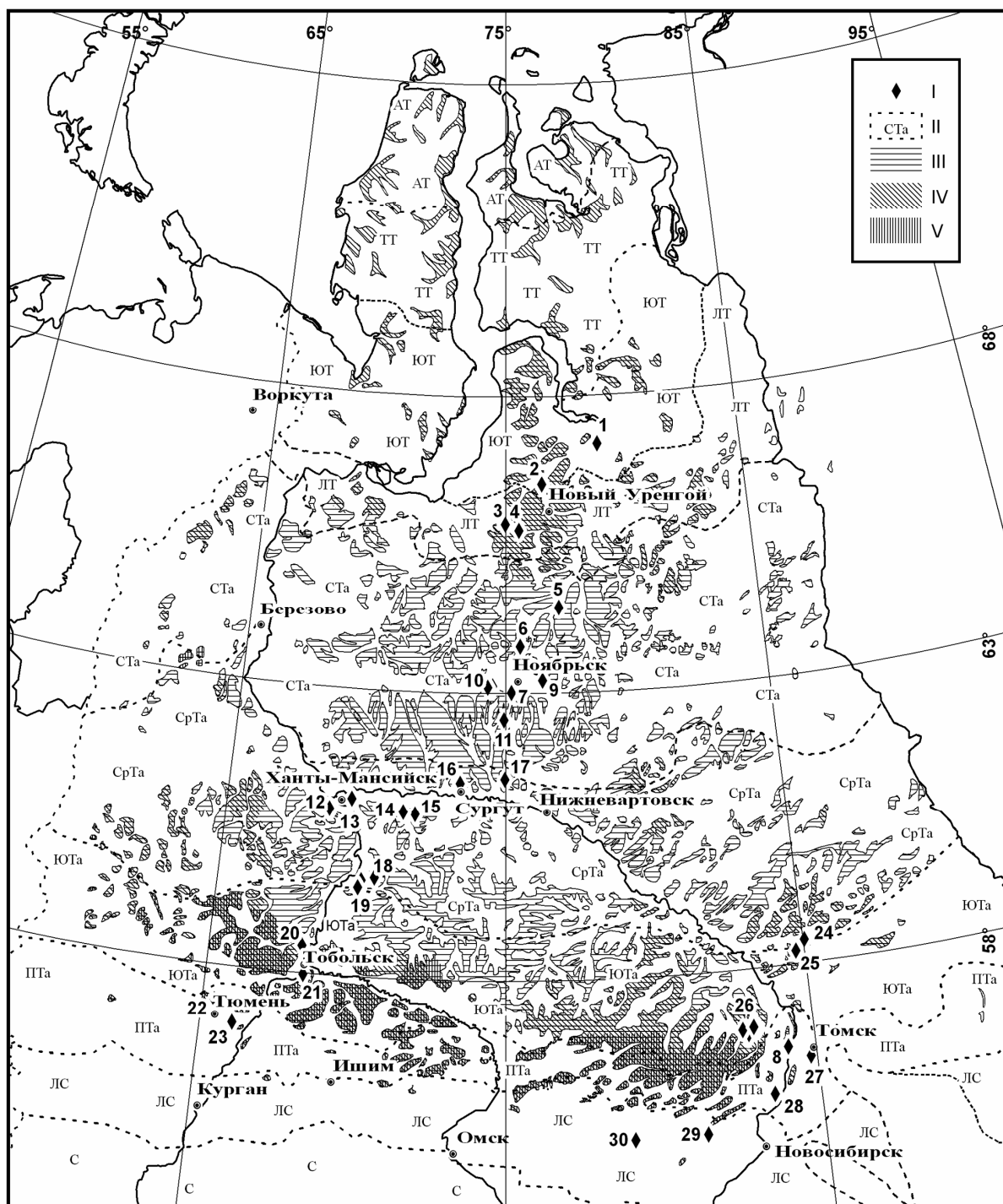
Измерения в зоне средней тайги проводились в двух близких типах микроландшафтов – в рямах и грядах. **Рямы** представляют собой **сосново-кустарничково** (*Ledum palustris*, *Chamedaphne calyculata*, *Andromeda polyfolia*)-**сфагновые** (*Sphagnum fuscum*, *S. angustifolium*) **олиготрофные болотные комплексы**, преобладающие на территории средней тайги (относительная площадь – 54%, см. табл. 1). Кроме того изучались **сосново-кустарничково-сфагновые гряды** (относительная площадь – 17.1%), входящие в состав **грядово-мочажинных комплексов** (ГМК) наряду с шейхцериево-сфагновыми **олиготрофными мочажинами** разной степени обводненности.

Исследования с рямов и гряд проводились в течение летне-осенних сезонов 2007-2009 гг. на территории Тюменской области (главным образом – Ханты-Мансийского автономного округа). Основные физико-химические параметры точек на момент измерения, а также краткие растительные описания приведены в табл. 2-6.

### Принцип выбора ключевых участков.

Одна из задач исследования заключалась в выборе ключевых участков (КУ) в пределах среднетаежной подзоны Западной Сибири, на которых был бы представлен весь диапазон типичных болотных ландшафтов. В связи с концепцией «стандартной модели» в пределах средней тайги, границы которой условно проведены нами согласно схеме ботанико-географического районирования [Гвоздецкий с соавт., 1973] необходимо было выявить КУ, включающие различные типы болотной растительности. В качестве дополнительного требования к КУ выступало то, что антропогенная трансформация должна быть незначительна.

Выбор ключевых участков осуществлялся с использованием космической съемки высокого пространственного разрешения Landsat 5 TM за 2006-2008 год с сайта [USGS...]. Используя комбинацию 4-го, 5-го и 3-его каналов Landsat можно уверенно различать типы болотной растительности как по спектральной яркости этих каналов, выражающейся в цвете синтезированных пикселей, так и по текстуре образуемой группами смежных пикселей. Ключевые участки измерений эмиссии метана были выбраны после анализа имеющихся картографических материалов [Романова с соавт., 1977; Матюхин и Данилов, 2000], литературных данных [Лисс с соавт., 2001], а также спутниковых снимков. Ключевые участки Западной Сибири, на которых когда-либо нами проводились измерения, приведены на рис. 1. Ниже приводится общая характеристика ключевых участков средней тайги (включая слагающие их болотные микроландшафты), на которых проводились измерения на рямах и грядах:



**Рис. 1.** Ключевые участки измерений эмиссии метана для «стандартной модели» регионального потока  $B_{c7}$ .

- I. Ключевые участки: 1 – «Тазовский»; 2 – «Новый Уренгой»; 3 – «Пангоды»; 4 – «Пангоды-Хасырей»; 5 – «Пурпе»; 6 – «Ноябрьск-Пальза»; 7 – «Ноябрьск ГМОК»; 8 – «Обское»; 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»; 23 – «Мулдаши»; 24 – «Паников Мох»; 25 – «Белый Яр»; 26 – «Плотниково»; 27 – «Таган»; 28 – «Батурино»; 29 – «Кузнецкий Рям»; 30 – «Николаевка».
- II. Границы ботанико-географических подзон: АТ – арктическая тундра, ТТ – типичная тундра, ЮТ – южная тундра, ЛТ – лесотундра, СТa – северная тайга, СрTa – 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.

**№12: «Мухрино»** (60.9° с.ш., 68.6° в.д.) – крупный полностью олиготрофный сильно выпуклый болотный массив, располагающийся на 3-й надпойменной террасе Иртыша в 20 км к юго-западу от г. Ханты-Мансийска (Ханты-Мансийский Автономный Округ). Периферийная часть занята рядами, ближе к центру площадь рядов уменьшается и они представлены отдельными островами среди преобладающих здесь грядово-мочажинных комплексов (ГМК). В центральной части находится обширная олиготрофная осоково-шейхцериево-сфагновая топь и несколько вторичных (с торфяным дном) озер. Вдоль всего массива протекает внутриболотный водоток,

обрамленный мезоолиготрофной осоково-сфагновой топью (истоки р. Большая речка). Средняя мощность торфа составляет 3-5 м.

**№13: «Шапша»** (61.0° с.ш., 69.5° в.д.) – олиготрофный массив в 20 км к востоку от г. Ханты-Мансийска (болото «Чистое», Ханты-Мансийский Автономный Округ). Болото «Чистое» представляет собой водораздельный олиготрофный болотный массив с абсолютным преобладанием ГМК и небольшими по площади рядами. Характерной особенностью ГМК здесь является наличие кустарничково-пушицево-сфагновых сообществ. Мощность торфа 3 м. Кроме того, измерения были произведены в 2 км к западу от болота «Чистое» - в темнохвойном (кедр, ель, примесь осины)-черничном-зеленомошном лесу у пос. Шапша.

**№14: «Лемпино»** (60.9° с.ш., 71.3° в.д.) – измерения проводились на обширном (20×25 км<sup>2</sup>) олиготрофном комплексе, расположенном на водоразделе рек Тывъега и Тыхъях (левобережных притоков р. Большой Салым в междуречье рек Большой и Малый Салым, 30 км к западу от пос. Пойковский (Ханты-Мансийский Автономный Округ). Преобладают олиготрофные ГМК и грядово-топяные комплексы (60%), рям (30%), озера (10%).

**№16: «Сургут»** (61.4° с.ш., 73.3° в.д.) – массив, сложенный ГМК со вкраплением мелких вторичных и крупных первичных, с песчаным дном, озер (Почекуйские озера, Ханты-Мансийский Автономный Округ), а также небольших участков рямов. Данный тип болотного ландшафта очень характерен для южной части Сургутского Полесья.

**№19: «Демьянка»** (59° с.ш., 70° в.д.) – ключевой участок на границе средней и южной тайги, располагающийся на водоразделе между реками Демьянкой и Иртышем (Тюменская область). Обводненные олиготрофные ГМК с округлыми бляшками рямов, существенной долей мезотрофных осоково-вахтово-моховых топей и веретьевых комплексов. Мезотрофные болота здесь также связаны с выходом слабоминерализованных грунтовых вод (электропроводность на глубине 20 см колеблется в пределах 200-300  $\mu$ S, pH = 6.6-7.2) и занимают, по всей видимости, древнюю пойму р. Демьянки, о чем свидетельствует глубина торфяной залежи (более 6 м). Помимо перечисленных выше типов болот, измерения проводились также в обширном первичном внутриболотном озере.

Измерения проводились методом статических камер [Hutchinson and Mosier, 1981; Ambus et al., 1992; Koschorreck and Conrad, 1993]. Нержавеющее металлическое основание (37×37 или 40×40 см<sup>2</sup> и высотой 15 см) врезалось в почву не ранее, чем за 15 минут до проведения измерений для предотвращения механического выдавливания газа. В основание заливалась вода, выполняющая роль гидрозатвора. С целью уменьшения давления на торфяной слой измерения проводились на постоянных или временных мостках. Камера из оргстекла (30×30×30 или 40×40×40 см<sup>3</sup>) устанавливалась на основание и герметизировалась резиновой пробкой, через которую в моменты времени  $t_0 = 0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  при помощи шприцев отбирались пробы газа. Время экспозиции ( $t_3 - t_0$ ) выбиралось в соответствии с типом микрорельефа и варьировало от 21 минуты на точках с предположительно высокими потоками (например, на обводненных мочажинах) до 60 минут на точках с вероятно низкими потоками (например, в рямах).

**Таблица 1.** Относительные площади типов болот и слагающих их элементов микрорельефа в соответствии с картой Peregon et al. [2008], %.

<i>Тип болотного ландшафта<sup>1</sup></i>	<i>Тип микрорельефа</i>						<i>Доля данного типа болот, %</i>
	<i>Приозерные сплавины</i>	<i>Гряды</i>	<i>Олиготрофные мочажины</i>	<i>Эвтрофные топи</i>	<i>Озера</i>	<i>Рямы</i>	
Тип 8	1.2	50.0	35.5	0	6.5	6.9	30.3
Тип 9 и 10	11.5	37.1	36.4	0	9.6	5.4	17.4
Тип 11	0	0	0	0	0	100.0	44.6
Тип 12	0	0	0	0	0	100.0	6.4
Тип 16	0	0	0	100.0	0	0	0.3
Тип 17	0	0	0	100.0	0	0	0.3
Доля микрорельефа, %	2.4	21.6	17.1	0.6	3.6	54.0	99.3 <sup>2</sup>

**Примечания:**

<sup>1</sup> Тип 8 – болотно-озерные комплексы (сфагново-кустарничковые и кустарничково-лишайниковые, редко облесенные сосной и кедром, микроландшафты с обилием крупных озер и озерков); Тип 9 – грядово-мочажинные и грядово-мочажинно-озерковые (гряды – сфагново-кустарничковые, облесенные сосной, мочажины – сфагново-шейхцериевые и сфагново-осоковые в сочетании с озерками); Тип 10 – грядово-озерковые (в сочетании с озерками гряды – сфагново-кустарничковые, облесенные сосной); Тип 11 – лесные и мохово-лесные (сосново-кустарничковые и сфагново-кустарничково-сосновые); Тип 12 – моховые (сфагново-кустарничковые и сфагново-кустарничково-пушицевые, редко облесенные сосной); Тип 16 – травяные и травяно-моховые (осоково-гипновые, осоково-сфагновые и осоковые); Тип 17 – лесные (березово-вейниково-осоковые, березово-осоково-сфагновые, сосново-березово-осоково-сфагновые).

<sup>2</sup> Оставшиеся 0.7% приходятся на болота неустановленного типа.

После отбора проб шприцы транспортировались в лабораторию. Анализ концентрации газа в пробах проводился на хроматографах «ХПМ-4» и «Кристалл-5000» с пламенно-ионизационными детекторами.

Удельный поток метана рассчитывался методом линейной регрессии с весами [Эберт и Эдерер, 1988]. Плотности вероятностей строили методом «гистограмм с интервалами равной вероятности» [Костылев с соавт., 1991] с дальнейшей сплайн-аппроксимацией (конкретный алгоритм описан ранее в [Глаголев и Сабреков, 2008]).

Региональный поток метана рассчитывался для каждой конкретной зоны как сумма характерных удельных потоков метана с различных типов микроландшафта с учетом площадей их распространения и периода эмиссии метана:

$$F = \beta \cdot \sum_{k=1}^l F_k; \quad F_k = \sum_{i=1}^n f_{ik} \cdot S_{ik} \cdot T_k; \quad f_{ik} = \sum_{j=1}^m (\varphi_{jk} \cdot \alpha_{ijk}),$$

где  $\beta$  – коэффициент пересчета миллиграммов в тераграммы, Тг ( $\beta = 10^{-15}$  Тг/мг);

$F_k$  (мгС-CH<sub>4</sub>/год) – поток метана из  $k$ -ой природной зоны ( $k = 0, 2, \dots, l$ ,  $l = 7$ :  $k = 0$  – степь,  $k = 1$  – лесостепь,  $k = 2$  – подтайга,  $k = 3$  – южная тайга,  $k = 4$  – средняя тайга,  $k = 5$  – северная тайга,  $k = 6$  – лесотундра,  $k = 7$  – тундра);

$f_{ik}$  (мгС-CH<sub>4</sub>·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup>) – удельный поток метана с болотных комплексов  $i$ -го типа в  $k$ -ой природной зоне ( $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n = 20$  в соответствии с типологией Е.А. Романовой, как она описана в [Peregon et al., 2008]);

$S_{ik}$  (м<sup>2</sup>) – площадь болотных комплексов  $i$ -го типа в  $k$ -ой природной зоне (для подсчета площадей использовали электронную карту болотных комплексов Западной Сибири [Peregon et al., 2008]);

$T_k$  (час/год) – период эмиссии метана в  $k$ -ой природной зоне (тундра – 2424, лесотундра – 2832, северная тайга – 3240, средняя тайга – 3912, южная тайга – 4056, подтайга – 4392, лесостепь – 4704, степь – 5112);

$\alpha_{ijk}$  – доля ландшафта  $j$ -го вида ( $j = 1, 2, \dots, m$ ,  $m = 8$ :  $j = 1$  – приозерные сплавины,  $j = 2$  – мерзлые бугры,  $j = 3$  – гряды,  $j = 4$  – олиготрофные мочажины,  $j = 5$  – мезотрофные болота,  $j = 6$  – эутрофные болота,  $j = 7$  – внутриболотные озера,  $j = 8$  – рямы в соответствии с [Peregon et al., 2009]) на болотах  $i$ -го типа в  $k$ -ой природной зоне (численные значения  $\alpha_{ijk}$  взяты из [Peregon et al., 2008]);

$\varphi_{jk}$  – удельный поток метана из микроландшафта  $j$ -го вида в  $k$ -ой природной зоне (величины  $\varphi_{jk}$  получаются статистическим моделированием в соответствии с эмпирическими распределениями вероятностей по методу обратного преобразования [Харбух и Бонэм-Картер, 1974: с. 58]).

## Результаты и обсуждение

Результаты измерения эмиссии метана, а также соответствующие гидротермические и геохимические условия приведены в табл. 2-6.

**Таблица 2.** Эмиссия метана с рямов средней тайги.

Точка	Координаты		Дата	Температура					УБВ <sup>2)</sup>	Растительн ое описание <sup>1)</sup>	Эмиссия CH <sub>4</sub> (мгС·м <sup>-2</sup> ·час <sup>-1</sup> )	
	Широта	Долгота		Воз- духа	Почвы на глубине h (см)						Сред- нее	STD
					0	5	15	45				
T.Dem.Ry	59.67300	58.17900	04.09.08	9.6	10.6	11.8	10.4	10.5	30	Pin, Led, Spf	1.52	5.53
T.Dem.Ry	59.67300	58.17900	04.09.08	9.6	10.6	11.8	10.4	10.5	27	Pin, Led, Spf	5.87	1.94
T.Dem.Ry	59.67300	58.17900	04.09.08	9.6	10.6	11.8	10.4	10.5	40	Pin, Led, Spf	-0.23	0.01
T.Sh.04	61.06673	69.45593	16.08.08	22.6	19.5	14.3	13.0	11.6	8	Pin, Cha, Spa	13.07	1.36
T.Sh.04a	61.06673	69.45593	11.08.08	25.9	16.1	13.3	13.2	11.6	20	Pin, Cha, Spa	7.25	1.51
T.Sh.05	61.06680	69.45682	15.08.08	16.4	15.3	14.3	12.9	11.4	5	Pin, Cha, Spa	0.40	0.02
T.Sh.05	61.06680	69.45682	11.08.08	29.8	20.6	17.1	13.4	12.1	23	Pin, Cha, Spa	8.09	0.51
T.Sh.06	61.06663	69.45738	15.08.08	16.4	15.3	14.3	12.9	11.4	13	Pin, Cha, Spa	0.67	0.11
T.Sh.06	61.06663	69.45738	11.08.08	24.0	18.6	16.0	13.2	11.7	30	Pin, Cha, Spa	-0.07	0.01
T.Su.RyL.Ry	62.53677	74.92818	21.08.08	18.8	-	12.4	9.8	7.8	31	Pin, Led, Spf	0.02	0.02
T.Su.RyL.Ry	62.53677	74.92818	21.08.08	18.8	-	12.4	9.8	7.8	49	Pin, Led, Spf	-0.01	0.01
T.Sh.Ry.1	61.06673	69.45593	05.09.08	17.5	10.5	9.9	10.2	10.6	14	Pin, Cha, Spa	4.05	0.25
T.Sh.Ry.1	61.06673	69.45593	05.09.08	17.1	10.6	9.9	10.1	10.6	18	Pin, Cha, Spa	0.01	0.02
T.Sh.Ry.1	61.06673	69.45593	05.09.08	15.4	10.7	10.0	10.1	10.5	36	Pin, Cha, Spa	1.23	1.30
T.Sh.Ry.1	61.06673	69.45593	05.09.08	14.0	10.8	10.2	10.2	10.5	23	Pin, Cha, Spa	-1.30	0.04
T.Sh.Ry.1	61.06673	69.45593	05.09.08	11.3	10.4	10.2	10.3	10.5	15	Pin, Cha, Spa	1.53	0.41
T.Sh.Ry.2	61.06663	69.45738	07.09.08	11.0	10.3	10.1	10.3	10.4	33	Pin, Cha, Spa	-0.15	0.01
T.Sh.Ry.2	61.06663	69.45738	07.09.08	10.1	10.2	10.1	10.3	10.4	30	Pin, Cha, Spa	0.71	0.97
T.Sh.Ry.2	61.06663	69.45738	07.09.08	9.9	10.2	10.1	10.3	10.4	20	Pin, Cha, Spa	0.00	0.01
T.Sh.Ry.2	61.06663	69.45738	07.09.08	9.9	10.3	10.2	10.3	10.4	10	Pin, Cha, Spa	6.88	0.43
T.Lem.Ry	60.90247	71.32304	02.09.08	19.7	16.0	15.4	13.1	8.5	19	Pin, Led, Spf	0.30	0.06
T.Lem.Ry	60.90247	71.32304	02.09.08	19.7	16.0	15.4	13.1	8.5	25	Pin, Led, Spf	-0.08	0.01
T.Lem.Ry	60.90247	71.32304	02.09.08	19.7	16.0	15.4	13.1	8.5	24	Pin, Led, Spf	0.05	0.02

**Примечания:**

<sup>1)</sup> And - Andromeda polifolia, Bet - Betula nana, Cha - Chamaedaphne calyculata, Eri - Eriophorum vaginatum, Led - Ledum palustris, Pin - Pinus sylvestris, Rub - Rubus chamaemorus, Spa - Sphagnum angustifolium, Spf - Sphagnum fuscum, Sps - Sphagnum sp.;

<sup>2)</sup> Положительные и отрицательные величины обозначают ситуации, когда уровень болотных вод (УБВ) соответственно ниже и выше усредненной поверхности мха;

<sup>3)</sup>  $h_1 = -15$  см,  $h_2 = -5$  см,  $h_3 = 25$  см;

<sup>4)</sup>  $h_1 = 0$  см,  $h_2 = 10$  см,  $h_3 = 40$  см;

<sup>5)</sup>  $h_1 = 0$  см,  $h_2 = 10$  см,  $h_3 = 25$  см.

Таблица 3. Эмиссия метана с рямов средней тайги (стационар «Мухрино», август 2008 г.).

Точка	Координаты		Дата (2009 год)	Температура				УВБ <sup>2</sup>	Растительное описание <sup>1)</sup>	Эмиссия CH <sub>4</sub> (мгС·м <sup>-2</sup> ·час <sup>-1</sup> )		
	Широта	Долгота		Воз- духа	Почвы на глубине h (см)					Сред- нее	STD	
					0	5	15					45
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08	16.5	15.4	11.9	7.9	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.02	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08	15.8	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.01	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08	15.8	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.02	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08	15.4	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.00	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08	15.4	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	28.3	24.4	14.7	9.2	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.07	0.06
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	29.0	25.2	15.5	9.6	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.01	0.02
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	28.7	24.2	16.5	9.9	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.08	0.04
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	28.1	23.5	17.0	10.0	8.0	40	Pin, Led, Sps	-0.05	0.11
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	27.5	23.5	17.3	10.0	8.0	40	Pin, Led, Sps	-0.33	0.06
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	25.6	23.6	17.6	10.1	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.09	0.02
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	25.1	23.1	17.5	10.1	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	22.1	21.8	17.3	10.0	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.09	0.02
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	18.6	19.4	16.8	10.0	8.0	40	Pin, Led, Sps	-0.11	0.01
T.Mu.Ry.T.1	60.89440	68.68282	04.08	17.9	18.7	16.7	9.9	8.0	40	Pin, Led, Sps	0.09	0.01
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	27.7	22.1	12.6	7.9	8.0	50	Pin, Led, Sps	-0.04	0.04
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	28.2	23.1	13.5	8.0	8.0	50	Pin, Led, Sps	-0.02	0.04
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	26.1	22.5	14.6	8.2	8.0	50	Pin, Led, Sps	0.06	0.02
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	26.4	21.7	16.1	8.6	7.6	50	Pin, Led, Sps	0.09	0.03
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	27.7	22.2	17.3	9.1	7.0	50	Pin, Led, Sps	-0.01	0.05
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	22.7	19.7	16.5	9.4	6.0	50	Pin, Led, Sps	0.49	0.13
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	22.3	19.3	16.4	9.4	6.0	50	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	19.7	18.5	16.3	9.4	6.0	50	Pin, Led, Sps	0.51	0.03
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	18.0	17.7	16.1	9.3	6.0	50	Pin, Led, Sps	0.07	0.13
T.Mu.Ry.T.2	60.89442	68.68288	05.08	17.4	17.3	16.0	9.3	6.0	50	Pin, Led, Sps	0.18	0.03
T.Mu.Ry.T.3	60.89460	68.68342	06.08	22.4	18.9	16.6	9.5	8.7	40	Pin, Led, Sps	0.05	0.02
T.Mu.Ry.T.3	60.89460	68.68342	06.08	23.0	19.2	16.6	9.5	8.5	40	Pin, Led, Sps	0.00	0.02
T.Mu.Ry.T.3	60.89460	68.68342	06.08	24.0	19.9	16.9	9.5	8.5	40	Pin, Led, Sps	0.12	0.07
T.Mu.Ry.T.3	60.89460	68.68342	06.08	23.4	19.6	17.3	9.7	8.5	40	Pin, Led, Sps	0.03	0.01
T.Mu.Ry.T.3	60.89460	68.68342	06.08	23.2	19.5	17.3	9.7	8.9	40	Pin, Led, Sps	0.10	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	11.3	9.3	8.7	9.9	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.05	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	11.3	9.3	8.7	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.01	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	11.3	9.3	8.7	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.32	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	11.3	9.3	8.7	9.9	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.25	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	14.8	9.7	8.8	9.9	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.22	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	14.8	9.7	8.8	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.18	0.09
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	14.8	9.7	8.8	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.19	0.04
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	14.8	9.7	8.8	9.9	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.08	0.07
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	17.9	10.5	9.0	9.8	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.09	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	17.9	10.5	9.0	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.01	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	17.9	10.5	9.0	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.22	0.03
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	17.9	10.5	9.0	9.8	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.38	0.08
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	16.6	10.7	9.2	9.8	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.03	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	16.6	10.7	9.2	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.02	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	16.6	10.7	9.2	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.18	0.04
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	16.6	10.7	9.2	9.8	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.44	0.06
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	17.8	10.5	9.3	9.8	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.03	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	17.8	10.5	9.3	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.08	0.04
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	17.8	10.5	9.3	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.09	0.05
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	17.8	10.5	9.3	9.8	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.21	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	13.8	10.0	9.4	9.8	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.05	0.03
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	13.8	10.0	9.4	-	-	60	Pin, Led, Spa	-0.01	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	13.8	10.0	9.4	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.19	0.07
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	13.8	10.0	9.4	9.8	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.23	0.07
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	11.1	9.5	9.3	9.8	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.09	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	11.1	9.5	9.3	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.02	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	11.1	9.5	9.3	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.17	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	11.1	9.5	9.3	9.8	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.25	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	8.3	8.8	9.1	9.8	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.14	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	8.3	8.8	9.1	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.07	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	8.3	8.8	9.1	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.23	0.04
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	8.3	8.8	9.1	9.8	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.36	0.03
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	6.4	8.4	9.0	9.7	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.17	0.02
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	6.4	8.4	9.0	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.01	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	6.4	8.4	9.0	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.25	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.4	60.89428	68.68298	31.08	6.4	8.4	9.0	9.7	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.40	0.07
T.Mu.GMK.Ry.2.1	60.89428	68.68298	31.08	4.0	7.8	8.8	9.6	9.5	45	Pin, Led, Spa	0.21	0.01
T.Mu.GMK.Ry.2.2	60.89428	68.68298	31.08	4.0	7.8	8.8	-	-	60	Pin, Led, Spa	0.22	0.08
T.Mu.GMK.Ry.2.3	60.89428	68.68298	31.08	4.0	7.8	8.8	-	-	20	Pin, Led, Spa	0.30	0.02

Примечание: см. у таблицы 2.

**Таблица 4.** Эмиссия метана с рямов средней тайги (стационар «Мухрино», сентябрь 2008 г., июль-август 2009 г.).

Точка	Координаты		Дата	Температура					УБВ <sup>2)</sup>	Растительное описание <sup>1)</sup>	Эмиссия CH <sub>4</sub> (мгС·м <sup>-2</sup> ·час <sup>-1</sup> )	
	Широта	Долгота		Воз-духа	Почвы на глубине h (см)						Среднее	STD
					0	5	15	45				
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	12.4	8.5	4.7	4.8	4.7	60	Pin, Led, Spa	0.00	0.09
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	12.4	8.5	4.7	4.8	4.7	60	Pin, Led, Spa	-0.01	0.01
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	11.0	9.7	6.4	4.7	4.7	60	Pin, Led, Spa	-0.01	0.01
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	11.0	9.7	6.4	4.7	4.7	60	Pin, Led, Spa	0.03	0.07
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	10.0	9.1	7.0	4.8	4.6	95	Pin, Led, Spa	-0.03	0.01
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	10.0	9.1	7.0	4.8	4.6	60	Pin, Led, Spa	-0.01	0.01
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	7.0	7.3	6.7	5.1	4.5	60	Pin, Led, Spa	-0.01	0.01
T.Mu.Ry	60.88962	68.70120	16.09.08	7.0	7.3	6.7	5.1	4.5	60	Pin, Led, Spa	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	-	-	-	-	-	45	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	-	-	-	-	-	45	Pin, Led, Sps	0.00	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	-	-	-	-	-	30	Pin, Led, Sps	-0.04	0.02
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	-	-	-	-	-	25	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	25.9	23.9	22.4	17.2	3.3	45	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	28.9	24.2	21.9	16.6	2.5	40	Pin, Led, Sps	0.04	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	14.07.09	29.8	24.3	21.7	15.9	1.8	40	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	28.4	16.9	14.2	11.4	1.4	55	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	30.4	18.6	15.1	11.5	1.4	50	Pin, Led, Sps	-0.05	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	31.3	19.9	16.0	11.6	1.4	40	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	30.3	21.2	17.1	11.9	1.5	35	Pin, Led, Sps	-0.02	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	29.8	22.4	18.2	12.3	1.5	35	Pin, Led, Sps	0.11	0.03
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	31.6	23.5	19.3	12.7	1.5	40	Pin, Led, Sps	0.00	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	15.07.09	28.9	23.9	21.4	14.7	1.5	45	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	16.07.09	35.3	26.2	20.9	12.4	1.7	50	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	16.07.09	35.4	26.7	21.9	13.0	1.7	45	Pin, Led, Sps	0.05	0.02
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	16.07.09	33.4	25.4	22.4	13.7	1.7	40	Pin, Led, Sps	0.00	0.02
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	16.07.09	29.9	25.2	22.3	-	-	30	Pin, Led, Sps	0.03	0.03
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	17.07.09	32.5	23.7	19.0	-	-	30	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	17.07.09	34.6	25.2	20.2	12.5	1.4	40	Pin, Led, Sps	-0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	17.07.09	31.4	24.9	21.1	13.1	1.3	40	Pin, Led, Sps	0.05	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	17.07.09	31.2	24.3	21.5	13.8	1.4	40	Pin, Led, Sps	0.05	0.03
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	17.07.09	25.0	22.2	21.0	15.1	1.9	50	Pin, Led, Sps	0.00	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	19.07.09	27.6	20.0	16.3	-	-	25	Pin, Led, Sps	0.13	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	19.07.09	26.9	20.7	17.2	11.4	-1.2	50	Pin, Led, Sps	0.03	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	19.07.09	25.5	20.1	17.4	-	-	25	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.1	60.89002	68.70075	19.07.09	23.4	20.1	17.7	-	-	35	Pin, Led, Sps	0.01	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	16.5	15.4	11.9	7.9	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.01	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	16.5	15.4	11.9	7.9	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.01	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	15.8	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.03	0.04
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	15.8	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.00	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	15.4	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.03	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	15.4	13.6	10.5	7.4	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.02	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	28.3	14.8	9.3	7.1	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.00	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	26.6	15.0	9.4	7.1	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.00	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	24.7	15.0	9.5	7.1	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.01	0.05
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	22.2	14.9	10.0	7.2	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.01	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	22.2	14.9	10.0	7.2	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.00	0.03
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	20.4	14.4	10.1	7.2	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.00	0.03
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	19.4	14.2	10.0	7.2	2.5	>55	Pin, Led, Sps	-0.02	0.02
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	02.08.09	17.4	13.9	10.0	7.2	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.02	0.01
T.Mu.Ry.H.1	60.89085	68.69228	01.08.09	16.5	15.4	11.9	7.9	2.5	>55	Pin, Led, Sps	0.01	0.03
T.Mu.GMK.Rv.2.4	60.89428	68.68298	31.08.09	4.0	7.8	8.8	9.6	9.5	40	Pin, Led, Spa	0.39	0.03

Примечание: см. у таблицы 2.

Характеристики распределения удельных потоков из рямов и гряд представлены в таблице 7. Наименьшие потоки метана среди всех болотных микроландшафтов средней тайги характерны для рямов. Для гряд характерны несколько большие потоки. Вероятно, в нашем случае это объясняется влиянием температурных условий в момент измерения: в грядах на глубине активного метаногенеза (около 45 см и ниже) температура в среднем была на 2°C больше, чем в рямках; с другой стороны в аэробном слое активной метанотрофии (на глубине 15 см) она была меньше на 4°C. Таким образом, в грядах по сравнению с рямками в нашем случае сложились более благоприятные условия для метаногенеза и менее благоприятные – для метанотрофии. В обоих микроландшафтах из-за неоднородности гидрологических и геохимических условий также встречались локальные участки с высокими потоками, достигающими примерно 10 мгС·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup> (см. табл. 2-6).

Растительность рямов и гряд в грядово-мочажинных комплексах идентична с флористической точки зрения, кроме того, верхний слой торфяной залежи в этих элементах болотных микроландшафтов также принадлежит к одному типу и имеет сходные физические характеристики. Следствием сходства растительных покровов в рямках и грядах (а также микробиологически активных слоев торфяной залежи там же) является близость величин потоков метана в этих микроландшафтах.

**Таблица 5.** Эмиссия метана с гряд средней тайги в районе стационара «Мухрино».

Точка	Координаты		Дата	Температура				УБВ <sup>2)</sup>	Растительн ое описание <sup>1)</sup>	Эмиссия CH <sub>4</sub> (мгС·м <sup>-2</sup> ·час <sup>-1</sup> )		
	Широта	Долгота		Воз- духа	Почвы на глубине h (см)					Сред- нее	STD	
					0	5	15					45
T.Mu.GMK.R	60.89183	68.68728	17.09.08	8.1	7.0	7.2	7.0	8.5	45	Pin, Led, Spf	-0.15	0.01
T.Mu.GMK.R	60.89183	68.68728	17.09.08	8.1	7.0	7.2	7.0	8.5	45	Pin, Led, Spf	0.01	0.01
T.Mu.GMK.R	60.89183	68.68728	17.09.08	9.6	7.2	6.6	6.8	8.5	45	Pin, Led, Spf	0.57	0.69
T.Mu.GMK.R	60.89183	68.68728	17.09.08	9.6	7.2	6.6	6.8	8.5	45	Pin, Led, Spf	0.00	0.01
T.Mu.GMK.R	60.89183	68.68728	17.09.08	9.1	7.0	6.4	6.7	8.5	20	Pin, Led, Spf	0.02	0.06
T.Mu.GMK.R	60.89183	68.68728	17.09.08	9.1	7.0	6.4	6.7	8.5	25	Pin, Led, Spf	0.02	0.01
T.Mu.GMK.R.1	60.89203	68.68228	30.06.09	12.8	11.8	11.4	10.3	6.5	40	Pin, Led, Sps	-0.05	0.01
T.Mu.GMK.R.1	60.89203	68.68228	30.06.09	11.6	11.4	11.2	10.1	6.4	60	Pin, Led, Sps	-0.06	0.04
T.Mu.GMK.R.1	60.89203	68.68228	30.06.09	11.3	11.1	11.1	-	-	30	Pin, Led, Sps	0.26	0.03
T.Mu.GMK.R.1	60.89203	68.68228	30.06.09	12.5	10.3	10.4	-	-	20	Pin, Led, Sps	0.86	0.57
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	22.0	10.7	9.9	9.4	10.4	45	Pin, Led, Sps	-0.08	0.06
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	23.1	9.8	9.1	8.8	10.4	45	Pin, Led, Sps	-0.35	0.07
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	24.4	9.9	9.1	8.9	10.4	30	Pin, Led, Sps	-0.21	0.01
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	22.0	9.9	9.3	9.1	10.4	35	Pin, Led, Sps	-0.10	0.02
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	22.0	10.1	9.5	9.3	10.3	33	Pin, Led, Sps	-0.02	0.02
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	18.9	10.1	9.3	9.0	10.2	35	Pin, Led, Sps	0.25	0.18
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	15.9	10.0	9.3	-	-	18	Pin, Led, Sps	0.54	0.05
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	01.07.09	18.8	11.1	8.3	8.1	10.0	60	Pin, Led, Sps	0.04	0.01
T.Mu.GMK.R.2	60.89280	68.68292	02.07.09	23.3	11.4	9.1	8.6	10.0	65	Pin, Led, Sps	0.15	0.03
T.Mu.GMK.R.3	60.89308	68.68290	02.07.09	34.0	16.9	13.1	-	-	10	Pin, Led, Sps	0.45	0.07
T.Mu.GMK.R.3	60.89308	68.68290	02.07.09	35.4	17.3	12.6	-	-	15	Pin, Led, Sps	0.52	0.10
T.Mu.GMK.R.3	60.89308	68.68290	02.07.09	33.9	20.7	12.6	-	-	12	Pin, Led, Sps	1.25	0.31
T.Mu.GMK.R.3	60.89308	68.68290	02.07.09	28.3	21.8	14.8	9.1	4.5	40	Pin, Led, Sps	0.09	0.13
T.Mu.GMK.R.3	60.89308	68.68290	02.07.09	25.6	20.5	15.1	9.4	4.5	30	Pin, Led, Sps	0.31	0.06
T.Mu.GMK.R.3	60.89308	68.68290	02.07.09	22.9	18.3	15.1	9.7	4.5	35	Pin, Led, Sps	0.01	0.10
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	14.5	12.8	13.0	-	-	30	Pin, Led, Spf	0.04	0.02
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	14.5	12.8	13.0	12.8	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.01	0.02
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	14.5	12.8	13.0	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.03	0.01
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	14.5	12.8	13.0	12.8	10.0	55	Pin, Led, Spf	0.06	0.03
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	14.3	12.4	12.8	-	-	30	Pin, Led, Spf	0.00	0.01
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	14.3	12.4	12.8	12.6	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.50	0.22
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	14.3	12.4	12.8	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.12	0.06
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	14.3	12.4	12.8	12.6	10.0	55	Pin, Led, Spf	-0.01	0.01
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	17.3	12.4	12.6	-	-	30	Pin, Led, Spf	0.19	0.04
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	17.3	12.4	12.6	12.5	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.39	0.09
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	17.3	12.4	12.6	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.60	0.14
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	17.3	12.4	12.6	12.5	10.0	55	Pin, Led, Spf	0.02	0.03
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	17.2	12.8	12.5	-	-	30	Pin, Led, Spf	0.22	0.05
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	17.2	12.8	12.5	12.4	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.27	0.10
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	17.2	12.8	12.5	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.17	0.04
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	17.2	12.8	12.5	12.4	10.0	55	Pin, Led, Spf	0.04	0.03
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	13.9	12.0	12.4	-	-	30	Pin, Led, Spf	0.30	0.03
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	13.9	12.0	12.4	12.3	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.13	0.06
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	13.9	12.0	12.4	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.01	0.07
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	13.9	12.0	12.4	12.3	10.0	55	Pin, Led, Spf	0.08	0.02
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	13.5	11.6	12.3	-	-	30	Pin, Led, Spf	0.39	0.37
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	13.5	11.6	12.3	12.3	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.73	0.06
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	13.5	11.6	12.3	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.07	0.03
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	13.5	11.6	12.3	12.3	10.0	55	Pin, Led, Spf	-0.02	0.01
T.Mu.GMK.R.4.1	60.89280	68.68292	30.08.09	11.9	11.6	12.1	-	-	30	Pin, Led, Spf	-0.01	0.01
T.Mu.GMK.R.4.2	60.89280	68.68292	30.08.09	11.9	11.6	12.1	12.2	10.0	50	Pin, Led, Spf	0.33	0.03
T.Mu.GMK.R.4.3	60.89280	68.68292	30.08.09	11.9	11.6	12.1	-	-	20	Pin, Led, Spf	0.19	0.02
T.Mu.GMK.R.4.4	60.89280	68.68292	30.08.09	11.9	11.6	12.1	12.2	10.0	55	Pin, Led, Spf	0.04	0.02
T.Mu.GMK.1.1	60.89177	68.67968	02.08.09	-	-	-	-	9.5	31	Cha, Rub, Spf	0.43	0.05
T.Mu.GMK.1.2	60.89177	68.67968	02.08.09	-	-	-	-	9.5	41	Cha, Rub, Spf	-0.09	0.03
T.Mu.GMK.1.1	60.89177	68.67968	02.08.09	26.6	26.1	23.7	16.0	9.5	31	Cha, Rub, Spf	0.46	0.12
T.Mu.GMK.1.2	60.89177	68.67968	02.08.09	26.6	26.1	23.5	16.0	9.5	41	Cha, Rub, Spf	0.25	0.09
T.Mu.GMK.1.1	60.89177	68.67968	02.08.09	24.7	24.3	21.7	15.5	9.5	31	Cha, Rub, Spf	0.69	0.21
T.Mu.GMK.1.2	60.89177	68.67968	02.08.09	24.7	24.1	21.6	15.5	9.5	41	Cha, Rub, Spf	0.20	0.08
T.Mu.GMK.1.1	60.89177	68.67968	02.08.09	23.3	22.6	20.9	15.0	9.5	31	Cha, Rub, Spf	0.36	0.21
T.Mu.GMK.1.2	60.89177	68.67968	02.08.09	23.3	22.6	20.8	15.0	9.5	41	Cha, Rub, Spf	0.11	0.13
T.Mu.GMK.1.1	60.89177	68.67968	02.08.09	19.1	19.9	19.9	15.5	9.5	31	Cha, Rub, Spf	0.41	0.19
T.Mu.GMK.1.2	60.89177	68.67968	02.08.09	19.1	19.8	19.9	15.5	9.5	41	Cha, Rub, Spf	0.66	0.05
T.Mu.GMK.1.1	60.89177	68.67968	02.08.09	15.6	17.3	18.8	15.5	9.5	31	Cha, Rub, Spf	0.47	0.15
T.Mu.GMK.1.2	60.89177	68.67968	02.08.09	15.6	17.3	18.7	15.5	9.5	41	Cha, Rub, Spf	0.85	0.27

**Примечание:** см. у таблицы 2.

Вопрос о влиянии уровня болотных вод на величину потока CH<sub>4</sub> неоднозначно трактуется в литературе. Встречаются как работы, где указывается на его основополагающую роль как фактора, контролирующего эмиссию

метана [Moore and Dalva, 1993; Dise et al., 1993], так и работы, в которых была обнаружена лишь слабая корреляция между потоком  $\text{CH}_4$  и УБВ [Frolking and Crill, 1994].

Нам кажется, что это отчасти связано с неоднозначностью трактовки понятия пространственной изменчивости. Напомним о незаурядной статье Christensen [1993], в которой автор предлагает разделить временную изменчивость на краткосрочную и долгосрочную, так как один и тот же фактор среды на этих двух промежутках времени может иметь разный уровень значимости по отношению к эмиссии метана. С другой стороны, в указанной статье рассматривается лишь один масштаб пространственной изменчивости.

Представляется логичным по аналогии рассматривать несколько (минимум два) пространственных масштабов. На малом пространственном масштабе (в пределах экосистемы, например, обводненной мочажины) уровень болотных вод примерно постоянен. Поэтому его влияние незначительно. На большем пространственном масштабе (в пределах нескольких различных экосистем, например, мочажин и прилегающих к ним гряд) уровень болотных вод будет различаться существенно, что не замедлит сказаться на эмиссии.

Предпринятый нами регрессионный анализ потоков в пределах рямов и гряд (т.е. в малом пространственном масштабе) не выявил какой-либо значимой зависимости эмиссии от уровня болотных вод. Вариабельность величин потоков между точками скорее объяснялась другими параметрами, в частности уровнем трофности, температурой и анаэробностью условий. С другой стороны, если мы рассмотрим больший масштаб пространственной изменчивости, то сможем объяснить незначительный уровень эмиссии на этих двух микроландшафтах по сравнению, например, с мочажинами как раз весьма низким уровнем стояния болотных вод.

**Таблица 6.** Эмиссия метана с гряд средней тайги.

Точка	Координаты		Дата	Температура					УБВ <sup>2)</sup>	Растительное описание <sup>1)</sup>	Эмиссия CH <sub>4</sub> (мгС·м <sup>-2</sup> ·час <sup>-1</sup> )	
	Широта	Долгота		Воздуха	Почвы на глубине h (см)						Среднее	STD
					0	5	15	45				
T.Dem.GMK.R	59.67741	69.97575	04.09.08	7.9	8.8	11.0	12.0	11.7	10	Pin, Led, Spf	4.15	0.51
T.Dem.GMK.R	59.67741	69.97575	04.09.08	7.9	8.8	11.0	12.0	11.7	12	Pin, Led, Spf	1.00	0.06
T.Dem.GMK.R	59.67741	69.97575	04.09.08	7.9	8.8	11.0	12.0	11.7	5	Pin, Led, Spf	2.65	0.18
T.Su.1.R	61.43362	73.33227	16.08.07	15.1	-	16.6	12.7	10.4	27	Bet, Led, Rub	0.00	0.11
T.Su.1.R	61.43362	73.33227	16.08.07	15.1	-	16.6	12.7	10.4	25	Bet, Led, Rub	0.50	0.21
T.Su.2.R	61.43513	73.33832	18.08.07	20.2	-	14.5	10.3	6.5	25	Rub, Cha, Bet	0.58	0.19
T.Su.2.R	61.43513	73.33832	18.08.07	20.2	-	14.5	10.3	6.5	50	Rub, Cha, Bet	-0.04	0.03
T.Su.3.R	61.36780	73.29721	18.08.07	15.9	-	17.5	16.3	13.2	10	Eri, Cha, And	0.71	0.96
T.Su.3.R	61.36780	73.29721	18.08.07	15.9	-	17.5	16.3	13.2	20	Eri, Cha, And	12.92	2.31
T.Lem.GMK.R	60.90312	71.32549	02.09.08	19.0	16.2	15.8	15.5	14.6	45	Pin, Cha, Spf	-0.30	0.01
T.Lem.GMK.R	60.90312	71.32549	02.09.08	19.0	16.2	15.8	15.5	14.6	47	Pin, Cha, Spf	-0.01	0.01
T.Lem.GMK.R	60.90312	71.32549	02.09.08	19.0	16.2	15.8	15.5	14.6	32	Pin, Cha, Spf	0.00	0.01

Примечание: см. у таблицы 2.

Эмиссия метана также варьирует в разных зонах (см. таблицу 7). Возрастание ее величины к югу объясняется увеличением температуры почвенного слоя, которая влияет на активность метаногенных микроорганизмов (см. [Wania, 2007] и ссылки там на работы Metje and Frenzel, 2005; 2007), скорость процессов разрушения субстрата и пороговую концентрацию выхода пузырьков метана [Baird et al., 2004].

**Таблица 7.** Характеристики распределения удельного потока метана в грядах и рямах для трех зон.

Тип микроландшафта	Эмиссия метана, 1-ая квартиль / медиана / 3-я квартиль, $\text{мгС}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{час}^{-1}$		
	Северная тайга	Средняя тайга	Южная тайга
Гряды	-0.003 / 0 / 0.04	0.01 / 0.13 / 0.36	0.33 / 0.49 / 0.64
Рямы	Нет данных	0.00 / 0.02 / 0.14	0.05 / 0.56 / 1.55

На основании «стандартной модели» Вс7 региональная эмиссия со средней тайги Западной Сибири оценена в  $0.69 \text{ МтCH}_4/\text{год}$ , т.е. 21.6% от региональной эмиссии с болот всей Западной Сибири. Рямы и гряды занимают больше 75% площади средней тайги, однако ответственны лишь за 4% региональной эмиссии с этой территории ( $0.008$  и  $0.022 \text{ МтCH}_4/\text{год}$ , соответственно) вследствие неблагоприятных условий для метаногенеза.

### Благодарности

Авторы искренне благодарят всех участников экспедиций 2007-2009 годов, трудом которых получена часть представленных данных.

### Список литературы

- Гвоздецкий Н.А., Кривоуцкий А.Е., Макунина А.А. 1973. Схема физико-географического районирования Тюменской области // Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: МГУ. С. 9-28.
- Глаголев М.В., Максютин Ш.Ш. 2009. «Стандартная модель» (Ab4) эмиссии  $\text{CH}_4$  из болот Западной Сибири. // Математическое моделирование в экологии / Материалы Национальной конференции с международным участием, 1-5 июня 2009 г. Пущино, ИФХиБПП РАН. С. 78-79.
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. 2008. О восстановлении плотности вероятности методом гистограмм в почвоведении и экологии // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата: Сборник научных трудов кафедры ЮНЕСКО Югорского государственного университета. Вып. 1; [под ред. Глаголева М.В. и Лапиной Е.Д.] Новосибирск: НГУ. С. 55-83.



- Костылев А.А., Миляев П.В., Дорский Ю.Д., Левченко В.К., Чикулаева Г.А. 1991. Статистическая обработка результатов экспериментов на микро-ЭВМ и программируемых калькуляторах. Л.: Энергоатомиздат. ЛО. 304 с.
- Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукан З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°. 584 с.
- Матюхин Р.Г., Данилов В.П. 2000. Карта торфяных месторождений Западной Сибири. Министерство Природных ресурсов Российской Федерации / Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья. Масштаб 1:1 000 000. Новосибирск.
- Романова Е.А., Быбина Р.Т., Голицина Е.Ф., Иванова Г.М., Усова Л.И., Трушников Л.Г. 1977. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины. Масштаб 1:2 500 000. Ленинград: ГУГК.
- Эберт К., Эдерер Х. 1988. Компьютеры. Применение в химии. М.: Мир. 416 с.
- Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. 1974. Моделирование на ЭВМ в геологии. М.: Мир.
- Baird A. J., Beckwith C. W., Waldron S., Waddington J. M. 2004. Ebullition of methane-containing gas bubbles from near-surface Sphagnum peat // *Geophys. Res. Lett.* V. 31. P. 299-322.
- Christensen T. 1993. Seasonal emission of methane from the active layer of organic tundra soils-scale and controlling factors // Post-seminar proceedings "Joint Russian-American Seminar on Cryopedology and Global Change" (Pushchino, November 15-16, 1992); [Gilichinsky D.A. (ed.)]. Pushchino: Pushchino Research Centre. P. 325-341.
- Denman K.L. et al. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; [edited by Solomon et al.] Cambridge: Cambridge University Press. Chapter 7. P. 499-588.
- Dise N.B., Gorham E., Verry E.S. 1993. Environmental Factors Controlling Methane Emissions from Peatlands in Northern Minnesota // *Journal of Geophysical Research.* V. 98. P. 10583-10594.
- Frolking S., Crill P. 1994. Climate controls on temporal variability of methane flux from a poor fen in southeastern New Hampshire: Measurement and modeling // *Global Biogeochemical Cycles.* V. 8. No. 4. P. 385-397.
- Fung I., John J., Lerner J., Matthews E., Prather M., Steele L.P., Fraser P.J. 1991. Three-Dimensional Model Synthesis of the Global Methane Cycle // *Journal of Geophysical Research.* V. 96. P. 13033-13065.
- Hutchinson G. L., Mosier A. R. 1981. Improved soil cover method for field measurement of nitrous-oxide fluxes // *Soil Sci. Soc. Am. J.* V. 45. P. 311-316.
- Koschorreck M., Conrad R. 1993. Oxidation of atmospheric methane in soil: measurements in the field, in soil cores and in soil samples // *Global Biogeochem. Cycles.* V. 7. P. 109-121.
- Moore T.R., Dalva M. 1993. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils // *Journal of Soil Science.* V. 44. P. 651-664.
- Peregon A., Maksyutov S., Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N. 2008. Map-based inventory of wetland biomass and net primary production in western Siberia // *J. Geophys. Res.* V. 113. G011007. doi:10.1029/2007JG000441.
- Peregon A., Maksyutov S., Yamagata Y. 2009. An image-based inventory of the spatial structure of West Siberian wetlands // *Environ. Res. Lett.* V. 4. doi:10.1088/1748-9326/4/4/045014.
- Wania R. 2007. Modelling northern peatland land surface processes, vegetation dynamics and methane emissions: PhD dissertation. Bristol: University of Bristol. URL: <http://glovis.usgs.gov>. 07.04.10. (дата обращения: 08.04.10).

## METHANE EMISSION FROM MIDDLE TAIGA RIDGES AND RYAMS OF WESTERN SIBERIA

*Kleptsova I.E., Glagolev M.V., Filippov I.V., Maksyutov S.S.*

*The article illustrates experimental measurements of methane fluxes in ridges and ryams providing in summer-autumn period of years 2007-2009 in the middle taiga zone of Western Siberia. Ryams have the lowest CH<sub>4</sub> fluxes in this zone (1<sup>st</sup> quartile/median/3<sup>d</sup> quartile = 0.00 / 0.02 / 0.14 mgC·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>). Ridges have slightly greater methane fluxes (0.01 / 0.13 / 0.36 mgC·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>). Areas with local high fluxes reaching the value of approximately 10 mgC·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> is also found in both microlandscape types as a result of hydrological and geochemical soil surface heterogeneity. Ryams and ridges have similar emission values owing to floristical and upper peat layer identity. Methane flux zonality in ryams and ridges is revealed. Emission from middle taiga ridges is higher than in north taiga (-0.003 / 0 / 0.04 mgC·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>) and lower than in south taiga ridges (0.33 / 0.49 / 0.64 mgC·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>); emission from middle taiga ryams is lower than in south taiga ryams (0.05 / 0.56 / 1.55 mgC·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>). All data are consolidated in scope of "standard model" Bc7 conception of methane emission. The model contains medians of methane flux distributions on six different microlandscape types depending on their area and duration of methane emission in respective zones. Version Bc7 of this model estimates the value of yearly methane emission in the middle taiga of Western Siberia as 0.69 Mt CH<sub>4</sub> per year which means 21.6% of the regional emission. Ryams and ridges in this zone cover over 75% of area accounting for only 4% of regional emission from this territory (0.008 and 0.022 Mt CH<sub>4</sub> per year respectively) as a result of adverse conditions for methanogenesis.*

**Keywords:** methane emission, middle taiga, ryams, ridges, Western Siberia.

Поступила в редакцию: 12.03.2010