

20. Семихатова О.А. Энергетика дыхания растений в норме и при экологическом стрессе. Л.: Наука, 1990. 72 с.

21. Шапигузов А.Ю. Аквапорины: строение систематика и особенности регуляции // Физиология растений. 2004. Т. 51. № 1. С. 142–152

22. Baker A.J.M. Accumulators- and Excluders-strategies in the Response of Plants to Heavy Metals // J. Plant Nutrit. 1981. № 3. P. 643–654.

23. Siedlecka A., Krupa Z. Cd/Fe interaction in Higher Plants – its Consequences for the Photosynthetic Apparatus // Photosynthetica. 1999. V. 36. № 3. P. 321–331.

24. Sheoran I.S., Singal H.R., Singh R. Effect of Cadmium and Nickel on Photosynthesis and Enzymes of the Photosynthetic Carbon Reduction Cycle in Pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) // Photosynthetic Res. 1990. V. 23. P. 345–351.

*Работа выполнена в рамках комплексного проекта Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Биологическое разнообразие наземных и водных экосистем Приполярного Урала: механизмы формирования, современное состояние, прогноз естественной и антропогенной динамики» (рег. № 09-П-4-1032) по Программе Президиума РАН № 23 «Биологическое разнообразие».*

УДК 581.526.35:581.116:581.13 (1-924.82)

### **Оценка потоков диоксида углерода в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги**

© 2011. О. А. Михайлов<sup>1</sup>, аспирант, С. В. Загирова<sup>1</sup>, д.б.н., зав. отделом, М. Н. Мигловец<sup>1</sup>, аспирант, Ю. Шнайдер<sup>2</sup>, к.б.н., М. Гажович<sup>2</sup>, к.б.н., Л. Кутцбах<sup>3</sup>, профессор,

<sup>1</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

<sup>2</sup> Институт ботаники и ландшафтной экологии Эрнст Моритц Арндт Университета Грайфсвальда,

<sup>3</sup> Институт почвоведения Университета Гамбурга,

e-mail: mikter@mail.ru; zagirova@ib.komisc.ru; miglovec@bk.ru

В статье приведены результаты исследований потоков диоксида углерода с поверхности мезо-олиготрофного болота средней тайги. Установлено, что наиболее интенсивно выделение углекислого газа в атмосферу идет в кустарничковых сообществах кочек. Стабильный сток диоксида углерода из атмосферы в болотные сообщества наблюдается в сфагновых сообществах микропонижений.

The article presents the results of investigation of CO<sub>2</sub> fluxes from the surface of mezo-oligotrophic peatland of middle taiga. It was stated that the most intense CO<sub>2</sub> emission was from the associations of hummocks with shrub vegetation. The stable sink of CO<sub>2</sub> from the atmosphere to the peatland was noticed in Sphagnum communities of hollows.

**Ключевые слова:** средняя тайга, мезо-олиготрофное болото, потоки диоксида углерода, парниковые газы

**Key words:** fluxes of carbon dioxide, emission, flow, dynamics, swamps

В России оторфованные земли занимают около 22% территории и играют важную роль в поддержании газового состава атмосферы [1].

На территории Республики Коми болота и заболоченные земли занимают свыше 30 тыс. км<sup>2</sup>, или 9,6%, в некоторых речных бассейнах – до 40–80% [2]. Процессы стока/эмиссии парниковых газов в болотных экосистемах бореальной зоны Европейского Северо-Востока России слабо изучены. Имеются лишь

данные о потоках метана и диоксида углерода в тундровых сообществах [3, 4]. Величина эмиссии углекислого газа с поверхности болот зависит от таких факторов, как характер микрорельефа, видовой состав растительности и гидротермический режим.

Целью наших исследований являлась характеристика суточной и сезонной динамики стока и эмиссии CO<sub>2</sub> в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота, расположенного в подзоне средней тайги.

**Объекты и методы исследования**

Исследования проводили на болоте Мэдла-Пэв-Нюр, расположенном в Сыктывдинском районе Республики Коми, в 40 км на северо-запад от г. Сыктывкара. Площадь болота составляет 2790 га, средняя мощность торфа – 1,4 м, максимальная – 3,4 м [5]. Болото располагается на второй надпойменной террасе, водоприёмниками служат р. Пожег и р. Пычим.

Для измерений потоков CO<sub>2</sub> было выбрано 6 участков, различающихся по видовому составу растений, их обилию и микрорельефу. Видовой состав и общее проективное покрытие растений на площадках, где проводили изучение потоков CO<sub>2</sub>, представлены в таблице 1. Растительность болота описывали с использованием шкалы Друде [6]. Измерения потоков CO<sub>2</sub> проводили с мая по октябрь 2008 г. камерным методом с использованием газоанализатора Li-840 (Li-Cor, США). Светлая камера была изготовлена из оргстекла и снабжена герметично закрытым отверстием для отбора газовых проб, вентилятором для перемешивания воздуха и термометрами для контроля температуры внутри и снаружи ка-

меры. Тёмная камера, изготовленная из алюминия, использовалась для измерения суммарного потока CO<sub>2</sub> с поверхности болота. При использовании светлой камеры получали величину видимого фотосинтеза, которая представляет разницу между истинным фотосинтезом и суммарным дыханием растений и почвы. Камеры устанавливали на металлические рамки размером 60х60 см с жёлобом. Во избежание потерь газа в жёлоб предварительно заливали воду. Измерения на каждой площадке проводили сначала светлой, а затем тёмной камерой несколько раз в сутки. Экспозиция составляла три минуты для каждого измерения.

Микроклиматические параметры на болоте регистрировали автоматической метеостанцией фирмы Campbell Scientific (Великобритания). Температуру почвы на участках на глубине 5–10 см измеряли автоматическими датчиками почвенных температур фирмы Нобо (США). Для определения уровня грунтовых вод использовали пластмассовые трубки, установленные в верхних горизонтах почвы.

Расчёт эмиссии и стока CO<sub>2</sub> производили в программном обеспечении Matlab.

**Таблица 1**

Характеристика микрорельефа и видового состава растений на экспериментальных участках

№ участка	Микрорельеф	Видовой состав и общее проективное покрытие растений
1	Понижение (межкочечное пространство)	Травяно-кустарничковый ярус развит слабо, доминируют <i>Scheuchzeria palustris</i> (10%) и <i>Oxycoccus palustris</i> (5%). <i>Carex limosa</i> встречается редко (<1%), единично отмечается <i>Drosera rotundifolia</i> . Моховой ярус образован мхами рода <i>Sphagnum</i> (100%).
2	Кочка	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Chamaedaphne calyculata</i> (10%) и <i>Oxycoccus palustris</i> (5%). Некоторое пространство занимает <i>Andromeda polifolia</i> (4%). Моховой ярус образован преимущественно мхами рода <i>Sphagnum</i> (95%), небольшую площадь занимает <i>Polytrichum strictum</i> (5%).
3	Кочка	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Chamaedaphne calyculata</i> (10%), <i>Oxycoccus palustris</i> (4%) и <i>Andromeda polifolia</i> (4%). Единично встречается <i>Carex limosa</i> . В моховом ярусе доминируют мхи рода <i>Sphagnum</i> (100%).
4	Осоково-сфагновый ковёр	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Carex rostrata</i> (10%), <i>Oxycoccus palustris</i> (10%) и <i>Carex limosa</i> (10%). Незначительное пространство занимают <i>Andromeda polifolia</i> (4%) и <i>Scheuchzeria palustris</i> (4%). В моховом ярусе доминируют мхи рода <i>Sphagnum</i> (100%).
5	Осоково-сфагновый ковёр	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Carex rostrata</i> (до 50%) и <i>Oxycoccus palustris</i> (10%). Единично встречается <i>Betula nana</i> . В моховом ярусе доминируют мхи рода <i>Sphagnum</i> (100%).
6	Понижение (межкочечное пространство)	В травянисто-кустарничковом ярусе здесь доминируют <i>Scheuchzeria palustris</i> (до 50%) и <i>Utricularia intermedia</i> (20%). Незначительное пространство занимают <i>Oxycoccus palustris</i> (4%), <i>Menyanthes trifoliata</i> (4%), <i>Carex limosa</i> (4%) и <i>Andromeda polifolia</i> (3%). Единично встречается <i>Betula nana</i> . Моховой ярус представлен мхами рода <i>Sphagnum</i> (80%).

Результаты и обсуждение

Наши наблюдения выявили существенное влияние микрорельефа и типа растительности на величину и направление потока углекислого газа в системе болото–атмосфера. На пониженном участке болота и осоково-сфагновом ковре в светлой камере в утренние и дневные часы суток преобладал сток углекислого газа, лишь в некоторые дни в вечерние часы отмечена его эмиссия (рис. 1). На кочке в первой половине дня происходило поглощение  $\text{CO}_2$ , а после полудня значительно возрастала эмиссия углекислого газа в атмосферу, достигая

максимальных значений в вечернее время суток. В целом же на свету максимальная величина интенсивности стока  $\text{CO}_2$  ( $-191 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ) была характерна для растительных сообществ, в которых доминирует *Carex rostrata*.

Интенсивность темнового дыхания возрастала в течение дня, достигая максимальной величины на всех участках в вечернее время (рис. 2). Наиболее высокие значения эмиссии  $\text{CO}_2$  в тёмной камере были отмечены с поверхности кочки, а минимальные – в межкочечном пространстве.

Возможно, что активное дыхание в кустарничковых сообществах на микроповышениях

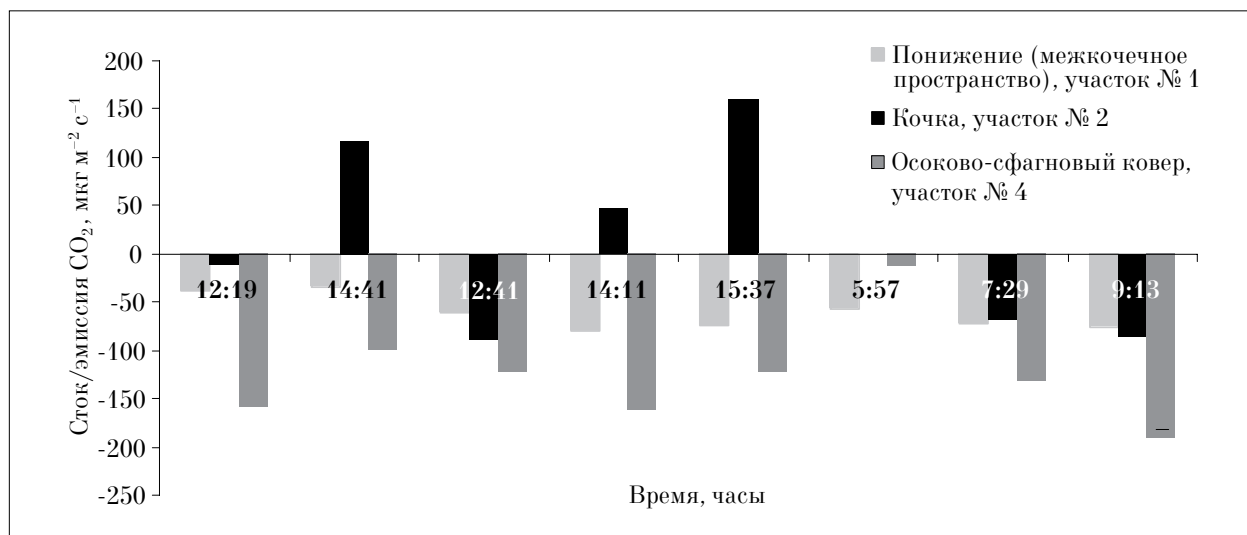


Рис. 1. Суточная динамика потоков  $\text{CO}_2$  в болотных сообществах растений на свету, 23–26 июня 2008 г.

Примечание: здесь и далее отрицательные значения соответствуют стоку, а положительные – эмиссии  $\text{CO}_2$ .

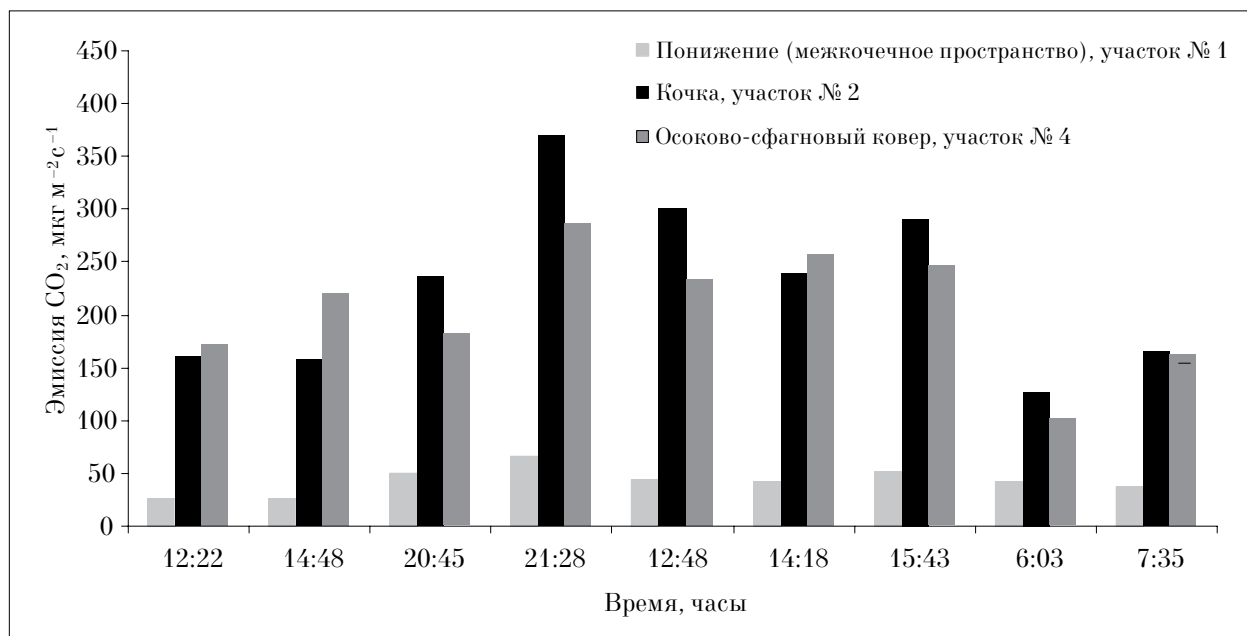


Рис. 2. Суточная динамика потоков  $\text{CO}_2$  в болотных сообществах растений в темной камере, 23–26 июня 2008 г.

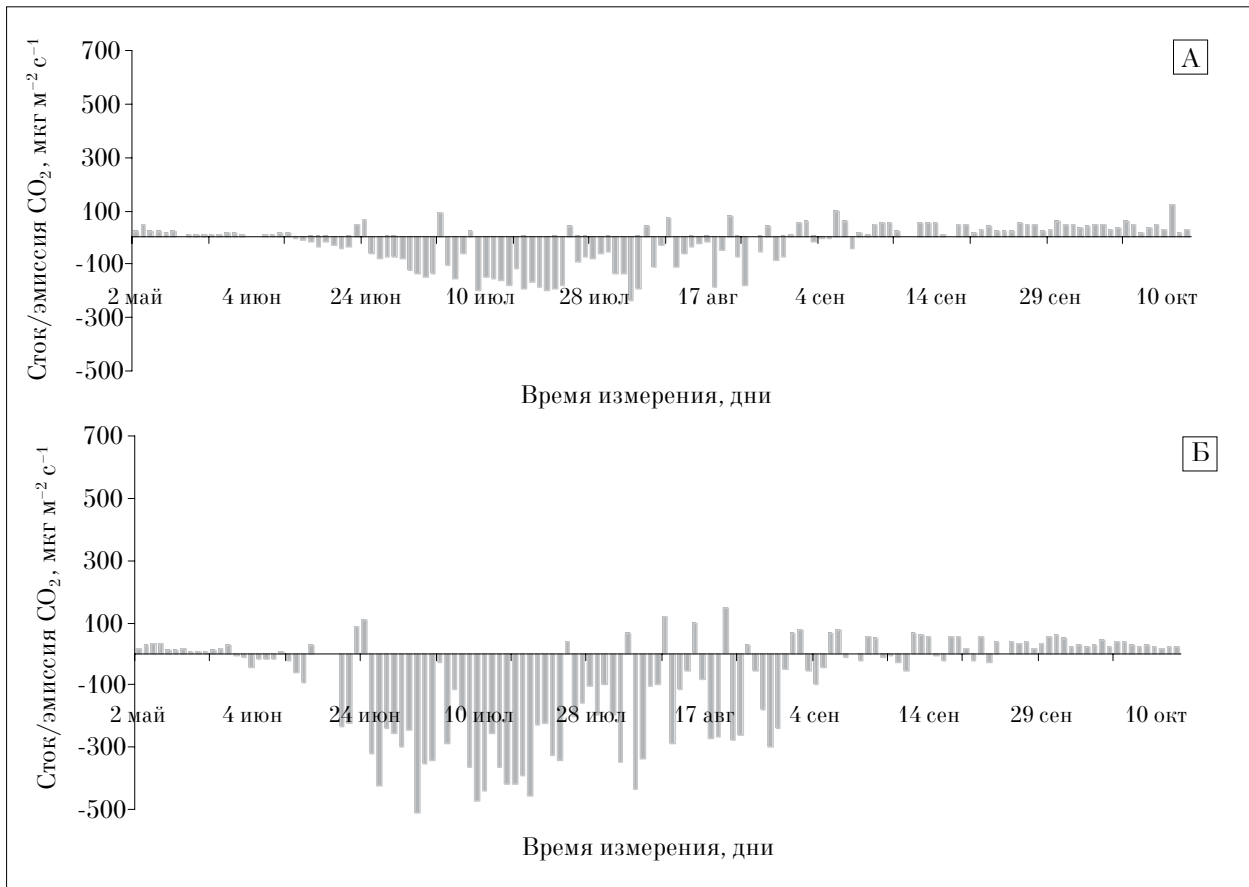


Рис. 3. Сезонная динамика потоков CO<sub>2</sub> на участках №1 (А) и №6 (Б) в светлой камере

в дневное время суток связано с более высокой биомассой нефотосинтезирующих органов растений. Поэтому в дневное время суток величина дыхания не компенсируется фотоассимиляцией CO<sub>2</sub>, что приводит к его эмиссии.

В сезонной динамике в понижении микрорельефа (участок № 1), где высокое проективное покрытие имеют сфагновые мхи, а травяно-кустарничковый ярус развит слабо, максимальные величины эмиссии CO<sub>2</sub> в весенний период достигали 44,3, а осенью – 123,3 мг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. В летний период в этом сообществе поглощение CO<sub>2</sub> было выше эмиссии, его максимальная величина достигала -238,6 мг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Поэтому в целом за сезон на данном участке преобладал сток CO<sub>2</sub> (рис. 3 А).

Сходная динамика CO<sub>2</sub>-газообмена отмечена нами на участке № 6, также расположенном в микропонижении рельефа и характеризующемся обилием *Scheuchzeria palustris* (рис. 3 Б). В весенний период, до начала роста растений травяно-кустарничкового яруса, наблюдали незначительную эмиссию CO<sub>2</sub> (до 39,3 мг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>). Осенью эмиссия достигла 56,6 мг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. В летний период отмечено значительное усиление стока диоксида углерода, величина которого была в 1,5-2 раза выше, чем на участке

№1. В течение сезона на данном участке также преобладал сток над эмиссией CO<sub>2</sub>.

Направление потоков CO<sub>2</sub> и их величины заметно менялись в кустарничковых сообществах, сформированных на кочках. Так, на участке № 2 весной и осенью наблюдался сток (от -79,4 до -131,7 мг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>), а летом, с конца июня по август, эмиссия преобладала над стоком углекислого газа (рис. 4 А). Сходная динамика отмечена в растительном сообществе на участке № 3, где доминировали *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris* и *Andromeda polifolia* (рис. 4 Б). Интенсивному образованию на микроповышениях диоксида углерода в летний период может способствовать улучшение аэрации верхнего активного слоя торфа, а также увеличение интенсивности выделения метана, который активно окисляется метанотрофными микроорганизмами в условиях меньшей обводнённости поверхности [7].

В растительных сообществах, образующих осоково-сфагновые ковры (участки № 4 и № 5), несмотря на сходство микрорельефа и видового состава растений, отмечены существенные различия в сезонной динамике CO<sub>2</sub>-газообмена. На участке № 4, представленном

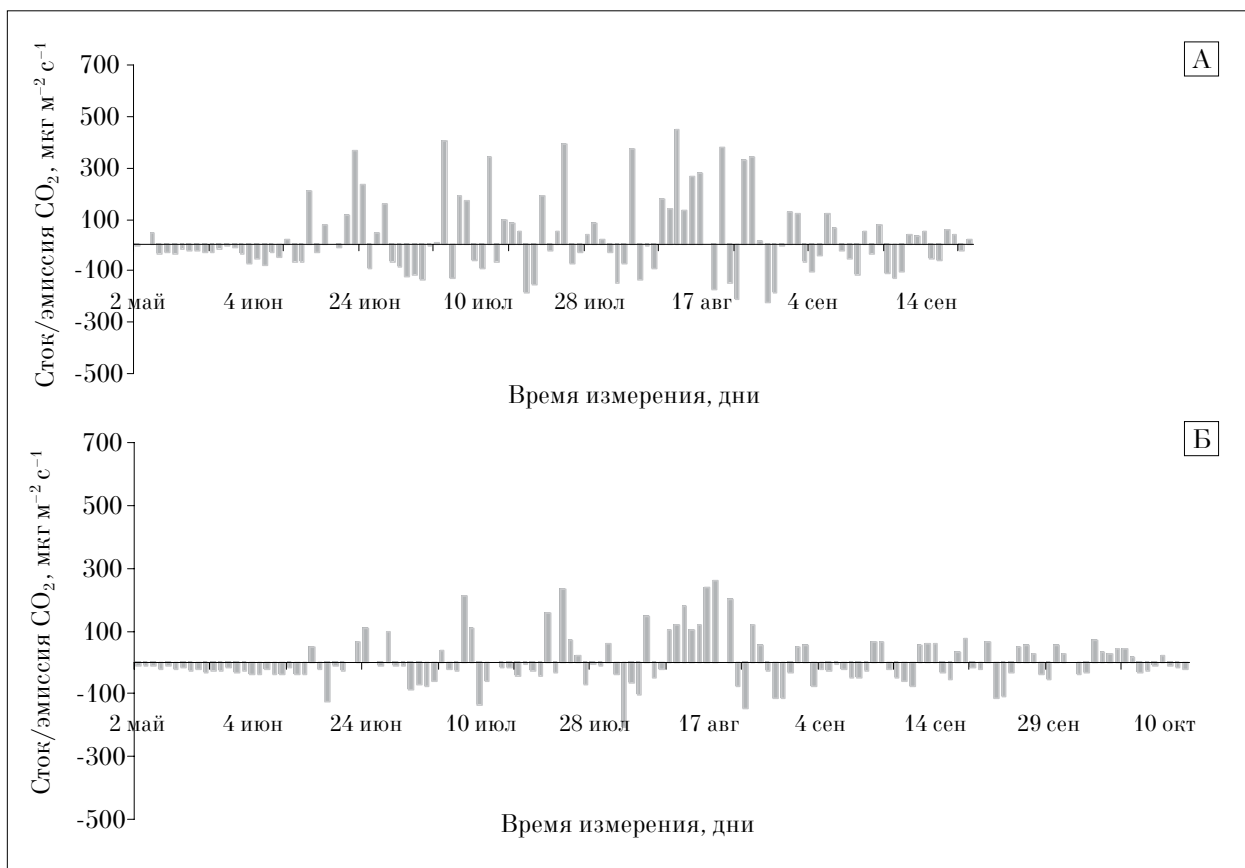


Рис. 4. Сезонная динамика потоков CO<sub>2</sub> на участках №2 (А) и №3 (Б) в светлой камере

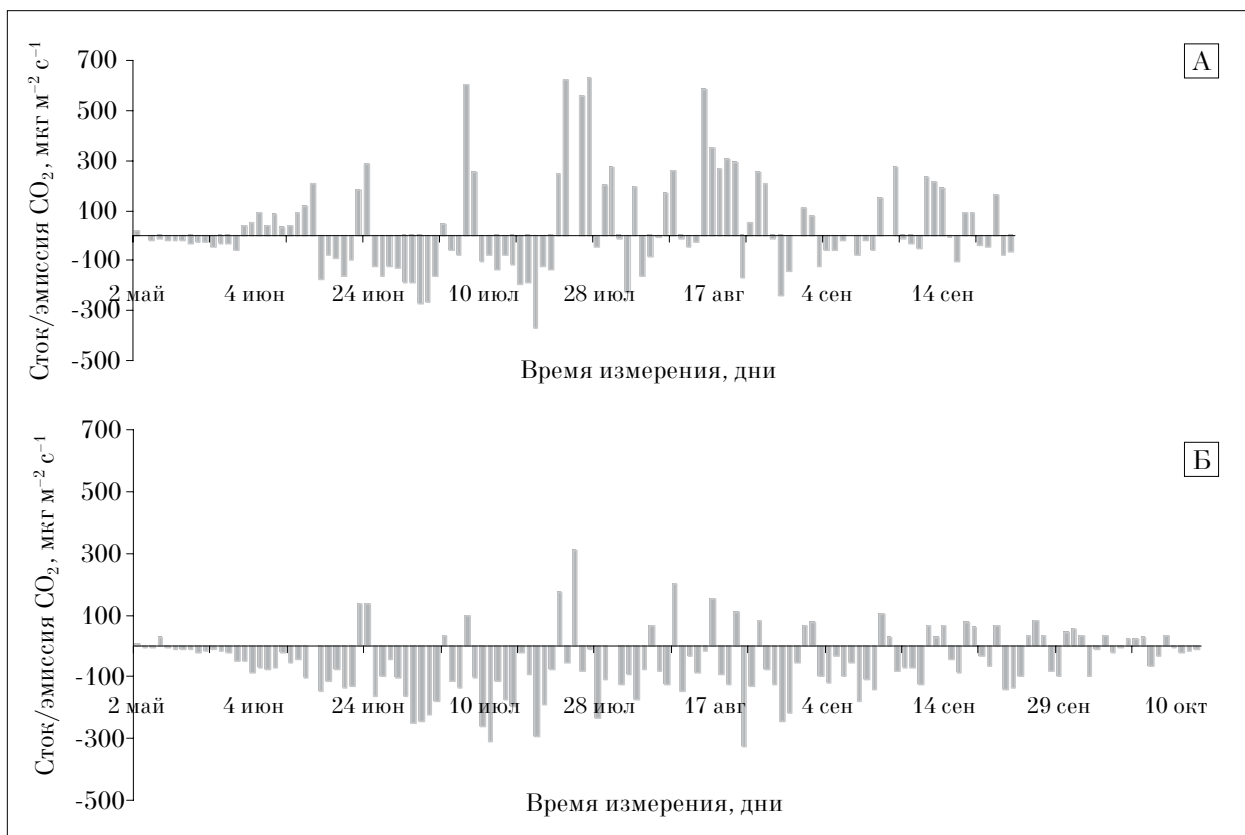


Рис. 5. Сезонная динамика потоков CO<sub>2</sub> на участках № 4 (А) и № 5 (Б) в светлой камере

Таблица 2

Величина потоков диоксида углерода в тундровых и болотных сообществах

Тип растительности	Район исследования	Средние значения эмиссии / стока*	Авторы
Олиготрофное болото	Средняя тайга, Западная Сибирь, 60° 59' с.ш. 70° 10' в.д.	+5,6 – +11 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> (+64,96 – +127,6 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Naumov et al., 2007 [10]
Бугристая лесотундра	Западная Сибирь, 65° 52' с.ш. 74° 58' в.д.	+4,6 – +5,4 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> (+53,36 – +62,64 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> )	Naumov et al., 2007 [10]
Осоково-сфагновая топь	Западная Сибирь, в пределах 56°03' – 56°37' с.ш. и 82°22' – 82°42' в.д.	+75,8 мг м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> (+21,6 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Инишева, 2001 [9]
Сосново-кустарничково-сфагновые сообщества	Западная Сибирь, 56°03' – 56°37' с.ш. и 82°22' – 82°42' в.д.	+216,2 мг м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> (+60,06 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Инишева, 2001 [9]
Моховая тундра	Республика Коми, 67°57' с.ш. 64°40' в.д.	-2,035 – +2,017 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> (-23,606 – +23,397 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Замолодчиков и др, 1998 [3]
Осоковое болото	Республика Коми, 67°20' с.ш., 63°44' в.д.	-2,672 – +0,326 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> (-30,995 – +13,456 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Замолодчиков и др, 1998 [3]
Кочкарная тундра	Республика Коми, 67°23' с.ш., 63°22' в.д.	+0,584 – +0,615 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> (+6,774 – +7,134 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Замолодчиков и др, 1998 [3]
Моховая тундра	Sphagnum sp., Республика Коми, 67°23' с.ш., 63°22' в.д.	-155 – +225 г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup> (-43,093 – +62,554 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Heikkinen et al., 2004 [11]
Кустарничковая тундра	Республика Коми, 67°23' с.ш., 63°22' в.д.	-238 – +374 мг м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> (-66,168 – +103,978 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Heikkinen et al., 2004 [11]
Кочкарная тундра	Республика Коми, 67°23' с.ш., 63°22' в.д.	-166 – +286 мг м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> (-46,151 – +79,513 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	Heikkinen et al., 2004 [11]
Мезо-олиготрофное болото, микропонижение	Республика Коми, 61° 56' с.ш., 56° 13' в.д.	-509,878 – +145,192 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Настоящая работа
Мезо-олиготрофное болото, осоково-сфагновый ковёр	Республика Коми, 61° 56' с.ш., 56° 13' в.д.	-370,725 – +625,543 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Настоящая работа
Мезо-олиготрофное болото, кочка	Республика Коми, 61° 56' с.ш., 56° 13' в.д.	-223,896 – +450,653 мкг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Настоящая работа

Примечание: «+» – эмиссия, «-» – сток; в скобки помещены величины стока/эмиссии, пересчитанные авторами.

несколькими видами травянистых растений и кустарничков, в течение вегетационного сезона преобладала эмиссия CO<sub>2</sub>, максимальные её значения летом достигали 625,5 мкг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> (рис. 5 А). На участке № 5 в летний и осенний периоды преобладал сток CO<sub>2</sub>, который составил соответственно 327 и 179,9 мкг м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> (рис. 5 Б). Доминирование на этом участке *Carex rostrata* и появление кустарника *Betula nana* – растений со значительной биомассой фотосинтезирующих органов, вероятно, определяет преобладание стока CO<sub>2</sub> над эмиссией.

Таким образом, нами установлено, что в растительных сообществах болота Мэдла-Пэв-Нюр в течение вегетационного сезона величина и направление потока CO<sub>2</sub> могут сильно варьировать. Преобладание эмиссии CO<sub>2</sub> на кочках можно объяснить наличием дополнительного процесса образования диоксида углеро-

да в результате окисления метана, образование которого происходит в этих сообществах более интенсивно, чем в мочажинах [7]. Поэтому осушение на верховых болотах приводило к усилению эмиссии диоксида углерода в 2-3 раза [8]. Полученные нами величины стока диоксида углерода в кустарничковых сообществах согласуются с данными других авторов для болот в Сибири [9, 10], а также для тундровых сообществ Европейского Северо-Востока [3, 11].

Сравнительный анализ полученных нами результатов показал, что имеется сходство в направленности потоков CO<sub>2</sub> кустарничковых и травяных сообществ исследованного нами болота (табл. 2). Однако сильно обводнённые болота, расположенные в разных географических точках, существенно различаются по этому показателю. Так, согласно нашим наблюдениям, в сфагновых сообществах микропони-

жений в течение сезона сток преобладает над эмиссией  $\text{CO}_2$ . В целом же максимальные величины потоков  $\text{CO}_2$  в растительных сообществах болота Мэдла-Пэв-Нюр оказались выше имеющихся в литературе данных для сходных сообществ [3, 9 – 11].

Это может быть связано с гидротермическим режимом данного болота. Однако в литературе имеются достаточно противоречивые мнения о взаимосвязи потоков углекислого газа и экологических факторов. Так, по данным некоторых авторов, чёткой зависимости между эмиссией  $\text{CO}_2$  из почвы и её температурой не выявляется [12]. Другие авторы указывают на тесную зависимость потоков диоксида углерода от температуры почвы на глубине 0–5 см [13] и 0–20 см [14].

Авторы зарубежных публикаций отмечают слабую зависимость потоков  $\text{CO}_2$  от уровня грунтовых вод (УГВ), либо вообще подчёркивают отсутствие этой связи [15]. По данным других авторов, УГВ существенно влияет на потоки диоксида углерода [1, 16]. Согласно исследованиям [8], понижение уровня болотных вод на 5 см ведёт к увеличению эмиссии  $\text{CO}_2$  на 5–45% на верховом болоте. В работе [17] было показано, что с повышением УГВ происходит увеличение стока углекислого газа.

Возможно, что с действием факторов погоды связаны кратковременные изменения в сезонной динамике потоков  $\text{CO}_2$  в растительных сообществах исследованного нами болота. Так, во время похолодания в конце июля – первой половине августа на всех участках отмечено резкое снижение эмиссии диоксида углерода в атмосферу, особенно это заметно на кочках и осоково-сфагновых коврах. Затем, при повышении среднесуточных температур во второй половине августа, эмиссия  $\text{CO}_2$  вновь увеличилась. При понижении среднесуточных температур в первой половине сентября наблюдалось резкое снижение абсолютных значений стока/эмиссии на всех участках.

### Выводы

В результате проведённых исследований в подзоне средней тайги на Европейском Северо-Востоке России было показано, что структура растительности оказывает существенное влияние на величину и направление потоков диоксида углерода в системе болото–атмосфера. Эмиссия  $\text{CO}_2$  более интенсивно происходит в кустарничковых сообществах, сформированных на коч-

ках. Осоково-сфагновые сообщества также характеризуются преобладанием эмиссии над стоком, однако на участках с доминированием *Carex rostrata* и появлением *Betula nana* направленность потока  $\text{CO}_2$  меняется. Стабильный сток диоксида углерода из атмосферы в болотные сообщества наблюдается в сфагновых сообществах микропонижений. Резкие изменения погодных условий в течение сезона могут вызывать кратковременные изменения в величине и направленности потоков углекислого газа в болотной экосистеме.

### Литература

1. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. № 12. 1994. С. 17–25.
2. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М.: «Дизайн. Информация. Картография», 1999. С. 39.
3. Замолотчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Пороговая температура углеродного баланса южных тундр // Доклады Академии наук. 1998. Т. 358. № 5. С. 708–709.
4. Glagolev M.V., Maksyutov S.S., Peregon A.M. and Shnyrev N.A. The data base of  $\text{CH}_4$  emission from soils of Russia // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 128–129.
5. Торфяные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар: «Полиграф-сервис», 2000. 450 с.
6. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Учебник. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.
7. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Хромов М.И. Эмиссия метана с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области // Известия РГО. 2008. Т. 140. Вып. 5. С. 40–46.
8. Александров Г.А., Голицын Г.С., Мохов И.И., Петухов В.К. Глобальные изменения климата и регулирующая роль болот // Изв. РАН. Сер. географическая. № 2. 1994. С. 5–15.
9. Инишева Л.И. Болота и биосфера // Российская наука на заре нового века. М.: Научный мир, 2001. С. 330–338.
10. 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.
11. Heikinen Juha E.P., Virtanen Tarmo, Huttunen Jari T., Elsakov Vladimir and Martikainen Pertti J. Carbon

balance in East European tundra // Global biogeochemical cycles. V. 18. 2004. P. 1023–1036.

12. Christensen T.R., Ekberg A., Ström L., Mastepanov M., Panikov N., Öquist M., Svensson B. H., Nykänen H., Martikainen P.J., Oskarsson H. Factors controlling large scale variations in methane emissions from wetlands // Geophysical research letters. 2003. V. 30. № 7. P. 67–70.

13. Pihlatie M.K., Kiese R., Bruggemann N., Butterbach-Bahl K., Kieloaho A.-J., Laurila T., Lohila A., Mammarella I., Minkkinen K., Penttilä T., Schonborn J. and Vesala T. Greenhouse gas fluxes in a drained peatland forest during spring frost-thaw event // Biogeosciences. 2009. № 6. P. 6111–6145.

14. Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А. Интенсивность продуцирования CO<sub>2</sub> сфагновыми торфами в нативных условиях // Торфяники Западной Сибири и цикл угле-

рода: прошлое и настоящее. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 130.

15. Parmentier F.J.W., Uan der Mollen M.K., De Jeu R.A.M., Hendriks D.M.D., Dolman A.J. CO<sub>2</sub> fluxes and evaporation on a peatland in the Netherlands appear not affected by water table fluctuations // Agricultural and forest meteorology. 2009. № 6-7. P. 1201–1208.

16. Гинзбург А.С. Значение болот России для смягчения антропогенного изменения климата (Экспертная оценка). М.: Центр «Эко-Согласие», 2005. 31 с.

17. Ниценко А.А. Краткий курс болотоведения. М.: Высшая школа, 1967. 148 с.

*Работа выполнена в рамках международного проекта Института биологии Коми научного центра УрО РАН «Carbonorth».*