

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ CH₄ И CO₂ В РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ МЕЗООЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

© 2014 М.Н. Мигловец, О.А. Михайлов, С.В. Загирова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Поступила 17.12.2013

В статье представлены результаты измерений вертикальных потоков CH₄ и CO₂ в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги в период вегетации. Дана количественная оценка нетто-обмена метана и диоксида углерода для трех типов болотных фитоценозов. Эмиссия метана на участках с близким к поверхности залеганием грунтовых вод была значительно выше, чем на кочках. В течение сезона максимум выделения метана в атмосферу наблюдали в июле. Положительный нетто-обмен CO₂ с атмосферой выявлен в мезотрофных и мезоевтрофных сообществах. Эмиссия диоксида углерода преобладала на микроповышениях олиготрофного участка болота.

Ключевые слова: эмиссия метана, нетто-обмен диоксида углерода, мезоолиготрофное болото.

ВВЕДЕНИЕ

Болота и оторфованные земли занимают значительные территории бореальной зоны, а запасы углерода в них достигают 1400 т га⁻¹ (Букварева, 2010). Ежегодное связывание углерода в болотах северного полушария оценивается в среднем в 29 г м⁻² год⁻¹ (Gorham, 1991). Однако углеродопоглощающая способность болотных экосистем зависит от их типа, видового состава растительных сообществ и гидротермического режима в период вегетации (Aurela et al., 2004; Глаголев и др., 2005; Ракович, 2011). Изменение климата также отражается на величине и направлении потоков углерода между болотом и атмосферой (Влияние..., 2006). На Европейском Северо-Востоке России исследования процессов газообмена CO₂ и CH₄ на болотах немногочисленны, имеются единичные публикации по изучению эмиссионных потоков в тундре (Замолотчиков и др., 1997; Heikkinen et al., 2004) и среднетаежной подзоне (Gažovič et al., 2010; Михайлов и др. 2011). Недостаток эмпирических данных не позволяет в полной мере оценить роль таежных болот в поглощении парниковых газов. Поэтому цель настоящей работы состояла в характеристике нетто-обмена метана и диоксида углерода в растительных сообществах мезоолиготрофного болота в течение вегетации.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектом исследований является мезоолиготрофное болото Медла-Пэв-Нюр, расположенное в Сыктывдинском районе Республики Коми (61°

56' с.ш. 56° 13' в.д.). Площадь болота составляет 2790 га, средняя мощность торфа – 1.4 м, максимальная – 3.4 м. Болото располагается на второй надпойменной террасе, его водоприемниками служат р. Пожег и р. Пычим (Торфяные..., 2000). Измерения потоков CO₂ и CH₄ проводили на 3 участках болота, различающихся по видовому составу растений, их обилию и характеру микро-рельефа.

Участок №1 находился на олиготрофной кочке, в травяно-кустарничковом ярусе доминировали *Chamaedaphne calyculata* Moench (10%), *Oxycoccus palustris* Pers. (4%) и *Andromeda polifolia* L. (4%). Единично встречалась *Carex limosa* L.. Моховой ярус образован мхами рода *Sphagnum* (100%). Глубина торфяной залежи на данном участке составила 220 см. Верхние слои профиля сложены слаборазложившимся (5%) сфагновым торфом *Sphagnum magellanicum* Brid. Средний горизонт представлен переходными осоково-шейхцериевым и древесно-травяно-сфагновым торфами средней степени разложения (25-30%). Нижние горизонты торфяного профиля сложены переходными пушицево-шейхцериевыми и древесно-шейхцериевыми торфами со степенью разложения 30-40%.

Участок №2 располагался на мезотрофном кустарничково-травяно-сфагновом сообществе, где доминировали *Carex rostrata* Stokes (до 50%) и *Oxycoccus palustris* (10%), единично встречалась *Betula nana* L. В моховом ярусе преобладали мхи рода *Sphagnum* (100%). На этом участке мощность торфа составила 190 см. Верхние слои профиля образованы слаборазложившимся (5-10%) сфагновым торфом *Sphagnum angustifolium* (C. E. O. Jensen ex Russow) C. E. O. Jensen. На глубине 70-90 см торфяная залежь состояла из древесно-пушицевого торфа переходного типа со степенью разложения 25%. Глубокие слои профиля представлены переходными пушице-шейхцериевым и древесно-шейхцериевым торфами, степень их разложения – 35%.

Мигловец Михаил Николаевич, инженер I категории отдела лесобиологических проблем Севера, miglovets@ib.komisc.ru; Михайлов Олег Алексеевич, и.о. младшего научного сотрудника отдела лесобиологических проблем Севера, mikter@mail.ru; Загирова Светлана Витальевна, доктор биологических наук, заведующая отделом лесобиологических проблем Севера, zagirova@ib.komisc.ru

Участок №3 располагался на мезоевтрофной травяно-моховой проточной топи. В травяно-кустарничковом ярусе доминировали *Scheuchzeria palustris* L. (до 50%) и *Utricularia intermedia* Hayne (20%). Незначительное пространство занимали *Oxycoccus palustris* (4%), *Menyanthes trifoliata* L. (4%), *Carex limosa* (4%) и *Andromeda polifolia* L. (3%). Единично встречалась *Betula nana*. Моховой ярус представлен мхами рода *Sphagnum* (80%), р. *Calliergon*, а также *Warnstorfia exannulata* (Bruch et al.) Loeske. Мощность торфяной залежи составляла 180 см. Верхний горизонт сложен слаборазложившимся (15%) шейхцириево-сфагновым торфом верхового типа. Средние и более глубокие горизонты залежи образованы переходными древесно-пушицевым, древесно-пушицево-шейхцириевым и древесно-осоково-шейхцириевым торфами со степенью разложения 30-35%.

Исследования проводили в июне – августе 2008 г. Погода в этот период была неустойчивой, тёплые дни чередовались с прохладными (рис. 1А). В июне тёплая погода установилась во второй декаде, среднемесячная температура воздуха составила +14.3 °С, количество осадков было в пределах нормы (48 мм). В июле преобладала жаркая погода без осадков, со среднемесячной температурой +18.6 °С. В августе первая декада была прохладной, во второй декаде установилась дождливая погода. Температура среднемесячная не превышала +13.3 °С, сумма осадков составила 144 мм. Интенсивность ФАР, поступающей к поверхности болота, зависела от характера погоды. В ясные солнечные дни она достигала 1660 мкмоль м⁻²с⁻¹, тогда как в облачную и дождливую погоду снижалась до 100 – 350 мкмоль м⁻²с⁻¹ (рис. 1Б). Уровень грунтовых вод (УГВ) на участках в течение летних месяцев также определялся погодными условиями, его повышение было вызвано усилением осадков в августе (рис. 1В). В целом в этот год продолжительность летнего периода была на 2-3 недели короче среднемноголетней нормы.

Для измерений потоков метана использовали алюминиевые камеры объемом 0,108 м³, оснащенные термометром, вентилятором и штуцером для отбора проб. Камеру устанавливали на металлические рамки размером 60х60 см, углубленные в торф на 40 см. Для отбора проб воздуха из камеры использовали пластиковые шприцы объемом 60 мл. Измерения проводили 2-3 раза за сутки, экспозиция составляла 20 мин. Анализ проб выполнен на газовом хроматографе HP (Hewlett Packard – 5890 (II)) с плазменно-ионизационным детектором. Скорость эмиссии рассчитывали по уравнению идеального газа:

$$Flux = \frac{M_{CH_4} \times \rho \times V \times \frac{dC}{dt}}{R \times A \times T}$$

где Flux – величина скорости эмиссии метана (мкгСН₄ м⁻²с⁻¹); M_{СН₄} – молярная масса метана (16.043 г моль⁻¹); ρ – атмосферное давление на момент измерения (Па); V – объем камеры (0.108 м³); dC/dt – изменение концентрации газа во времени t; R – универсальная газовая постоянная (8.314472 Па м³ моль К); A – площадь рамы, ограничивающей поверхность (0.36 м²); T – температура внутри камеры на момент измерения (К).

Суточный баланс потоков метана для каждого участка рассчитывали по формуле:

$$F_{сут} = F_{день} * 0.0864$$

где F_{сут} – поток метана за сутки (г м⁻² сут⁻¹), F_{день} – средняя величина потока за дневное время суток (мкг м⁻² сек⁻¹), 8.64·10⁻² – коэффициент конвертирования скорости выделения метана из мкг сек⁻¹ в г сут⁻¹. Количество эмитированного метана за месяц рассчитывали путем умножения среднего для трех дней значения потока метана на количество дней в каждом месяце.

Измерения вертикальных потоков СО₂ в приземном слое атмосферы проводили с помощью газоанализатора Li-840 (Li-Cor Inc., США) и светлой камеры объемом 0.14 м³, изготовленной из оргстекла. Нетто-обмен диоксида углерода (NEE) определяли три раза за сутки на тех же участках, где проводили измерения потоков метана. Время экспозиции камеры составило весной и осенью 4 мин, летом - 3 мин. Температуру почвы на глубине 30 см измеряли автоматическими датчиками фирмы Нобо (США). Для определения уровня грунтовых вод использовали пластмассовые трубки, установленные в верхних горизонтах почвы. Обработку полученных данных производили в программе Matlab (лицензия Университета Грайфсвальда, ФРГ), позволяющей количественно оценить потоки диоксида углерода с учетом различных факторов среды, а также в программе Microsoft Excel (лицензия Института биологии Коми НЦ УрО РАН).

Баланс вертикальных потоков диоксида углерода за сутки рассчитывали по формуле:

$$NEE_{сут} = 0.0036 * ((NEE_{ср.день} * N_{день}) + (NEE_{ср.ночь} * N_{ночь}))$$

где NEE_{ср.день} – средний нетто-обмен диоксида углерода за светлое время суток, когда значения ФАР ≥ 20 мкмоль м⁻²с⁻¹, NEE_{ср.ночь} – средний нетто-обмен вертикальных потоков диоксида углерода за темное время суток, когда значения ФАР ≤ 20 мкмоль м⁻²с⁻¹ (ночь), N_{день} – продолжительность светлого периода суток (час), N_{ночь} – продолжительность темного периода суток (час). 0.0036 – коэффициент конвертирования скорости СО₂ – газообмена из мкг м⁻²с⁻¹ в г м⁻²сут⁻¹. Баланс вертикальных потоков СО₂ за месяц рассчитывали, умножая среднее значение суточных NEE за месяц на количество дней в каждом месяце.

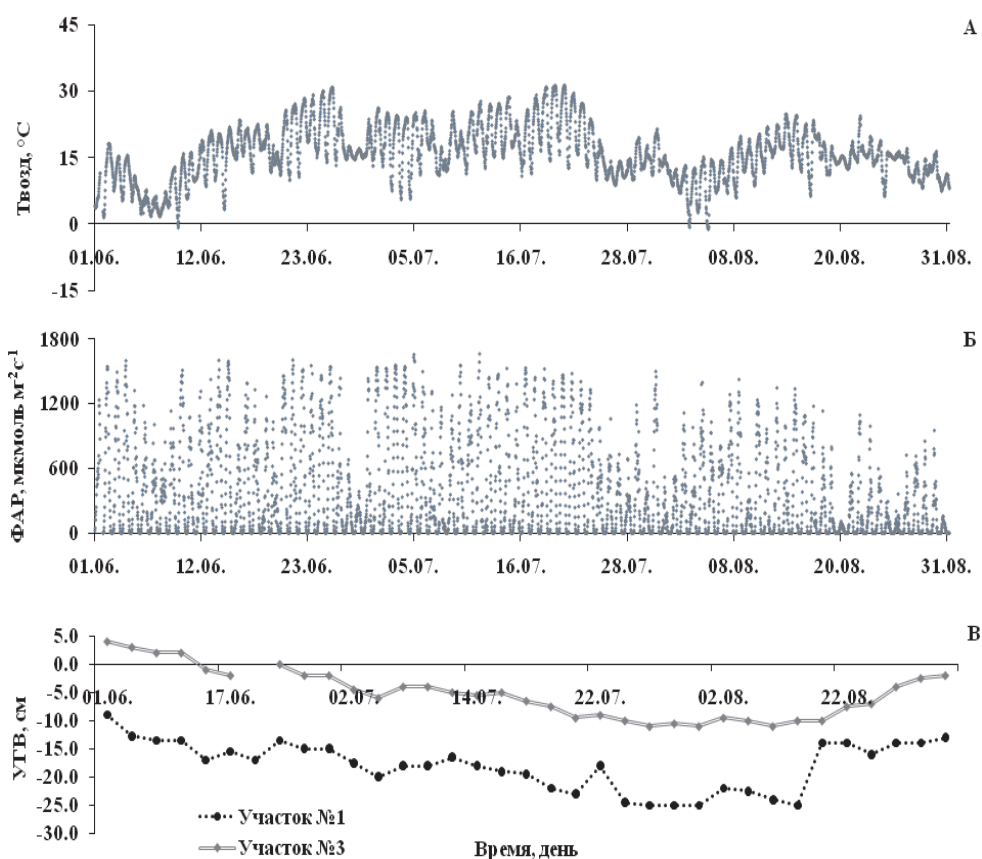


Рис. 1. Динамика $T_{\text{возд}}$ (А), интенсивности ФАР (Б) и УГВ (В) в июне – августе 2008 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На мезоолиготрофном болоте выбранные нами сообщества растений различались по скорости эмиссии метана в атмосферу (рис. 2). Более высокую скорость выделения метана наблюдали с поверхности мезоевтрофной травяно-сфагнутой проточной топи и мезотрофного кустарничко-травяно-сфагнутого ковра. Менее активный поток отмечен с поверхности кочки на олиготрофном участке. Влияние ботанического состава ценоза и характера микрорельефа на скорость эмиссии метана на болотах было показано ранее в исследованиях других авторов (Panikov et al., 2001; Kutzbach et al., 2004). Причиной этому является высокое положение зеркала грунтовых вод, что создает более благоприятные условия для продукции метана анаэробными бактериями в торфяной залежи (García et al., 2000). Согласно некоторым авторам, высокая скорость эмиссии метана на таких участках может быть связана также с высокой долей в сообществах растений осоки и шейхцерии, обладающих способностью транспортировать до 90% метана из торфяной залежи в атмосферу (Whiting, Chanton, 1992).

В целом за период наблюдений скорость эмиссии метана на исследованном нами болоте составила $0.2 - 4.5 \text{ мкг м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ с олиготрофной кочки, $1.2 - 15.5 \text{ мкг м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ – на мезотрофном осоково-

сфагнутом ковре и $1.33 - 12.47 \text{ мкг м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ – на мезоевтрофной проточной топи. Суточные величины эмиссии метана с поверхности трёх участков за период наблюдений варьировали в пределах $0.02 - 0.6 \text{ г CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, а в среднем составили $0.34 \text{ г CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Эта величина в 1.5 раза ниже результатов, полученных другими авторами для болот Голландии (Van den Pol-Van Dasselaar et al., 1999), Канады (Bubier et al., 1993) и США (Alford et al., 1997), однако значительно превышает данные, полученные ранее для почв тундровых экосистем на территории Сибири (Евграфова и др., 2010) и Республики Коми (Heikkinen et al., 2004).

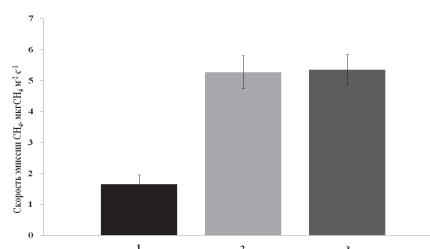


Рис. 2. Средняя скорость эмиссии метана с поверхности мезоолиготрофного болота в июне-августе 2008 г. Бары соответствуют ошибке среднеарифметических значений. 1,2,3 – номер участка

В сезонной динамике минимальное количество метана и, соответственно, углерода метана, выделилось в атмосферу в июне, а максимальное

– в июле (табл. 1, рис. 3). По мнению других авторов, июльское повышение эмиссии метана является следствием повышения температуры почвы, что благоприятно действует на жизнедеятельность метаногенных микроорганизмов (Vubier et al., 1993). Однако усиление выделения метана в атмосферу в середине лета может быть связано также с максимальным развитием надземной фитомассы травянистых растений, которые обладают способностью проводить этот газ с транспирационным током воды и в результате диффузии через воздухоносные ткани. Возможно, поэтому в августе с понижением температуры и началом отмирания надземных органов трав мы наблюдали снижение интенсивности эмиссии метана с поверхности болота.

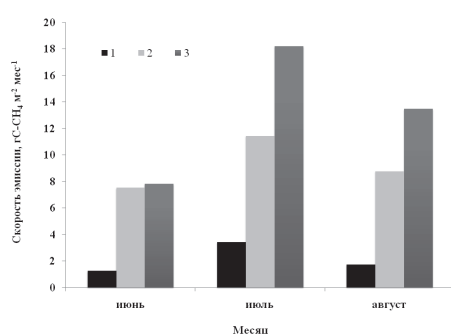


Рис. 3. Баланс потоков C-CH₄ в сообществах растений мезоолиготрофного болота. 1,2,3 – номер участка

Таблица 1. Суммарная эмиссия метана в сообществах растений мезоолиготрофного болота (г CH₄ м⁻² мес⁻¹)

Месяц	Номер участка			Колич. измерений (n)
	1	2	3	
Июнь	1.66	10.03	10.45	3
Июль	4.56	15.25	24.29	3
Август	2.29	11.70	17.98	3

Исследованные участки болота существенно различались по величине нетто-обмена (NEE) диоксида углерода. На кочках олиготрофного участка в разные дни наблюдали сток или выделение CO₂, поэтому в июне-августе величина нетто-обмена варьировала от -15.9 до 40.1 мкг м⁻²с⁻¹, а суточный баланс CO₂ составил от -0.4 до 2.6 гCO₂ м⁻² сут⁻¹, что ниже значений, полученных другими авторами на олиготрофном болоте в Западной Сибири (Naumov et al., 2007), но близко к результатам исследований газообмена в кочкарной тундре Западного Таймыра (Замолотчиков и др., 1997). По мнению некоторых авторов, на кочках более активно происходит разложение органического вещества, поэтому в условиях более низкого уровня грунтовых вод, лучшей аэрации субстрата и более высокой температуры верхних горизонтов повышается эмиссия CO₂ в атмосферу (Alm et al., 1999). В мезотрофном со-

обществе растений в течение июня - августа отмечали стабильный сток от -69.7 до -95.6 мкг CO₂ м⁻²с⁻¹, а суточный баланс в разные дни составил -3.8 ... -5.5 гCO₂ м⁻² сут⁻¹, что в 1.2 – 1.7 раза выше значений, полученных Д.Г. Замолотчиковым с соавторами (1997) для осокового болота Большеземельской тундры. Самые высокие значения стока диоксида углерода отмечены в сообществе мезоевтрофной проточной топи, где величина NEE составила -127.4 ... -268.5 мкг м⁻²с⁻¹ (или -7.4 ... -15.5 г CO₂ м⁻² сут⁻¹). Более интенсивное поглощение CO₂ в мезоевтрофной топи, по сравнению с мезотрофным травяно-сфагновым сообществом, может быть связано с более высоким УГВ и видовым составом растений.

Таблица 2. Суммарный поток CO₂ в сообществах растений мезоолиготрофного болота (г CO₂ м⁻² мес⁻¹)

Месяц	Номер участка			Колич. измерений (n)
	1	2	3	
Июнь	-12.91*	-160.91	-220.95	25
Июль	24.02	-170.33	-480.89	27
Август	79.75	-118.15	-233.85	21

Примечание: отрицательный знак указывает на поглощение, а положительный – выделение CO₂ в атмосферу

В целом за весь период наблюдений на мезотрофном и мезоевтрофном участках болота поглощение углерода в виде CO₂ преобладало над его выделением в атмосферу (табл. 2, рис. 4). Для олиготрофной кочки в июле-августе баланс диоксида углерода был отрицательным, т.к. его эмиссия с поверхности болота в атмосферу была выше, чем поглощение.

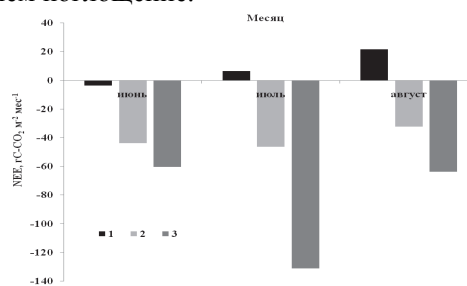


Рис. 4. Баланс потоков C-CO₂ в сообществах растений мезоолиготрофного болота. 1,2,3 – номер участка. Отрицательные значения соответствуют поглощению, положительные – выделению CO₂ в атмосферу

Таким образом, в результате проведенных исследований нами выявлены сезонные изменения нетто-обмена метана и диоксида углерода на разных участках мезоолиготрофного болота средне-таежной подзоны. В период вегетации с поверхности болота в атмосферу выделяется углерод в виде метана в количестве 1.2 – 18.2 г C-CH₄ м⁻² мес⁻¹ (рис.3). Самые высокие значения эмиссии этого газа отмечены в сообществах мезоевтрофной топи и мезотрофного осоково-сфагнового ковра.

Эти величины соизмеримы с количеством углерода, выделяемого в атмосферу в виде CO_2 на олиготрофной кочке, которое составило $6.5 - 21.7 \text{ г C-CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ мес}^{-1}$ (рис.4). Участки с близким к поверхности болота залеганием грунтовых вод характеризовались положительным балансом CO_2 , количество поглощенного углерода в этих сообществах составило $60 - 131 \text{ г C-CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ мес}^{-1}$. В целом на трех исследованных нами сообществах растений величина стока углерода значительно превышала его эмиссию. Баланс вертикальных потоков углерода для всей территории болота в период вегетации будет определяться соотношением разных типов сообществ на соответствующих элементах микроландшафта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букварева Е.Н. Роль наземных экосистем в регуляции климата и место России в посткитовском процессе. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 97 с.
2. Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур. М.: WWF России, 2006. 128 с.
3. Глаголев М.В., Чистотин М.В., Шнырев Н.А., Сиринов А.А. 2005. Эмиссия CO_2 и CH_4 из измененных при хозяйственном воздействии и ненарушенных торфяных почв в условиях юга Западной Сибири // «Биосферные функции почвенного покрова»: Конференция, посвященная 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР В.А. Ковды (Пушино, 15-17 февраля 2005 г.). Пушино. С. 21.
4. Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д., Криницин Ю.О., Сырцов С.Н., Масыгина О.В. Эмиссия метана с поверхности почвы тундровых и лесных экосистем Сибири // Вестник Крас ГАУ. Экология. 2010. №12. С. 80-86.
5. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Углеродный баланс биогеоценозов тундровой зоны России // Углерод в биогеоценозах: Чтения памяти академика В.Н. Сукачева, XV. М.: РАН, 1997. С. 99-121.
6. Михайлов О.А., Мигловец М.Н., Загирова С.В., Шнайдер Ю., Гажович М., Кутибах Л. Оценка потоков диоксида углерода в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги // Теоретическая и прикладная экология. 2011. №2. С.44-51.
7. Ракович В.А. Аккумуляция углерода естественными болотными экосистемами в зависимости от произрастающей на них растительности // Природопользование. 2011. Вып. 19. С. 82-90.
8. Торфяные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар: Полиграфсервис, 2000. 613 с.
9. Alford D.P., Delaune R.D., Lindau C.W. Methane flux from Mississippi river deltaic plain wetlands // Biogeochemistry. 1997. V.37. P. 227-236.
10. Alm J., Schulman L., Walden J., Nykänen H., Martikainen P.J., Silvola J. Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer // Ecology. 1999. V. 80(1). P. 161-174.
11. Aurela M., Laurila T., Tuovinen J.-P. The timing of snow melt controls the annual CO_2 balance in a subarctic fen // Geophysical Research Letters. 2004. vol. 31. L16119. doi:10.1029/2004GL020315.
12. Bubier J.L., Moore T.R., Roulet N.T. Methane emissions from wetlands in the midboreal region of northern Ontario, Canada // Ecology. 1993. V. 74(8). P. 2240-2254.
13. Garcia J.L., Patel B.K.C., Ollivier B. Taxonomic phylogenetic and ecological diversity of methanogenic Archaea // Anaerobe. 2000. V. 6. P. 205-226.
14. Gažovič M., Schreiber P., Kutzbach L., Wille C., Wilmking M. Diurnal dynamics of CH_4 from a boreal peatland during snowmelt // Tellus B. 2010. №62. P. 133-139.
15. Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming // Ecological applications. 1991. Vol. 1. №2. P. 182-195.
16. Heikkinen J.E.P., Virtanen T., Huttunen J.T., Elsakov V., Martikainen P.J. Carbon balance in East European tundra // Global biogeochemical cycles. 2004. Vol. 18. P. 1023-1036.
17. Kutzbach L., Wagner D., Pfeiffer E.-M. Effect of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia // Biogeochemistry. 2004. № 69. P. 341-362.
18. Naumov A.V., Huttunen J.T., Repo M.E., Chichulin A.V., Peregon A.M., Filippov I., Lapshina E.D., Martikainen P.J. and Bleuten W. West Siberian peatlands: comparative study of greenhouse gas emission in middle taiga and forest tundra climatic conditions // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 132-135.
19. Panikov N.S., Dedysh S.N., Kolesnikov O.M., Mardini A.I., Sizova M.V. Metabolic and environmental control on methane emission from soils: mechanistic studies of mesotrophic fen in west Siberia // Water, Air, and Soil Pollution. 2001. № 1. P. 415-428.
20. Van den pol-van Dassel A., van Beusichem M.L., Oenema O. Methane emissions from wet grasslands on peat soil in a nature preserve // Biogeochemistry. 1999. V. 44. P. 205-220.
21. Whiting G.J., Chanton J.P. Plant-dependent CH_4 emission in a subarctic Canadian fen // Global biogeochemical cycles. 1992. V. 6. P. 225-231.

VERTICAL CH_4 AND CO_2 FLUXES IN PLANT COMMUNITIES OF MESOOLIGOTROPHIC PEATLAND OF MIDDLE TAIGA

© 2014 M.N. Miglovets, O.A. Mikhaylov, S.V. Zagirova

Institute of biology Komi SC UB RAS

The paper presents the results of vertical CH_4 and CO_2 fluxes measurements in plant communities of mesooligotrophic peatland of middle taiga during the vegetation period. The quantitative assessment of methane and carbon dioxide exchange in three peatland phytocoenoses is given. Methane emissions in sites with near-surface groundwater table were significantly higher than on hummocks. During the season the maximum methane emission to the atmosphere was observed in July. The positive CO_2 net ecosystem exchange was identified in mesotrophic and mesoeutrophic plant communities. Carbon dioxide emission prevailed on hummocks at the oligotrophic site of the peatland.

Key words: methane emission, carbon dioxide net ecosystem exchange, mesooligotrophic peatland.