

ЭМИССИЯ МЕТАНА: ИДЕОЛОГИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ «СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ» ДЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Глаголев М.В.
m_glagolev@mail.ru

Введение

Метан сильно влияет на фотохимию атмосферы и является важным «парниковым» газом в климатической системе - по величине прямого потенциала глобального потепления он в 39 раз (для периода 20 лет) превышает CO₂ [Кароль, 1996]. В связи с этим динамика концентрации метана в атмосфере учитывается в современных климатических моделях (см. [Крупчатников и Крылова, 2004] и ссылки там). Очевидно, что в таких моделях уравнение атмосферного переноса метана обязательно содержит в той или иной форме член, описывающий поверхностный источник метана.

Среди всех возможных источников метана главную роль играют болота [Заварзин, 1995]. Поток CH₄ из всех болот мира составляет по данным разных авторов от 92 до 110 Тг/год. Около 60% глобальной эмиссии из болот обусловлено торфяными массивами, находящимися в полосе от 50 до 70° с.ш. Вклад болот бывшего СССР составляет 11 Тг/год (т.е. 19-21% от всего потока CH₄ с территории страны). Считается, что на долю Западно-Сибирских болот приходится почти 1/3 потока CH₄ из всех болот страны (см. [Глаголев и Клепцова, 2007] и ссылки там).

Таблица 1

Оценки эмиссии CH₄ (Тг/год) с территории Западной Сибири

Оценка ^{*)}	Ссылка	Оценка	Ссылка
2.7/2.6	<i>Andronova and Karol, 1993</i>	7.27	<i>Крылова и Крупчатников, 2002</i>
1.7	<i>Заварзин, 1995; Паников с соавт., 1993</i>	1.6	<i>Наумов, 2003</i>
22.2/27.4	<i>Паников, 1995</i>	3.2	<i>Vleuten, 2007</i>
20	<i>Бажин, 2000</i>	8.5	<i>Глаголев, 2007</i>
10	<i>Jagovkina et al., 2001</i>	4.9±2.3	<i>Глаголев, 2008</i>

Примечание: ^{*)} Если приводится одно значение, то это именно то, которое явно указано авторами в их публикации; если приводится два значения, то указанное авторами дано в числителе, а в знаменателе – вычисленное нами по исходным данным авторов.

Однако имеющиеся к настоящему времени оценки нельзя признать надежными. В настоящее время по количеству экспериментальных данных о потоке метана из болот среди всех регионов России лидирует Западная Сибирь [Glagolev et al., 2007]. Но даже для этого (наиболее изученного) региона оценки разных авторов различаются на порядок (табл. 1)! И это не удивительно. Подробный анализ оценок выявляет те или иные изъяны практически в каждой из них. Так, например, оценки [Andronova and Karol,

1993; *Паников с соавт.*, 1993] получены в то время, когда измерения преимущественно выполнялись лишь на одном-двух участках южной тайги (Томская область). Работа [*Заварзин*, 1995], фактически опирается лишь на уже цитированную публикацию [*Паников с соавт.*, 1993]. В [*Паников*, 1995] прямо сказано о полученной величине потока «...оценка может быть... весьма условной, и мы не можем считать ее достоверной». Действительно, трудно считать достоверной оценку, полученную в предположении, что «площадь болот Западной Сибири составляет 70 млн. км²» (т.е. в 1.3 раза больше площади всей Евразии!) и «...половина этих площадей выбрасывает метан так же интенсивно, как Васюганские болота, а половина – как болота Томского стационара» (т.е. принимается, что и тундра, и лесотундра, и северная, и средняя тайга, а также степь и лесостепь Западной Сибири выбрасывают метан с той же интенсивностью, что и четыре болота в южной тайге и подтайге!). Аналогичная ошибка сделана и в работе [*Бажин*, 2000], где предполагается, что «эмиссия метана от западносибирских болот... составляет примерно 9 мг·м⁻²·ч⁻¹», в то время как величина эта была получена лишь при исследовании одного (!!!) мезотрофного болота в южно-таежной зоне Западной Сибири. Оценки [*Jagovkina et al.*, 2001; *Крылова и Крупчатников*, 2002] получены исключительно методом математического моделирования, причем, по крайней мере в одной из этих работ экспериментальные данные по эмиссии метана из болот Западной Сибири совершенно не использовались для валидации модели. Внимательный анализ работы [*Наумов*, 2003] показывает, что приведенная в ней величина – это лишь оценка эмиссии с части болот Западной Сибири, а именно: северной, средней и южной тайги (возможно в подзону южной тайги здесь включается и подтайга), хотя почему-то автор считает ее суммарной оценкой для болот всей Западной Сибири и сравнивает именно с такой оценкой из [*Andronova and Karol*, 1993]. Чуть лучше оценка [*Bleuten*, 2007] – она включает еще и лесотундру, но тундра, лесостепь и степь все еще не принимаются во внимание. Не избежала погрешностей и наша первая оценка [*Глаголев*, 2007]. Из-за отсутствия экспериментальных данных для поверхностной плотности потока метана в болотах лесостепи, она была принята такой же, как в ближайшей подзоне – в подтайге, но дальнейшие экспериментальные исследования [*Глаголев*, 2008] показали, что такое предположение завышает эмиссию. Кроме того, в [*Глаголев*, 2007] была очень неточно оценена эмиссия в лесотундре.

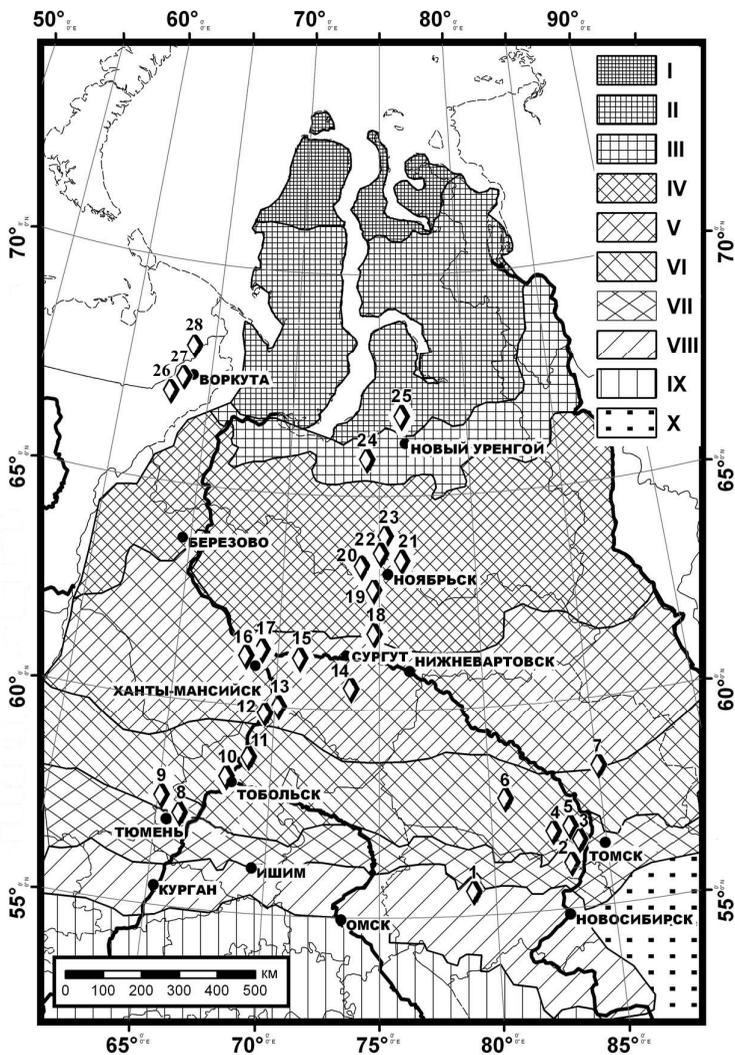


Рис. 1. Ботанико-географическая зональность Западно-Сибирской равнины [Гвоздецкий с соавт., 1973; Лисс с соавт., 2001].

I – подзона арктической тундры; II – подзоны типичной и южной тундры; III – зона лесотундры; IV – подзона северной тайги; V – подзона средней тайги; VI – подзона южной тайги; VII – подзона подтайги; VIII – зона лесостепи; IX – зона степи; X – горы.

В последние годы наконец появляются достаточно надежные экспериментальные данные по эмиссии метана во многих типичных

местообитаниях практически всех природных зон Западной Сибири (рис. 1). Нашей главной целью является обобщение таких данных, и этому посвящено несколько работ, опубликованных в настоящем сборнике. Конкретной задачей данной работы является описание общей концепции «стандартной модели», в рамках которой мы предпринимаем вышеуказанное обобщение данных измерений.

Концепция и история «Стандартной модели»

Существует два взаимодополняющих подхода в определении мощности природных избыточно увлажненных почв как источников метана. Первый основан на длительном мониторинге потоков метана сетью полевых станций, которые покрывают основные виды избыточно увлажненных почв и основные типы растительности. Это позволяет вычислить характерные годовые эмиссии, а затем экстраполировать эти значения на площади, соответствующие каждому виду избыточно увлажненных почв. Для того, чтобы уточнить оценки эмиссии метана от природных переувлажненных почв и предсказать их отклик на наблюдаемые изменения климата, в настоящее время разработано несколько математических моделей [Крупчатников и Крылова, 2004], достаточно полный список которых приведен в [Smagin and Glagolev, 2001].

Во втором подходе с помощью метода обратного моделирования из данных наблюдения о концентрации атмосферного метана выводится информация о вариациях потоков по пространству и времени [Крупчатников и Крылова, 2004].

Обратим внимание на то, что «ядром» первого подхода является длительный мониторинг потоков метана и экстраполяция характерных годовых эмиссий на площади, соответствующие каждому виду избыточно увлажненных почв. На первый взгляд представляется, что этот этап совершенно отсутствует во втором подходе – там распределение эмиссий по пространству и времени должно получиться «автоматически» из наблюдаемых концентраций атмосферного CH_4 . Однако метод обратного моделирования приводит к необходимости решать задачу, некорректную в математическом смысле. Как известно, решить некорректную задачу если и возможно, то лишь при использовании некоторой априорной информации о решении. Такой априорной информацией может быть

- грубая оценка распределения эмиссий по пространству и времени если решение ищется методом пробной функции (о данном методе см. [Бек с соавт., 1989]),
- качественное соотношение между эмиссиями в различных точках пространства и времени (например, утверждения типа: «из рямов эмиссия меньше, чем из открытых мезотрофных топей», «летом

эмиссия больше, чем осенью» и т.п.) если решение ищется на компактном множестве (о данном методе см., например, [Тихонов с соавт., 1990]).

Следовательно, указанная приближенная оценка распределения эмиссий может оказаться полезной при любом подходе. Мы предлагаем такую оценку (полученную на основании данных мониторинга для каждой типичной экосистемы всех природных зон Западной Сибири) и называем ее «стандартной моделью» эмиссии. «Стандартная модель» включает в себя три основных элемента (для каждой природной зоны):

- 1) набор распределения вероятностей поверхностных плотностей потоков метана (ППП) в типичных биогеоценозах зоны (или хотя бы такие характеристики распределений, как квартили);
- 2) продолжительность периода эмиссии метана (ПЭМ);
- 3) площади различных типов болот и соотношения микроландшафтов в них.

На первый взгляд слабым местом предлагаемой концепции «стандартной модели» является то, что она дает лишь современный «срез» эмиссии метана и, казалось бы, не позволяет дать прогноз эмиссии в условиях изменения климата. На самом деле, это не принципиальное, а, так сказать, техническое ограничение, которое в настоящее время может быть снято. Действительно, сейчас появляются работы (например, [Golubyatnikov, 2008]), посвященные моделированию смещения природных зон при возможном изменении климата. Таким образом, предсказание эмиссии CH_4 на основе «стандартной модели» становится возможным, если ее применить к новой системе природных зон, полученных с помощью соответствующих биоклиматических моделей.

С появлением новых данных мониторинга «стандартная модель» непрерывно совершенствуется, в связи с чем следует говорить об историческом ряде таких моделей. Для удобства было предложено обозначать «стандартные модели» эмиссии трехзначным кодом, в котором первый знак (*прописная буква латинского алфавита*) соответствует принятому в данной модели набору ПЭМ и *определяет тип модели*, второй (*строчная буква латинского алфавита*) – совокупности площадей различных типов болот и соотношению элементов микроландшафтов в них (*класс модели*), а третий (*цифра*) – системе типичных величин удельных потоков (*серия модели*).

Самый первый вариант такой «стандартной модели» (для которого, правда, еще не использовалось данное понятие) был представлен в [Глаголев, 2007]. Однако оценка потока, даваемая этой моделью, была статистически ненадежной (или иными словами - имела весьма широкий доверительный интервал). Получение нами в 2007 г. весьма обширного экспериментального материала по удельным потокам почти во всех

природных зонах Западной Сибири и пристальный анализ литературы позволили перейти к новой модели “Aa1” (которая и должна считаться первой в ряду «стандартных моделей»), дающей оценку регионального потока 3.7 ± 1.7 МтС/год [Глаголев, 2008]. В модели “Aa1” наименьшими пространственными единицами были болотные округа, которые выделялись в соответствии с [Лисс с соавт., 2001] (таким образом, средняя площадь пространственной единицы составляла порядка 100 000 км²). Распределение 6 видов характерных экосистем («мерзлотные бугры», «гряды и рямы», «внутриболотные озера», мочажины: «омбротрофные», «мезотрофные», «эвтрофные») по типам болот для различных природных зон в этих моделях было взято из [Peregon et al., 2005]. В настоящее время совместно с коллегами из ИПА СО РАН (г. Новосибирск) и Национального института изучения окружающей среды, (г. Цукуба, Япония) проводится работа над перспективной стандартной моделью “Ab3”. В ней средняя площадь пространственной единицы составляет около 1400 км², количество типичных экосистем увеличено до восьми. Также вновь пересмотрены характерные потоки за счет добавления большого массива измерений, выполненных в северной и средней тайге.

К сожалению, до сих пор не была подробно описана исходная экспериментальная информация, лежащая в основе «стандартной модели» (за одним лишь небольшим исключением – в [Глаголев и Суворов, 2007; Глаголев с соавт., 2007] даны исходные экспериментальные данные и описана процедура их обработки в моделях серии «1», но только для подзоны средней тайги). В предлагаемой вниманию читателя работе мы описываем методологические и методические основы построения «стандартной модели». Данная публикация предвяряет собою серию работ, помещенных в настоящем сборнике далее, в которых отражена исходная экспериментальная информация по эмиссии метана, входящая в «северную» часть (лесотундра, северная и средняя тайга) стандартной модели серии «3».

Период эмиссии метана

К сожалению, авторы существующих оценок эмиссии CH₄ с региона Западной Сибири либо вообще не дают информацию о принятой ими для расчетов величине периода эмиссии метана, как например, в [Бажин, 2000; Bleuten, 2007], либо дают такую величину без всякого обоснования. Некоторые опубликованные значения ПЭМ мы суммировали в табл. 2.

Из табл. видно, что у разных авторов величины ПЭМ сильно отличаются. Однако это, возможно, происходит из-за того, что различные исследователи приписывают понятиям ПЭМ (и ППП) разный смысл. Можно, как это сделано в [Andronova and Karol, 1993; Наумов, 2003], условно считать, что болота выделяют метан круглый год

(ПЭМ = 8786 час. = 365 сут.) но, естественно, при этом величина ППП будет небольшой (т.к. в этом случае она является среднегодовой величиной), а можно считать, как это делают другие исследователи, что болота выделяют метан, действительно, лишь в течение некоторого ПЭМ, существенно меньшего, чем год, но тогда величина ППП будет больше, т.к. в этом случае она является уже не среднегодовой, а, скорее, среднесезонной, причем соответствующей сезону максимально интенсивного выделения CH_4 (заметим, что при использовании подробных математических моделей, таких как в [Крылова и Крупчатников, 2002], понятие ПЭМ вообще не возникает, а для получения годовой эмиссии мгновенные значения ППП, рассчитываемые моделью, интегрируются на годовом интервале).

Таблица 2

ПЭМ и ППП для Западной Сибири по данным разных авторов

<i>Ссылка</i>	<i>Болота региона</i>	<i>ПЭМ, час</i>	<i>Площадь, км²</i>	<i>ППП, мг·м⁻²·ч⁻¹</i>
<i>Andronova and Karol, 1993</i>	Бореального	8786	450 000	0.26
	Суббореального		220 000	0.80
<i>Паников с соавт., 1993</i>	Всей Западной Сибири	3600	700 000	0.68 ± 1.32
<i>Заварзин, 1995</i>	Всей Западной Сибири		70 000 000*)	0.68 ± 1.32
<i>Паников, 1995</i>	Половины Западной Сибири	2640	35 000 000*)	1.2
	Половины Западной Сибири		35 000 000*)	28.4
<i>Наумов, 2003</i>	Северной тайги	8786	183 000	0.24
	Средней тайги		186 000	0.20
	Южной тайги		170 000	0.61
<i>Глаголев, 2007</i>	Тундра	2426	61 700	1.96
	Лесотундра	2830	70 900	0.39
	Северная тайга	3234	174 600	0.21
	Средняя тайга	3908	184 000	1.27
	Южная тайга	4043	123 000	3.09
	Подтайга	4447	56 600	15.15
	Лесостепь	4717	25 000	15.15
Степь	5121	0	0.00	

Примечания: *) Вероятно, у автора описка, а имеется в виду в 100 раз меньшее значение.

Согласно О.Н. Бирюковой, в течение года существует отрезок времени, называемый периодом биологической активности почв (ПБА), когда создаются благоприятные условия для нормальной вегетации растений, активной микробиологической деятельности, когда активны биохимические и микробиологические процессы. Продолжительность ПБА определяется как длительность периода, в течение которого температура воздуха устойчиво превышает 10 °С, а запас продуктивной влаги составляет не менее 1-2% [Орлов, 1985].

При этом (с математической точки зрения) какая-либо характеристика биологической активности $f(t)$, непрерывно возрастающая

от зимы к лету, а потом закономерно убывающая, заменяется ступенчатой функцией f_1 , равной

- а) нулю: от начала года до дня τ , соответствующего началу ПБА;
- б) значению $f_{\text{ПБА}}$: от дня τ до $\tau + \text{ПБА}$, соответствующего концу ПБА;
- в) нулю: в интервале времени от $\tau + \text{ПБА}$ до конца года.

Для такой ступенчатой функции суммарная оценка биологической активности за год (F) оказывается равной произведению двух величин:

$$F = \int_0^{365} f(t) dt \approx \int_0^{\tau} f_1(t) dt = \int_0^{\tau} f_1(t) dt + \int_{\tau}^{\tau + \text{ПБА}} f_1(t) dt + \int_{\tau + \text{ПБА}}^{365} f_1(t) dt = 0 + f_{\text{ПБА}} \cdot (\tau + \text{ПБА} - \tau) + 0 = f_{\text{ПБА}} \cdot \text{ПБА}$$

Однако, использовать именно ПБА (в классическом смысле – по Бирюковой) для наших целей не очень удобно. Действительно, когда говорят о ПБА, то подразумевают биохимические и микробиологические процессы в поверхностном слое почвы. Метаногенные же микроорганизмы обитают в более глубоких почвенных слоях (например, для Бакчарского болота профиль потенциальной метаногенной активности, измеренной в лабораторных условиях, см. в [Паников, 1995], а профиль актуальной метаногенной активности, измеренной непосредственно в полевых условиях – в [Glagolev, 1998]). Поэтому представляется логичным, что интенсивность процесса метанобразования будет определяться не температурой воздуха, а температурой почвы. Кроме того, введенная в определении классического ПБА температура (10 °C), видимо, все-таки, не может быть одной и той же для почв тундры и степи. В частности, в [Glagolev, 1998] суммированы экспериментальные данные, показывающие, что *оптимальная* температура метаногенеза закономерно снижается в высоких широтах, и около 70° с.ш. составляет около 10 °C (раз речь идет сейчас об оптимальной температуре, то, естественно, биологическая активность проявляется уже при значительно меньших температурах). Но, подвергая критике конкретные числовые значения границ ПБА, мы считаем, тем не менее саму идею (выражения годовой эмиссии как простого произведения некоторого периода времени и некоторой характерной эмиссии) достаточно плодотворной. При встает следующая задача: **найти такой показатель продолжительности периода эмиссии метана, чтобы соответствующий ему поток** (такой, что произведение периода на поток дает суммарную эмиссию за год) **был бы относительно устойчив к изменению количества измерений.**

Как известно, в отличие от индивидуальных числовых характеристик большей устойчивостью обладают средние величины. Значение средних заключается в их свойстве аккумулировать или уравновешивать все индивидуальные отклонения, в результате чего проявляется то наиболее устойчивое и типичное, что характеризует качественное своеобразие варьирующего объекта [Лакин, 1980]. Наиболее

часто используемое среднее – это среднее арифметическое [Теннант-Смит, 1988]. Однако оно будет наилучшей оценкой среднего значения только в предположении, что данные распределены нормально [Тейлор, 1985]. В действительности данные почти никогда не имеют чисто «гауссовского» распределения. Радикальный путь повышения качества оценки в реальных условиях связан с применением робастных оценок, слабо чувствительных к отклонениям от стандартных условий и обладающих высокой эффективностью для широкого класса распределений. Наиболее известной из робастных оценок параметра сдвига распределения случайной величины является выборочная медиана [Костылев с соавт., 1991]. Поэтому в качестве характерных средних значений удельных потоков в «стандартной модели» используются именно выборочные медианы.

Таблица 3

Районирование болот в «стандартных моделях» класса «а»

<i>Провинция или область</i>	<i>Округ</i>	<i>Площадь, км²</i>	<i>Заторфованность</i>
I (1a) Арктическая тундровая провинция (п-ов Ямал)		36 000	0.15
I (1b) Арктическая тундровая провинция (п-ов Гыдан)		28 800	0.22
I (2) Типичная тундровая провинция		108 000	0.17
I (3) Южная тундровая провинция		172 800	0.25
II Западно-сибирская лесотундровая область		1 746 000	0.47
III(1) Северо-таежная провинция западно-сибирских болот	Сургутско-Полесский округ северо-таежных болот	273 600	0.60
	Вахский округ северо-таежных болот	144 000	0.34
	Сосьвинский округ северо-таежных болот	172 800	0.21
	Обь-Назымский округ северо-таежных болот	21 600	0.18
	Аганский округ северо-таежных болот	14 400	0.10
III (2) Средне-таежная провинция западно-сибирских болот	Салымо-Юганский округ средне-таежных болот	129 600	0.29
	Тым-Вахский округ средне-таежных болот	144 000	0.29
	Кеть-Тымский округ средне-таежных болот	100 800	0.31
	Кондинский округ средне-таежных болот	86 400	0.51
III (3) Южно-таежная провинция западно-сибирских болот	Тавдинский округ южно-таежных болот	115 200	0.32
	Васюганский округ южно-таежных болот	144 000	0.39
	Бакчарский округ южно-таежных болот	50 400	0.33
	Кеть-Чулымский округ южно-таежных болот	86 400	0.09
	Обь-Чулымский округ южно-таежных болот	10 800	0.21
III (4) Западно-сибирская подтаежная провинция	Северо-Ишимский округ подтаежных болот	129 600	0.02
	Северобарабинский округ подтаежных болот	72 000	0.41
	Чулымский округ подтаежных болот	50 400	0.08
IV Западно-сибирская лесостепная область	Южно-Ишимский округ лесостепных болот	158400	0.03
	Южнобарабинский округ лесостепных болот	100800	0.15
	Барнаулский округ лесостепных болот	50400	0.04

В [Maksyutov et al., 1999] приведена подробная динамика эмиссии метана (с апреля по ноябрь!) для 6 местообитаний на Бакчарском болоте (Томская обл.). В работе [Суворов и Глаголев, 2007] мы вычислили «истинные» суммарные потоки из каждого местообитания (путем численного интегрирования динамических кривых эмиссии) и, разделив их на соответствующие медианы, нашли ПЭМ. Оказалось, что определенные таким образом ПЭМ в среднем немного (около 10%) превышают продолжительность летне-осеннего периода (150 сут., как он определен в [Рихтер, 1963]). Полученный результат успешно проверялся на длительных рядах наблюдений (близ пос. Польшнянка), полученных Сергеевой и Задорожной [2006].

Для дальнейшего использования ПЭМ в «стандартной модели» вычислялся по объединенному массиву данных из [Maksyutov et al., 1999; Сергеева и Задорожная, 2006], и **в моделях типа «А» принята следующая система ПЭМ (сут.): тундра – 103, лесотундра – 120, северная тайга – 138, средняя тайга – 166, южная тайга – 172, подтайга – 193, лесостепь – 201.**

Площади болот Западной Сибири

Как видно из табл. 2, авторы оценок эмиссии метана с территории Западной Сибири в худшем случае рассматривали ее как один однородный регион (с некоторой средней заболоченностью, периодом эмиссии метана и характерным значением поверхностной плотности потока метана). В лучшем случае Западная Сибирь подразделялась на несколько регионов (максимально – по числу природных зон и подзон). Но, учитывая неравномерность заболачивания отдельных участков и неравномерность распространения болот различных типов на территории Западной Сибири, этого конечно, недостаточно.

В «стандартных моделях» класса «а», в частности, в «Aa1» наименьшими пространственными единицами стали болотные округа, выделенные в соответствии с [Лисс с соавт., 2001] – см. табл. 3. Соотношение различных типов болотных ландшафтов для разных природных зон (табл. 4) в моделях этого класса задается согласно работе [Peregon et al., 2005], основанной на классификации типов болотных биогеоценозов Е.А. Романовой, построенной с учетом биотических и абиотических признаков – растительности, топографических показателей, гидрологии) [Лисс с соавт., 2001: с. 193-194] (к сожалению, в системе Peregon et al., [2005] отсутствует информация по лесотундре; для лесотундры мы брали данные по ключевому участку из [Naumov et al., 2007]).

Таблица 4

Соотношение типов болотных ландшафтов в природных зонах

Тип болота ^{*)}	Доля типа в подзоне	Мерзлые бугры	Гряды и рямы	Понижения			Озера
				омбротрофные	мезотрофные	эвтрофные	
<i>Тундра</i>							
1	0.6666667	0.25	0	0.05	0	0.7	0
2	0.3333333	0.15	0	0	0	0.85	0
<i>Лесотундра</i>							
3	1	0.5066	0	0.4187	0	0	0.0746
<i>Северная тайга</i>							
3	0.492063	0.45	0	0.37	0	0	0.18
4	0.119048	0.46358	0	0.39735	0.00662	0	0.13245
5	0.150794	1	0	0	0	0	0
6	0.18254	0.36363	0.09091	0.27273	0.09091	0	0.18182
7	0.055556	0.42253	0	0.42254	0.01408	0	0.14085
<i>Средняя тайга, южная тайга и подтайга</i>							
8	0.2553191	0	0.27	0.57	0	0	0.16
9	0.1654846	0	0.27	0.57	0	0	0.16
10	0.0898345	0	0.24	0.21	0.21	0.34	0
11	0.4373522	0	1	0	0	0	0
12	0.0520095	0	1	0	0	0	0
<i>Степь и лесостепь</i>							
14	0.1228070	0	0.5	0	0	0.5	0
15	0.0175438	0	0.0909	0	0	0.9091	0
16	0.2456140	0	0	0	0	1	0
17	0.1754386	0	0	0	0	1	0
18	0.0526316	0	0.0323	0	0	0.9677	0
19	0.3684211	0	0	0	0	1	0
20	0.0175439	0	0	0	0	1	0

Примечание: 1 - Полигонально-валиковые и полигонально-трещиноватые (злаково-осоковые и кустарничково-мохово-лишайниковые); 2 - Полигональные в сочетании с травяны-ми и травяномоховыми; 3 - Плоскобугристо-мочажинные и плоскобугристо-мочажинно-озер-ковые (бугры - кустарничково-ерниково-зеленомошно-лишайниковые, мочажины – осоково-сфагновые и пушицево-сфагновые); 4 - Плоскобугристые в сочетании с крупнобугристыми; 5 - Кустарничковые мелкопочватые; 6 - Крупнобугристо-мочажинные и крупнобугристо-мочажинно-озерковые (бугры – кустарничково-мохово-лишайниковые, мочажины – осоково-гипновые и осоково-пушицево-сфагновые); 7 – Крупнобугристые в сочетании с плоскобуг-ристыми; 8 - Болотно-озерные комплексы (сфагновокустарничковые и кустарничково-лишай-никовые, редко облесенные сосной и кедром, микрорландшафты с обилием крупных озер и озерков); 9 - Грядово-мочажинные и грядово-мочажинно-озерковые (гряды – сфагново-кус-гарничковые, облесенные сосной, мочажины – сфагново-шейхцериевые и сфагново-осоковые в сочетании с озерами); 10 - Грядово-озерковые в сочетании с озерами (гряды - сфагново-кустарничковые, облесенные сосной); 11 - Лесные и мохово-лесные (сосново-кустарничковые и сфагново-кустарничково-сосновые); 12 - Моховые (сфагново-кустарничковые и сфагново-кустарничково-пушицевые, редко облесенные сосной); 14 - Грядово-мочажинные (гряды – осоково-гипново-кустарничковые, мочажины – осоково-гипновые); 15 - Травяно-моховые (осоково-гипновые) в сочетании с выпуклыми олиготрофными (сфагново-кустарничково-сосновыми) «рямами»; 16 - Травяные и травяно-моховые (осоково-гипновые, осоково-сфаг-новые и осоковые); 17 - Лесные (березово-вейниково-осоковые, березово-осоково-сфагновые, сосново-березово-осоково-сфагновые); 18 - Тростниковые и тростниково-осоковые «займи-ща» в сочетании с выпуклыми олиготрофными «рямами»; 19 - Тростниковые, тростниково-осоковые и вейниковые; 20 - Засоленные светлуховые и вейниковые.

Благодарности

Автор приносит искреннюю благодарность своему бывшему студенту-дипломнику (МГУ им. М.В. Ломоносова) Г.Г. Суворову, оказавшему помощь в создании табл. 3. Рис. 1. создан Филипповым И.В. и Клепцовой И.Е., любезно разрешившим использовать его в данной работе, за что автор им также очень благодарен.

Список литературы

Бажин Н.М. 2000. Метан в атмосфере // *Соросовский образовательный журнал*, 6(3), 52-57.

Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клер Ч., мл. 1989. Некорректные обратные задачи теплопроводности. – М.: Мир. – 312 с.

Гвоздецкий Н.А., Криволицкий 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. 2007 // *Болота и биосфера: Сборник материалов 6-ой Научной Школы (10 – 14 сентября 2007 г.)*. – Томск: Изд-во ЦНТИ. – С. 33-41.

Глаголев М.В., Клепцова И.Е. 2007 // *Материалы Российской конференции "Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу"*. – Томск: "Аграф-Пресс". – С. 308-311.

Глаголев М.В., Лапшина Е.Д., Плюснин И.И. 2007 // *Биологические ресурсы и природопользование: Сб. науч. тр. Вып. 10*. – Сургут: Дефис. – С. 5-35.

Глаголев М.В., Суворов Г.Г. 2007 // *Доклады по экологическому почвоведению*, 6(2), 90-162.

Заварзин Г.А. 1995 // *Природа*, 6, 3-14.

Кароль И.Л. 1996 // *Метеорология и гидрология*, 11, 5-12.

Крупчатников В.Н., Крылова А.И. 2004 // *География и природные ресурсы*. Спец. вып. «Труды международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2004», 272-276.

Крылова А.И., Крупчатников В.Н. 2002. Глобальное моделирование потоков метана от болотных экосистем // *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Кабанов М.В. (ред.)*. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН. – с. 98-103.

Костылев А.А., Миляев П.В., Дорский Ю.Д., Левченко В.К., Чукулаева Г.А. 1991. Статистическая обработка результатов экспериментов на микро-ЭВМ и программируемых калькуляторах. – Л.: Энергоатомиздат. – 304 с.

Лакин Г.Ф. 1980. Биометрия. – М.: Высшая школа. – 293 с.

Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слука З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. – Тула: Гриф и К^о – 584 с.

Наумов А.В. 2003. Болота как источник парниковых газов на территории Западной Сибири // Вторая Международная конференция «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии», 16-20 июня 2003: Тезисы докладов. – Пушкино. – с. 86-87.

Орлов Д.С. 1985. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ. – 376 с.

Паников Н.С. 1995. Таежные болота – глобальный источник атмосферного метана? // *Природа*. №6. С. 14-25.

Паников Н.С., Титлянова А.А., Палеева М.В., Семенов А.М., Миронычева-Токарева Н.П., Макаров В.И., Дубинин Е.В., Ефремов С.П. 1993. Эмиссия метана из болот юга Западной Сибири // *ДАН*, **330**(3), 388-390.

Рихтер Г.Д. 1963. Западная Сибирь. – М.: Изд-во АН СССР. – с. 9, 19.

Сергеева М.А., Задорожная С.В. 2006. Образование и эмиссия метана в торфяных залежах олиготрофного болота // Болота и биосфера: Сборник материалов Пятой Научной Школы (11-14 сентября 2006 г.). – Томск: Изд-во ЦНТИ. – с. 238-244.

Суворов Г.Г., Глаголев М.В. 2007. Продолжительность «периода эмиссии метана» // Болота и биосфера: Сборник материалов Шестой Научной Школы (10-14 сентября 2007 г.). – Томск: Изд-во ЦНТИ. – с. 270-274.

Тейлор Дж. 1985. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир. – 272 с.

Теннант-Смит Дж. 1988. Бейсик для статистиков. – М.: Мир. – 208 с.

Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. 1990. Численные методы решения некорректных задач. – М.: Наука.

Andronova N.G., Karol I.L. 1993. The contribution of USSR sources to global methane emission // *Chemosphere*, **26**, 111-126.

Bleuten W. 2007. Do western siberian mires sequesterate atmospheric carbon and feed back climate warming? // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: Прошлое и настоящее: Материалы Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.) / С.Э. Вомперский (ред.). – Томск: НТЛ. – с. 8-9.

Glagolev M.V. 1998. Modeling of Production, Oxidation and Transportation Processes of Methane // Global Environment Research Fund: Eco-Frontier Fellowship (EFF) in 1997. Tokyo: Environment Agency. P. 79-111.

Glagolev M.V. 2008. Standard model of methane emission from the West Siberian wetlands // Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей

среды: «ENVIROMIS-2008» (Томск, 28 июня - 5 июля 2008 г.): Тезисы докладов. - Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. - С. 74.

Glagolev M.V., Maksyutov S.S., Peregon A.M., Shnyrev N.A. 2007. The data base of CH₄ emission from soils of Russia // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: Прошлое и настоящее: Материалы Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.) / С.Э. Вомперский (ред.). – Томск: НТЛ. – с. 128-129.

Golubyatnikov L.L. 2008. Model estimation for the impact of climate change on the vegetation dynamics in the Northern Eurasia // Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: «ENVIROMIS-2008» (Томск, 28 июня - 5 июля 2008 г.): Тезисы докладов. - Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. - С. 90.

Jagovkina S.V., Karol I.L., Zubov V.A., Lagun V.E., Reshetnikov A.I., Rozanov E.V. 2001. Methane fluxes in West Siberia: 3-D regional model simulation // *Water, Air & Soil Pollution: Focus*, **1**(5-6), 429-436.

Maksyutov S., Inoue G., Sorokin M., Nakano T., Krasnov O., Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N., Vasiliev S. 1999. Methane fluxes from wetland in West Siberia during April-October 1998 // *Proceedings of the Seventh Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1998*. – Tsukuba: Isebu. – P. 115-124.

Naumov A.V., Huttunen J.T., Repo M.E., Chichulin A.V., Peregon A.M., Filippov I., Lapshina E.D., Martikainen P.J., Bleuten W. 2007 // *Proc. of the 2nd Int. Field Symposium “West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present”* (Khanty-Mansiysk, August 24 – September 2, 2007). – Tomsk: NTL. – P. 132-135.

Peregon A., Maksyutov S., Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N., Tamura M., Inoue G. 2005 // *Phyton*, Spec. issue: «APGC 2004», **45**(4).

Smagin A.V., Glagolev M.V. 2001. // Материалы международного полевого симпозиума “Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее” (Ноябрьск, 18-22 августа 2001 г.). – Новосибирск: ООО «Агентство Сибпринт». – С. 127-130.

THE EMISSION OF METHANE: IDEOLOGY AND METHODOLOGY OF «STANDARD MODEL» FOR WESTERN SIBERIA

Glagolev M.V.

The “standard model” consist on

- a) typical empirical distributions of CH₄ emission for main wetland landscapes in each natural zone of Western Siberia;*
- b) durations of “period of CH₄-emission” (Tundra – 103 days, Forest-Tundra – 120 days, Northern Taiga – 138 days, Middle Taiga - 166 days, Southern Taiga - 172 days, Subtaiga - 193 days, and Forested steppe - 201 days);*
- c) areas of different wetland types in each zone.*

For accounting future improvements we denominate this model by the code, for example: “Aa1” (first letter denominate the used period of CH₄-emission, second letter - the used areas of wetlands, and third - typical values of methane flux).

New estimation of the regional methane emission from West Siberian wetlands (4.9 ± 2.3 Tg/year or 3.7 ± 1.7 TgC/year) was calculated from “standard model” Aa1.