

КЛАССИФИКАЦИЯ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ЭМИССИИ МЕТАНА НА ПРИМЕРЕ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Д.В. Ильясов*, И.Е. Клепцова**, М.В. Глаголев***

*Московский государственный университет, г. Москва, e-mail: danila_ilyasov@mail.ru

**Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, e-mail: kleptsova@gmail.com, m_glagolev@mail.ru

В статье представлены результаты классификации болотных ландшафтов подзоны средней тайги на территории Западной Сибири. В ходе работы составлена подробная карта болотных экосистем Западной Сибири на базе спутниковых снимков Landsat общим размером 170×185 км². Ее пространственное разрешение гораздо выше, чем по результатам предыдущих исследований, и позволяет провести более точную оценку эмиссии метана болотами Западной Сибири. Эмиссия CH_4 с изучаемой территории, согласно настоящему исследованию, составила 89 КтС/год, что на 63 % выше, чем это предполагалось ранее. Вероятно, применение данной методологии ко всей Западной Сибири также приведет к существенному увеличению оценки эмиссии метана.

Введение. В настоящее время существует определенный дисбаланс газового состава атмосферы, обусловленный повышением концентрации парниковых газов. Данные регулярных измерений свидетельствуют о том, что с начала индустриальной эпохи (около 1750 г.) содержание в атмосфере углекислого газа увеличилось примерно на 30 %, закиси азота на 16 %, метана в 2.5 раза [1].

Однако вклад каждого из перечисленных газов¹ в нарушение складывавшегося тысячелетиями теплового баланса не равнозначен. В настоящее время вклад CO_2 в парниковый эффект составляет более 60 %, на метан приходится около 20 %, а за оставшиеся 20 % ответственны другие парниковые газы. Поскольку концентрация CH_4 в индустриальную эпоху росла значительно быстрее концентрации CO_2 , очевидно, что при сохранении существующей тенденции в будущем вклад метана в усиление парникового эффекта будет еще более весомым [1].

Таким образом, инвентаризация потоков метана из различных источников является первоочередной задачей в вопросе глобального потепления. В мире уже проведено множество измерений на разнообразных территориях [2–5], однако большая часть нашей страны до сих пор остается своеобразным «белым пятном» на карте исследований потоков метана в мире [6].

В этом смысле, особенно важным источником CH_4 оказываются болота, поскольку они обуславливают 20–30 % от его ежегодной глобальной эмиссии в атмосферу [2, 5].

Если судить по количеству выполненных измерений, то на территории России, пожалуй, лучше всего изучены болотные ландшафты Западной Сибири [7] – на данный

¹ Подчеркнем, что речь идет именно о газах, без учета водяного пара, на который приходится основной вклад в парниковый эффект, что связано с высоким содержанием его в атмосфере и наличием у него широких и мощных полос поглощения в инфракрасной области спектра.

момент здесь получено больше 2000 значений удельных потоков [8], а также рассчитаны периоды эмиссии метана для каждой природной зоны/подзоны [9]. Хорошо известно, что удельный поток метана тесно связан с типом микроландшафта, который может быть определен дистанционно на основе спутниковых снимков [10]. Таким образом, теоретически, особых трудностей при оценке потока с территории даже весьма крупных регионов быть не должно. Однако на практике точность имеющихся сегодня региональных оценок эмиссии серьезно лимитирована не столько отсутствием экспериментальных данных об удельных потоках в тех или иных микроландшафтах, сколько отсутствием подробных карт болотных ландшафтов (в т.ч. и для Западной Сибири).

Цель настоящей работы заключается в уточнении оценки эмиссии метана с болот Западной Сибири с помощью создания новой детальной карты болотных ландшафтов по снимкам Landsat. В качестве объекта исследований была выбрана территория покрытия двух снимков в подзоне средней тайги Западной Сибири. Согласно вышеуказанной цели исследования были поставлены следующие задачи:

- создание подробной карты болотных экосистем на основании космических снимков Landsat для тестового участка в подзоне средней тайги общим размером 170×185 км;
- оценка эмиссии метана с изучаемой территории на основании новой карты;
- сравнение оценок эмиссий метана с данной территории, полученных по двум картам.

Методы и объекты исследования. *Спутниковые снимки и программное обеспечение.*

В качестве объекта дешифрирования использовались два снимка Landsat, находящихся в открытом доступе в сети Интернет [11]. Эти снимки представляют собой рабочий набор из восьми фотографий-слоев, которые несут в себе информацию в различных спектральных диапазонах [12]. При дешифрировании использовалось следующее программное обеспечение: QGIS v. 1.9, MultiSpec v. 3.3 (Purdue University, USA) и MatLab v. 7.11 (The MathWorks, Inc.; USA).

Алгоритм дешифрирования. Дешифрирование снимков проводилось в несколько этапов. Первый этап – создание «маски», т.е. изображения-фильтра, позволяющего «отсеять» (согласно их спектральным характеристикам) те типы экосистем, которые не представляют интереса для дешифрирования [12]. Для создания «маски» использовались два параметра: GRVI (Green-Red Vegetation Index) и NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [12].

В QGIS был создан слой-маска болот, где всем пикселям с показателем $NDVI \leq 0$ или $GRVI \geq 0.9$ присваивалось значение 1, а остальным пикселям – значение 0. Заключительной операцией создания «маски» являлось удаление шумов, которое производилось в MatLab при помощи стандартного алгоритма «усреднение в квадрате 3 на 3»

Второй этап – перемножение слоя «маски» со всеми слоями мультиспектрального изображения. В результате отсеивалась большая часть «неболотных» ландшафтов, например, лесов.

Третий этап – собственно дешифрирование снимка (в программе MultiSpec с помощью стандартного метода «supervised classification»). После выделения нескольких эталонных участков для каждого класса запускался процесс автоматического дешифрирования, при котором каждый пиксель относился к тому или иному классу в соответствии со своими спектральными характеристиками. Завершающей операцией являлось удаление шумов с карты и ее генерализация (т.е. сокращение исходного количества классов до нескольких значащих).

Четвертый этап – подсчет площадей различных типов болотных микроландшафтов. Полученные результаты в дальнейшем использовались для расчета потока метана с территории тестового участка [13], который осуществлялся по данным полевых измерений, обобщенных в «стандартную модель» Vc8 [8].

Типы болотных экосистем на территории покрытия снимков. В качестве объекта исследований был выбран тестовый участок в подзоне средней тайги к юго-западу от г. Ханты-Мансийск (59.75°–60.25° с.ш., 64.25°–69.25° в.д.). Преобладающими ландшафтами на рассматриваемой территории оказались различные виды грядово-мочажинных комплексов (42 % площади), вторыми по распространенности – рямы (33.5 %), далее следовали озера (13.8 %), сходные площади (10.7 %) занимали различные виды эвтрофных и мезотрофных болот. Таким образом, на олиготрофные ландшафты в данном районе приходится почти 90 % территорий.

Результаты и обсуждение. Одной из первых задач, встающих при создании новой карты, является разработка типологии болотных ландшафтов, подходящей для поставленных целей. На основании [14] были определены болотные комплексы, имеющие широкое распространение на территории средней тайги. Эти болотные ландшафты были разбиты на составляющие их типы микроландшафтов, характеризующиеся известными потоками метана (рис. 1в). Далее по разработанной типологии был дешифрирован тестовый участок, занимающий территорию в 34 192 км².

На рис. 1а, 1б изображены два территориально идентичных участка, относящихся к созданной нами карте и к карте Романовой с соавт. [15], которую мы использовали в электронной форме [16]. Очевидно, что количество выделенных типов болот (рис. 1в, 1г), и детальность карты, полученной в результате данной работы, существенно выше. Это значительно увеличило точность оценки эмиссии метана с болот, расположенных на данной территории.

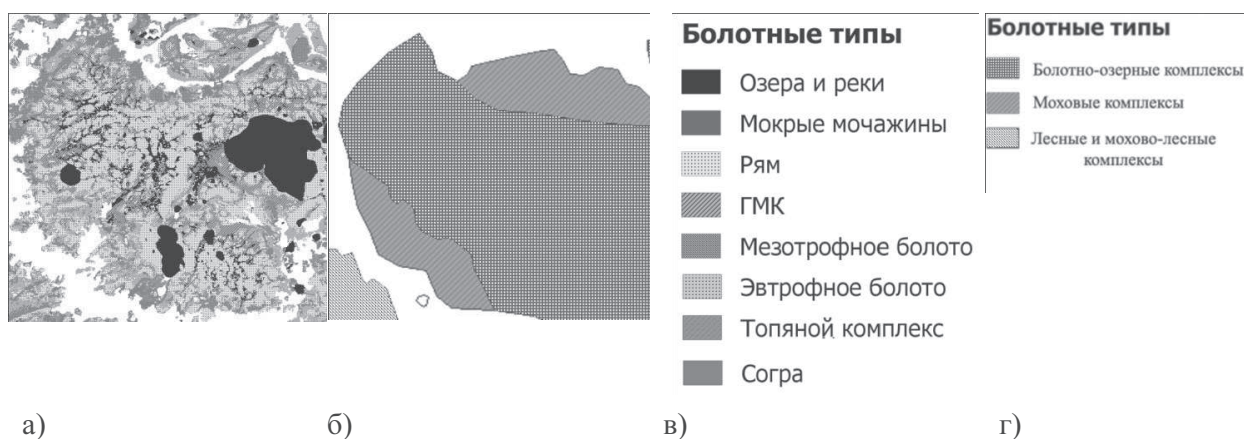


Рисунок 1. Сравнение детальности дешифрирования: а) карта, созданная нами; б) карта Романовой с соавт. [15, 16]; в) типология болот, используемая нами; г) типология болот карты Романовой с соавт. [15, 16]

Годовой поток метана, полученный на основании нашей карты при использовании данных по потокам и периодам эмиссии метана из [8], составил для тестового участка размером $170 \times 185 \text{ км}^2$ 89 КтС, в то время как согласно карте Романовой с соавт., он (для того же участка) составил всего 54.4 КтС (табл. 1). Данный результат обусловлен тем, что площадь мезо- и эвтрофных болот, характеризующихся относительно высоким удельным потоком CH_4 ($3.22 \text{ мгС/м}^2/\text{ч}$), на карте Романовой с соавт. занижена по сравнению с новой картой на 2118 км^2 .

Таблица 1

Сравнение эмиссий метана из болотных экосистем

Тип микроландшафта	Удельный поток метана, $\text{мгС/м}^2/\text{ч}$	Оценка по карте Романовой с соавт. [15]			Оценка по результатам настоящего исследования		
		Площадь, км^2	Доля от общей площади болот, %	Поток метана, тС/год	Площадь, км^2	Доля от общей площади болот, %	Поток метана, тС/год
Озера	0.49	772.8	3.9	1468	2815.0	13.8	5348
Обводненные мочажины	4.72	264.4	1.3	4878	596.1	2.9	10999
Мочажины	2.76	4036.9	20.5	43508	3932.5	19.3	42383
Гряды ГМК	0.13	5511.0	28.0	2776	4050.0	19.8	2040
Рямы	0.03	9052.0	45.9	937	6843.8	33.5	708
Мезо- и эвтрофные	3.22	67.6	0.3	851	2185.8	10.7	27533
СУММА		19704.7	100	54418	20423.1	100	89011

Кроме того, площадь обводненных мочажин, также характеризующихся высоким удельным потоком метана ($4.72 \text{ мгС/м}^2/\text{ч}$), занижена на 338 км^2 , а озер ($0.49 \text{ мгС/м}^2/\text{ч}$) – на 2042 км^2 . В свою очередь ранее данные территории причислялись к рямам и грядам ГМК,

чья площадь по карте Романовой оказалась завышена на 2208 км² и 1461 км², соответственно. Однако именно эти ландшафты обладают низкими удельными потоками метана (0.03 и 0.13 мгС/м²/ч, соответственно).

Таким образом, более точная оценка эмиссии метана болотами по новой карте привела к увеличению потока метана на 63 % по сравнению с картой Романовой с соавт. Вероятно, применение данной методологии ко всей Западной Сибири также приведет к существенному увеличению оценки эмиссии метана.

В заключение отметим, что предложенная методика, вероятно, будет немного занижать поток СН₄ с южных территорий. Это связано с широким распространением там болот, осушенных под различные хозяйственные нужды (гидролесомелиорация, пастбища, добыча торфа и др.) и характеризующимися близкими к нулевым или даже отрицательными удельными потоками СН₄ (см., например, [17]). Идентификация осушенных болот на спутниковых снимках составит одно из направлений наших будущих исследований.

Список литературы

1. Кароль, И.Л., Киселев А.А. Атмосферный метан и глобальный климат // Природа. – 2004. – №7. – С 47–52.
2. Matthews E., Fung I. Methane emission from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources // Global Biogeochemical Cycles. – 1987. – V. 1. – P.61–86.
3. Aselmann I., Crutzen P.J. Global distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies, their Net Primary Productivity, Seasonality and Possible Methane Emissions // Journal of Atmospheric Chemistry. – 1989. – V. 8. – P. 307–358.
4. Matthews E., Fung I., Lerner J. Methane emission from rice cultivation: geographic and seasonal distribution of cultivated areas and emissions // Global Biogeochemical Cycles. – 1991. – V. 5. – P. 3–24.
5. Bartlett K.B., Harriss R.C. Review and assessment of methane emissions from wetlands // Chemosphere. – 1993. – V. 26. – P. 261–320.
6. Glagolev M.V., Maksyutov S.S., Peregon A.M., Shnyrev N.A. The data base of CH₄ emission from soils of Russia // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: Прошлое и настоящее: Матер. Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.) / Под ред. акад. С.Э. Вомперского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 128–129.
7. Глаголев М.В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков СН₄ и СО₂ из болот России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2010. – Т.1. – №2. – С. 5–57.
8. Glagolev M., Kleptsova I., Filippov I., Maksyutov S., Machida T. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes // Environ. Res. Lett. – 2011. – V. 6. – No. 4. 045214. DOI:10.1088/1748-9326/6/4/045214.
9. Глаголев М.В. Эмиссия метана: идеология и методология «стандартной модели» для Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата: Сб. научных трудов кафедры ЮНЕСКО ЮГУ; Под ред. М.В.Глаголева и Е.Д.Лапшиной. – Вып. 1 – Новосибирск: НГУ, 2008. – С. 176–190.

10. Глаголев М.В., Шнырев Н.А. Анализ космических снимков – перспективное направление в изучении газовой функции болотных экосистем // Болота и биосфера: Сборник матер. Пятой научной школы (11–14 сентября 2006 г.). – Томск: ЦНТИ, 2006. – с. 104–114.
11. USGS Global Visualization Viewer, URL: www.glovis.usgs.gov.
12. Huete A., Justice C. Algorithm theoretical basis document. University of Virginia, Department of Environmental Sciences Clark Hall Charlottesville, 1999. 120 P.
13. Kleptsova I., Glagolev M., Lapshina E., Maksyutov S. Land covers classification of West Siberian wetlands and its application for estimating methane emissions. – In Press. 2012.
14. Кац Н.Я., Нейштадт М.И. Болота // Западная Сибирь / Под ред. Рихтера Г.Д. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 230–248.
15. Романова Е.А., Быбина Р.Т., Голицина Е.Ф., Иванова Г.М., Усова Л.И., Трушникова Л.Г. Типологическая карта болот Западно-сибирской равнины. Масштаб 1:2 500 000. – Л.: ГУГК, 1977.
16. 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. G01007. DOI:10.1029/2007JG000441
17. Глаголев М.В., Чистотин М.В., Шнырев Н.А., Сирин А.А. Летне-осенняя эмиссия диоксида углерода и метана осушенными торфяниками, измененными при хозяйственном использовании, и естественными болотами (на примере участка Томской области) // Агрохимия. – 2008. – №5. – С. 46–58.

LAND COVER CLASSIFICATION OF MIRES AND ITS APPLICATION FOR ESTIMATING METHANE EMISSIONS: CASE STUDY OF MIDDLE TAIGA

D.V. Ilyasov, I.E. Kleptsova, M.V. Glagolev

The paper represents land cover classification results of wetland landscapes in West Siberia middle taiga. Map of mire ecosystems based on Landsat images with the total size of 170×185 km was created and used for further methane flux inventory. Its spatial resolution was significantly higher comparing with the previously used map. Thus it allows estimating total methane emission from test site wetlands more accurately. As a result, annual CH₄ emission was revealed to be 89 KtC, it is 63 % higher comparing to previously used map. Probably land cover classification of all West Siberia mires will also lead to the increasing of total methane flux.