

Потоки CO₂ на верховом болоте в южнотаежной зоне европейской части России в летний период

Д. Г. ИВАНОВ, В. К. АВИЛОВ, Ю. А. КУРБАТОВА

*Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
119071, Москва, Ленинский просп., 33
E-mail: ivanovdg19@gmail.com*

Статья поступила 17.06.2016

Принята к печати 04.10.2016

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ эмиссии и баланса потоков CO₂ между атмосферой и поверхностью верхового болота южнотаежной зоны европейской части России для летних периодов 2013–2015 гг. Измерения потоков выполнены с периодичностью 7–10 дней методом статических камер на трех однородных по условиям почвенно-грунтового увлажнения и типу растительного покрова экспериментальных площадках. Найдены статистически значимые различия в потоках и балансе CO₂ между разными экспериментальными площадками. Установлено, что оценку роли болот в балансе CO₂ с атмосферой необходимо проводить с учетом пространственной неоднородности болотных массивов.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, баланс CO₂, современные климатические изменения, верховое болото, южная тайга.

Болота занимают более 8 %, а вместе с экологически близкими и пространственно трудноотделимыми мелкоотторфованными заболоченными землями (торф < 30 см) – более 1/5 территории России [Вомперский и др., 2005, 2011]. Климаторегулирующие функции болотных экосистем связывают, прежде всего, с поглощением углекислого газа из атмосферы и долговременным депонированием углерода в торфяной залежи. Современные изменения глобального климата, которые МГЭИК объясняет ростом в атмосфере парниковых газов антропогенного происхождения [Solomon et al., 2007], вызвали в 90-е гг. XX в. всплеск исследований, направленных на оценку роли природных экосистем в качестве стоков (источников) парниковых газов,

а также оценку отклика газообмена CO₂ на изменение внешних факторов и, прежде всего, метеорологических величин. Многочисленные исследования, проведенные на болотных массивах различного типа, показали, что соотношение и интенсивность потоков углеродсодержащих газов на границе раздела поверхность – атмосфера зависит от типа болота, водно-термического режима болотных экосистем и характера их трансформации при антропогенном воздействии или хозяйственном использовании [Глаголев, 2010]. Однако многообразие типов, условий формирования и функционирования болотных экосистем не позволяет считать этап накопления экспериментальных данных о потоках углерода между поверхностью болот и атмо-

сферой завершены. Развитие современных численных моделей, описывающих процессы взаимодействия атмосферы и деятельной поверхности болотной толщи, может основываться исключительно на результатах полевых экспериментов [Лавров, Курбатова, 2005]. В отсутствие регулярной сети, осуществляющей наблюдения за потоками диоксида углерода на основе единой методики на болотных массивах, по-прежнему дискуссионными остаются методические вопросы организации измерений и интерпретации полученных результатов [Глаголев, Филиппов, 2011].

В настоящей работе рассматриваются особенности пространственно-временной изменчивости основных потоков диоксида углерода между атмосферой и верховым болотом (питание болот верхового типа осуществляется атмосферными осадками) Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ). Комплексные исследования газообмена на болотных массивах особо охраняемых территорий, в условиях отсутствия прямого антропогенного воздействия, могут служить основой для оценки буферной роли болот в условиях современных климатических изменений.

Наблюдения за потоками углерода на основе камерных методов, выполненные в рамках отдельных экспериментов [Arneeth et al., 2002; Kurbatova et al., 2008, 2009, 2013] на территории ЦЛГПБЗ, показали существенную пространственную неоднородность потоков диоксида углерода в южнотаежных экосистемах. С 2013 г. на верховом болотном массиве ЦЛГПБЗ проводятся периодические наблюдения за потоками CO_2 на основе методики статических камер. Результаты измерений позволили получить оценки эмиссии и баланса CO_2 между поверхностью болота и атмосферой на уровне микроландшафтов, а также оценить роль внешних факторов в формировании временной изменчивости потоков CO_2 .

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

ЦЛГПБЗ расположен в юго-западной части Валдайской возвышенности ($56^{\circ}26' - 39' \text{ с. ш.}$; $32^{\circ}29' - 33^{\circ}01' \text{ в. д.}$) в области умеренного кон-

тинентального климата. Среднегодовая температура составляет $4,3^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков – 720 мм (по данным метеорологической станции ЦЛГПБЗ, период наблюдений 1963–2013 гг.). Территория заповедника хорошо изучена и описана в многочисленных публикациях [Карпов, 1983; Абражко, 1998; Минаева, Шапошников, 1999; Пузаченко, 2008]. Экспериментальные наблюдения за потоками углекислого газа выполнялись в охранной зоне заповедника на верховом болоте Старосельский мох (подробное описание болота приведено в [Минаева и др., 1991; Kurbatova et al., 2002; Новенко, 2011]).

Наблюдения за потоками CO_2 проводили в июне – августе 2013–2015 гг. с периодичностью 4–10 дней. Измерения выполняли на четырех экспериментальных участках: в сосняке кустарничково-сфагновом (СКС), сосняке осоково-сфагновом (СОС), на грядово-мочажинном комплексе (отдельно на грядах и мочажинах). На каждом из них в 2013 г. регистрация потоков CO_2 осуществлялась в 10-кратной повторности, в 2014, 2015 гг. – 5-кратной. Измерения потоков диоксида углерода проводили на основе модификации метода статических закрытых камер [Глаголев, Филиппов, 2011]. Поток диоксида углерода определяли по изменению концентрации CO_2 в камере. В 2013 г. использовали непрозрачную камеру цилиндрической формы из полихлорвинила высотой 16 и диаметром 19 см, в 2014, 2015 гг. – камеру, аналогичную по форме и размеру, но выполненную из светопроницаемого материала. Воздух из камеры подавался на детектор инфракрасного газоанализатора Li-820 (Li-Cor Inc., США) с помощью насоса NMP 830 (KNF Neuberger, Inc., Швейцария; скорость потока воздуха 1 л/мин). Концентрация CO_2 регистрировалась с частотой 1 Гц, время экспозиции составляло 180–220 с. Камеры устанавливали на основания, предварительно (за 7–10 дней до начала эксперимента) врезанные в торфяную залежь на глубину 15 см. Крепление камеры к основанию осуществляли четырьмя зажимами. Для минимизации влияния деятельности наблюдателя на результаты эксперимента все основания располагали вдоль деревянных настилов. Параллельно с потока-

ми CO_2 фиксировали температуру почвы на глубине 10 см (HI 98509 Checktemp 1; Hanna instruments, США) и уровень болотных вод (в специально оборудованных скважинах на болотном массиве как часть мониторинговых наблюдений на территории заповедника). Регистрацию результатов измерений выполняли на портативном компьютере, соединенном с газоанализатором, на основе программного обеспечения “Li-820 CO_2 Gas analyzer software, Version 2” (Li-Cor Inc., США).

Расчет потоков CO_2 основывали на определении скорости изменения концентрации диоксида углерода в камере. Тренд концентрации CO_2 аппроксимировали экспоненциальной функцией (1) на основе программного обеспечения Table Curve 2D:

$$C_t = C_x + (C_0 - C_x)e^{-a(t-t_0)}, \quad (1)$$

где C_t – концентрация CO_2 (мкмоль, моль⁻¹ или ppm) в камере в момент времени t (с); C_x – концентрация CO_2 в камере в момент окончания измерения; C_0 – начальная концентрация CO_2 в камере; a – константа; t_0 – время начала измерения (с). Аналогичная формула используется при расчете потоков на основе автоматической системы для измерения эмиссии CO_2 [LI-8100A, 2010].

Для аппроксимации использовали не все результаты измерений одной серии. При закреплении камеры, из-за механического воздействия на торфяную залежь, на первых секундах измерения наблюдался неустойчивый поток CO_2 . Стабилизация воздушных потоков в камере составляла от 3 до 100 с и более. Ее время определяли на основе оценки отклонений (ΔCO_2) между результатами измерений и функции (1). Из дальнейшего рассмотрения исключался период с ΔCO_2 , превышающими $\pm 2\sigma$ ряда ΔCO_2 для каждой серии измерений.

Для расчета скорости изменения концентрации CO_2 в камере использовали производную функцию (1) по времени:

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = a(C_x - C_0)e^{-a(t-t_0)}. \quad (2)$$

При $t = t_0$

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = a(C_x - C_0). \quad (3)$$

Расчет потока (мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹) осуществляли по формуле

$$F(\text{CO}_2) = \frac{\partial C_t}{\partial t} ((8,314 \times (273,16 + T_{ch}))^{-1} \times P_{atm} \times H_{ch} \times M \times 3600), \quad (4)$$

где 8,314 – универсальная газовая постоянная (Дж/(моль⁻¹ · К⁻¹)); T_{ch} – средняя температура воздуха внутри камеры за время экспозиции (°С); P_{atm} – атмосферное давление (кПа); H_{ch} – высота камеры (м); M – молярная масса CO_2 (г · моль⁻¹); 3600 – количество секунд в часе.

Инструментальная база, используемая в 2013 г. позволила оценить только эмиссионные потоки CO_2 (R_{CO_2}), связанные с процессами деструкции органического вещества и автотрофным дыханием, а в 2014–2015 гг. выполнены оценки эмиссии и баланса потоков CO_2 между поверхностью болота и атмосферой. Для оценки эмиссии в 2014 и 2015 гг. камера затенялась светонепроницаемым чехлом. Баланс CO_2 (B_{CO_2}) почвы и напочвенного растительного покрова представляет разность между эмиссией CO_2 и депонированием диоксида углерода в процессе фотосинтеза. Отрицательный знак баланса соответствовал поглощению CO_2 из атмосферы, т. е. преобладанию процессов депонирования над процессами, определяющими эмиссию CO_2 .

Кумулятивные эмиссионные потоки за летний период рассчитывали из сумм среднемесячных потоков, умноженных на количество дней в месяце.

Оценка изменчивости метеорологических характеристик периода измерений и климатических средних выполнена на основе данных метеостанции ЦЛГПБЗ, а также автоматической метеостанции, расположенной в центре грядово-мочажинного комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Погодные условия периода измерений. В табл. 1 приведена сезонная динамика среднемесячных температур воздуха (T_a) и суммарных осадков (P). T_a в летние периоды 2013–2015 гг. оказалась выше среднеемноголетней нормы (рассчитанной для периода 1963–2015 гг.) на 0,4–5,4 °С. В 2014 г. атмосферное увлажнение приближалось к многолетней норме (за исключением июля, ког-

Т а б л и ц а 1

Температура воздуха (T_a), суммарные осадки (P) и уровень болотных вод (УБВ) периода наблюдений и средние многолетние значения

Дата	T_a , °С	P , мм · мес ⁻¹	УБВ, см
Июнь 2013	20,6 (2,6)*	70,2	-8 (2,4)
2014	15,9 (4,5)	82,4	-11,3 (2,3)
2015	17,7 (2,6)	14	-7,3 (4,4)
Среднее многолетнее*	15,2 (10,3)	77,7 (34,7)	-
Июль 2013	18,6 (2,7)	65,1	-6,9 (1,9)
2014	20,8 (3,2)	61,2	-12,2 (3)
2015	17,8 (2,8)	78,6	-12,5 (4,3)
Среднее многолетнее*	17,1 (10,3)	91,7 (47,1)	-
Август 2013	17,7 (3,3)	41,9	-14,3 (2,2)
2014	18,4 (4,9)	84,8	-17,4 (3,5)
2015	18,7 (3,9)	17,7	-12,1 (3)
Среднее многолетнее*	15,3 (10,3)	80,2 (48,2)	-

* Рассчитано по данным измерений метеорологической станции ЦЛГПБЗ в 1963–2015 гг.

** В скобках приведены стандартные отклонения.

да суммарные осадки составили 61,2 мм/мес при среднемноголетней норме 91,7 мм/мес). В 2013 г. количество осадков в летне-осенний период оказалось на 11–49 % меньше среднемноголетних значений в течение всего периода наблюдений. Самым засушливым стал 2015 г., в течение июня и августа количество осадков выпало на 78–82 %, а в июле – на 14 % ниже среднемноголетней нормы. Динамика уровня болотных вод (УБВ) и температуры почвы (T_s) в течение летних периодов трех лет заметно различались. Длительное отсутствие осадков приводило к заметному опусканию УБВ до 16–23 см, а нагрев почвы на глубине 5 см увеличивался до 20–24 °С. В целом, можно характеризовать погоду летнего сезона 2013 г. как сухую и жаркую, 2014 г. – жаркую с увлажнением, приближенным к многолетней норме, а 2015 г. – жаркую и сильно засушливую.

Эмиссия CO_2 . Результаты наблюдений подтвердили, что для эмиссионных потоков CO_2 на верховом болоте характерна пространственно-временная изменчивость (рис. 1). Однофакторный дисперсионный анализ показал значимые статистические различия ($F = 26,6$; $F_{кр} = 2,65$) между эмиссией CO_2 на выбранных экспериментальных участках. По вкладу в общую эмиссию CO_2 микроландшафты верхового болота могут ранжироваться сле-

дующим образом: мочажины – СОС – гряды – СКС. Средний для всего периода измерений R_{CO_2} (рис. 2) на мочажинах составил 336 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ (358 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ – в 2013 г., 308 – в 2014 г., 343 – в 2015 г.); в СОС – 432 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ (567 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ – в 2013 г., 386 – в 2014 г., 398 – в 2015 г.); на грядах – 554 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ (674 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ × ч⁻¹ – в 2013 г., 507 – в 2014 г., 482 – в 2015 г.); в СКС – 623 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ (644 мг CO_2 м⁻² · ч⁻¹ – в 2014 г., 601 – в 2015 г.).

Наблюдения не выявили различий в сезонном ходе эмиссии CO_2 между микроландшафтами болота, а также четко выраженной внутрисезонной изменчивости R_{CO_2} (см. рис. 1). В 2013 г. интенсивность эмиссионных потоков в целом возрастала от июня к августу, в 2014 г. с первой декады июня по первую декаду июля эмиссия CO_2 уменьшалась, затем со второй по третью декаду она резко возрастала и равномерно снижалась к концу августа; в 2015 г. с начала июня до середины июля эмиссионный поток постепенно возрастал, а затем постепенно уменьшался.

Наблюдения подтвердили наличие наиболее ярко выраженной межгодовой изменчивости в кумулятивных эмиссионных потоках CO_2 для всех микроландшафтов болота за исключением мочажин (табл. 2). В тече-

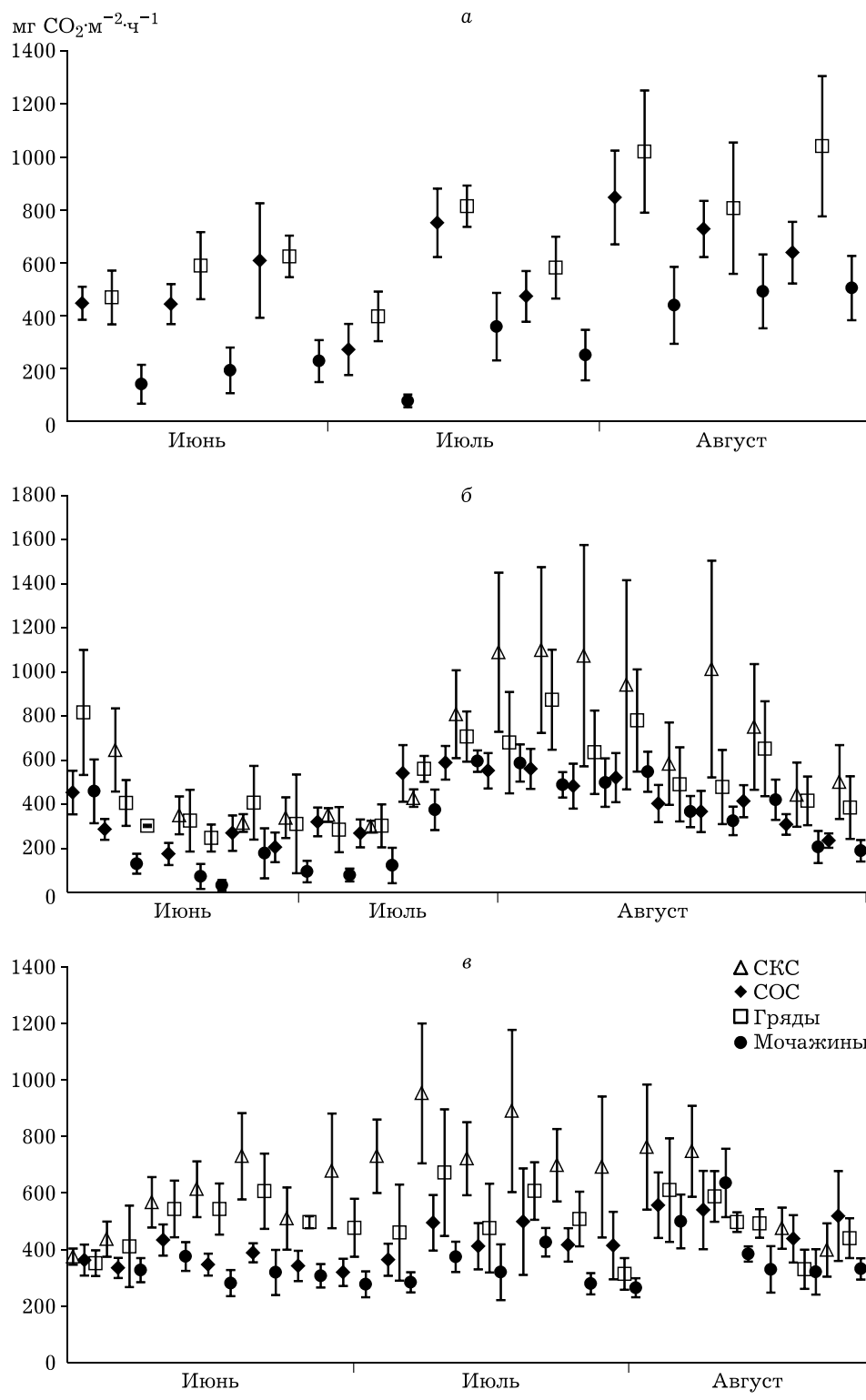


Рис. 1. Эмиссия CO₂ с поверхности различных микроландшафтов верхового болота в летние периоды 2013 (а), 2014 (б) и 2015 гг. (в)

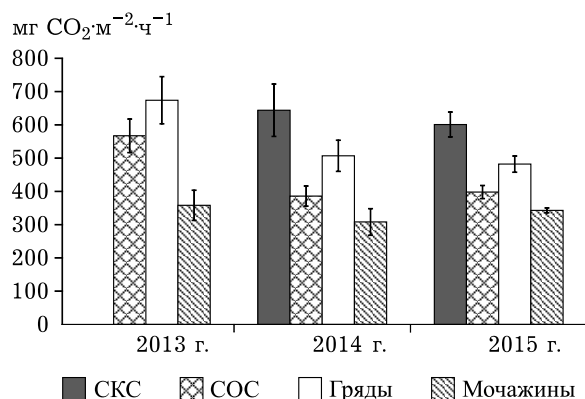


Рис. 2. Средние значения эмиссии CO₂ с поверхности различных микроландшафтов верхового болота в июне – августе 2013–2015 гг. Вертикальные линии – доверительный интервал

ние летнего периода согласно наблюдениям эмиссия CO₂ с мочажин изменялась от 661 до 771 г CO₂ · м⁻², на грядах – от 1042 до 1515 г CO₂ · м⁻², в СОС – от 823 до 1231 г CO₂ · м⁻², в СКС – от 1304 до 1321 г CO₂ · м⁻².

Баланс потоков CO₂ между поверхностью болота и атмосферой. Оценки баланса CO₂ показали, что верховой болотный массив может дифференцироваться по роли отдельных микроландшафтов в данном балансе

(рис. 3). В 2014 г. в течение летнего периода он в СКС и грядах являлся положительным, т. е. эмиссионные потоки превышали депонирование CO₂ в процессе фотосинтеза, за исключением двух серий измерений в конце июня и августа, а на мочажинах и СОС баланс CO₂ оказался отрицательным, за исключением трех серий измерений в первой половине августа. В условиях сильно засушливой и жаркой погоды 2015 г. в среднем баланс CO₂ на всех микроландшафтах положительный. Его средние значения в 2014 г. на мочажинах и в СОС составляли –76 и –119 мг CO₂ м⁻² · ч⁻¹, а в 2015 г. 31 и 116 мг CO₂ м⁻² · ч⁻¹ соответственно (рис. 4). Максимальные положительные значения баланса CO₂ отмечены в первой декаде августа на грядах (420 мг CO₂ м⁻² · ч⁻¹) и в СКС (1020 мг CO₂ м⁻² · ч⁻¹). В 2015 г. в первую декаду июня на всех микроландшафтах, кроме СКС, депонирование превышало эмиссию. Со второй декады июня до конца августа в СКС и грядах эмиссия превышала депонирование CO₂, а знак баланса CO₂ в СОС и мочажинах не являлся устойчивым, изменялся между сериями измерений и только в августе стал устойчиво положительным.

Т а б л и ц а 2
Среднемесячные значения потоков CO₂ (мг CO₂ м⁻² · ч⁻¹)

	СКС		СОС		Гряды		Мочажины	
2013 г.	<i>R</i>							
Июнь	–		478		552		330	
Июль	–		626		954		311	
Август	–		741		1015		498	
Кумулятивные потоки*	–		1328		1515		661	
2014 г.	<i>R</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>B</i>
Июнь	412	378	278	–196	415	101	162	–117
Июль	595	696	454	–147	526	255	357	–169
Август	877	771	411	–71	614	263	378	–5
Кумулятивные потоки	1356	1328	823	–298	1120	446	646	–210
2015 г.	<i>R</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>B</i>
Июнь	510	392	354	99	472	163	276	–94
Июль	832	592	425	18	502	335	329	54
Август	571	505	503	388	498	21	441	293
Кумулятивные потоки	1377	1072	923	364	1060	374	753	182

* Кумулятивные потоки за летний период, г CO₂ · м⁻².

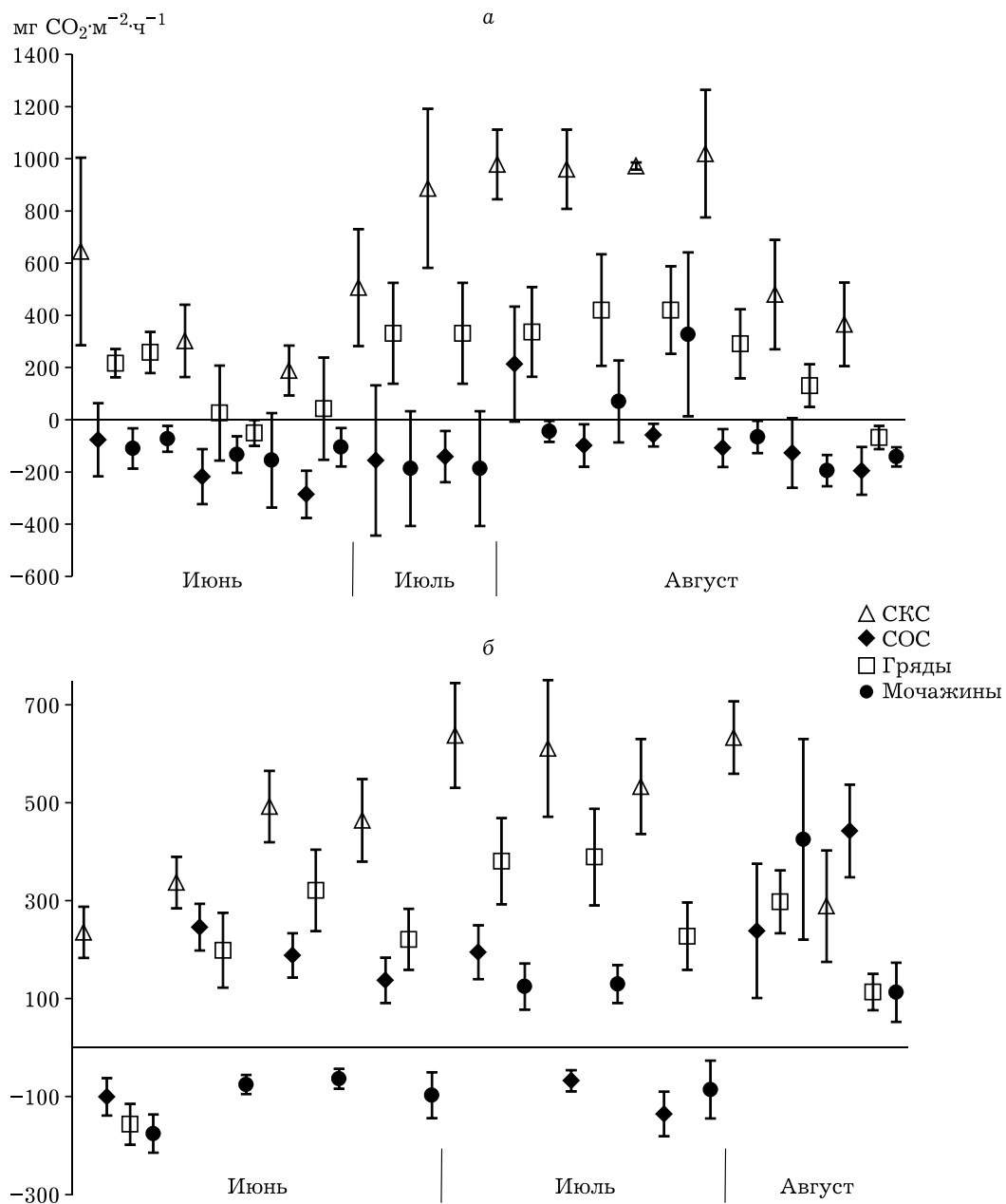


Рис. 3. Баланс CO₂ в различных микроландшафтах верхнего болота в летние периоды 2014 (а) и 2015 гг. (б)

Влияние температурно-влажностных условий на эмиссию и баланс CO₂. Получены статистически значимые коэффициенты корреляции (r) между температурой верхнего слоя торфа и эмиссией CO₂ (табл. 3). Они составляют 0,77 для результатов наблюдений в СКС и 0,39–0,48 для остальных микроландшафтов.

Значительное влияние изменения уровня болотных вод на эмиссию CO₂ отмечено

только для УБВ не ниже 20 см. Условия высокой обводненности соответствуют СОС и мочажинам, коэффициенты корреляции между УБВ и R_{CO_2} равны 0,6 для СОС и 0,69 – для мочажин. Для СКС и гряд в условиях, при которых УБВ находится ниже 20 см, между УБВ и R_{CO_2} они значительно ниже – 0,38 и 0,41.

Статистически значимые коэффициенты корреляции (см. табл. 3) между температурой

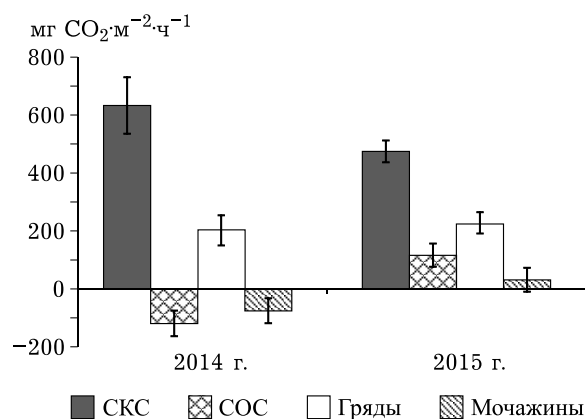


Рис. 4. Средние значения баланса CO_2 в различных микроландшафтах верхового болота в июне–августе 2014–2015 гг. Вертикальные линии – доверительный интервал

почвы и балансом CO_2 установлены только для СКС ($r = 0,84$) и гряд ($r = 0,56$), а между уровнем болотных вод и балансом CO_2 – для гряд ($r = 0,53$) и мочажин ($r = 0,44$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки баланса и эмиссии CO_2 , полученные в настоящем исследовании, оказались сопоставимы с оценками потоков CO_2 на верховых болотах в европейской части России и Западной Сибири. Эмиссия CO_2 на мочажинах и грядах Западнодвинского лесоболотного стационара Института лесоведения РАН в Тверской обл. [Глухова и др., 2014] в летние периоды 2005–2007 гг. составила 246 и 661 $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно. Эмиссия CO_2 с мочажин оказалась на 28 % меньше, а с гряд на 25 % больше, чем на исследуемом нами болоте. На том же стационаре [Молчанов, 2015] оценки депонирования CO_2 в пушицево-сфагновом сосняке оказались в 1,5 раза ниже, чем в СКС на верховом болоте Центрально-Лесного заповедника.

Согласно оценкам авторов эмиссия CO_2 в СОС была в 2–4 раза выше по сравнению с оценками R_{CO_2} в подобном микроландшафте южнотаежной зоны Западной Сибири [Головацкая, Дюкарев, 2012]. Потоки R_{CO_2} на мочажинах мезо-олиготрофного болота средней тайги европейской части России [Мигловец и др., 2013] оказались на 25–30 % ниже, чем полученные авторами оценки R_{CO_2} для мочажин. В то же время выделение CO_2 на мочажинах и СОС близко к величинам, полученным А. В. Наумовым с соавт. [2007] на олиготрофном болоте средней тайги Западной Сибири.

В отличие от оценок баланса CO_2 , приведенных в работе [Мигловец и др., 2013] для мезо-олиготрофного болота средней тайги, где баланс на грядах в июне отрицательный (сток CO_2), а в июле и августе – положительный, на исследуемом верховом болоте гряды в течение всего летнего периода являлись постоянным источником CO_2 . Кумулятивное значение баланса CO_2 для гряд исследуемого болота для трех летних месяцев в 5–5,5 раза превысило оценки баланса CO_2 для гряд мезо-олиготрофного болота средней тайги. Баланс CO_2 на мочажинах того же болотного массива [Мигловец и др., 2013] оказался постоянно отрицательным (сток), а кумулятивный сток в 4,5 раза превышал оценки кумулятивного баланса CO_2 для мочажин. Отрицательный баланс на грядах и мочажинах наблюдался также на верховом болоте Ханты-Мансийского АО и составлял -609 и $-210 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно [Peli et al., 2007].

Исследования потоков CO_2 , выполненные в последние годы на болотах различного типа, подтверждают ведущую роль УБВ и температуры верхнего слоя торфяной залежи почвы в формировании пространственно-временной изменчивости эмиссии и баланса CO_2 . Наиболее низкий УБВ отмечается, как

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты корреляции потоков CO_2 и внешних факторов

	СКС	СОС	Гряды	Мочажины
$T_s (R)$	0,77	0,48	0,39	0,46
УБВ (R)	0,38	0,60	0,41	0,69
$T_s (B)$	0,84	-0,09	0,56	0,13
УБВ (B)	0,25	-0,13	0,53	0,44

правило, в залесенных (СКС и СОС) частях верховых болот и на грядах грядово-мочажинного болота. Опускание УБВ, с одной стороны, обеспечивает большее прогревание верхней части торфяной залежи, а с другой – большую глубину аэрируемого слоя [Aim et al., 1999].

Например, в работе [Urbanova et al., 2013] корреляция между эмиссией и уровнем болотных вод на грядах и мочажинах составила 0,64–0,66, при этом между балансом CO₂ и УБВ она являлась незначительной или отсутствовала. В исследованиях Е. А. Головацкой с соавт. [2012] в низком рьяме на верховом болоте Томской обл. отмечено, что коэффициенты корреляции между температурой почвы и эмиссией CO₂ в летние месяцы варьируют от 0,67 до 0,72, а влияние уровня болотных вод на эмиссию CO₂ выражено слабо ($r = -0,31$). Высокая корреляция ($r = 0,71$) между эмиссией CO₂ и температурой торфа установлена для сосняка сфагново-черничного в средней тайге европейской части России [Осипов, 2013].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные наблюдения за эмиссией и балансом CO₂ на верховом болоте южнотаежной зоны европейской части России подтвердили пространственную и временную изменчивость функциональной роли отдельных микроландшафтов болота в формировании баланса CO₂ с атмосферой. Из-за неоднородности гидротермического режима и растительного покрова микроландшафты верхового болота могут являться как стоком, так и источником CO₂ для атмосферы. Баланс CO₂ между поверхностью болота и атмосферой на грядах и СКС в течение летнего сезона всегда положительный. Его знак и величина на микроландшафтах (мочажины, СОС) с высоким уровнем болотных вод определяется погодными условиями периода наблюдений. Длительные периоды отсутствия осадков приводят к понижению УБВ и трансформации функциональной роли верховых болот, в целом из стока в источник CO₂.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 14-27-00065); оборудование для проведения экспериментальных наблюдений частич-

но приобретено при поддержке РФФИ (проект № 14-05-0097 а) и гранта Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Биоразнообразии природных систем”.

ЛИТЕРАТУРА

- Абражко В. И. Водный режим сообществ еловых лесов (синэкологические исследования): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1998. 46 с.
- Вомперский С. Э., Сиринов А. А., Сальников А. А. и др. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3–11.
- Вомперский С. Э., Сиринов А. А., Цыганова О. П. и др. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер. географ. 2005. № 5. С. 39–50.
- Глаголев М. В. Болотообразовательный процесс. Роль болот в круговороте CO₂ и CH₄. Томск: Том. гос. ун-т, 2010. 112 с.
- Глаголев М., Филиппов И. Измерение потоков парниковых газов в болотных экосистемах. Ханты-Мансийск: Югорск. гос. ун-т, 2011. 220 с.
- Глухова Т. В., Вомперский С. Э., Ковалев А. Г. Эмиссия CO₂ с поверхности олиготрофных болот южно-таежной зоны европейской территории России с учетом микрорельефа // Почвоведение. 2014. № 1. С. 48–57 [Glukhova T. V., Vompersky S. E., Kovalev A. G. Emission of CO₂ from the surface of oligotrophic bogs with due account for their microrelief in the southern taiga of European Russia // Eurasian Soil Sci. 2014. Vol. 46, N 12. P. 1172–1181].
- Головацкая Е. А., Дюкарев Е. А. Влияние факторов среды на эмиссию CO₂ с поверхности олиготрофных торфяных почв Западной Сибири // Там же. 2012. № 6. С. 658–667 [Golovatskaya E. A., Dyukarev E. A. The influence of environmental factors on the CO₂ emission from the surface of oligotrophic peat soils in West Siberia // Ibid. 2012. Vol. 45, N 6. P. 588–597].
- Карпов В. Г. Факторы регуляции экосистем еловых лесов. Л.: Наука, 1983. 317 с.
- Лавров С. А., Курбатова Ю. А. Математическое моделирование теплообмена и потоков CO₂ на поверхности верхового болота // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2005. Т. 41, № 5. С. 631–644.
- Мигловец М. Н., Михайлов О. А., Загирова С. В. Вертикальные потоки CH₄ и CO₂ в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2013. С. 193–197.
- Минаева Т. Ю., Шапошников Е. С. Характеристика региона и природные условия Центрально-Лесного биосферного заповедника // Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия. СПб.: РБО, 1999. С. 296–299.
- Минаева Т. Ю., Глушков И. В., Носова М. Б., Стародубцева О. А., Кураева Е. Н., Волкова Е. М. Очерк болот Центрально-Лесного заповедника // Комплексные исследования в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике: их

- прошлое, настоящее и будущее: мат-лы совещ. / Труды Центрально-Лесного заповедника. Тула: Гриф и К°, 2007. Т. 4. С. 267–296.
- Молчанов А. Г. Газообмен сфагнома при различных уровнях поверхностных грунтовых вод // Экология. 2015. № 3. С. 182–188 [Molchanov A. G. Gas exchange in sphagnum mosses at different near-surface groundwater levels. 2015. Vol. 46, N 3. P. 230–235].
- Наумов А. В., Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П., Паршина Е. К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // Сиб. экол. журн. 2007. № 5. С. 771–779.
- Новенко Е. Ю. Динамика лесных экосистем юга Валдайской возвышенности в позднем плейстоцене и голоцене. М.: ГЕОС, 2011. 112 с.
- Осипов А. Ф. Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы сосняка чернично-сфагнового средней тайги // Почвоведение. 2013. № 5. С. 619–626 [Osipov A. F. Carbon dioxide emission from the soil surface in a bilberry-sphagnum pine forest of the Middle Taiga // Eurasian Soil Sci. 2013. Vol. 46, N 5. P. 572–578].
- Пузаченко Ю. Г. Ландшафтные исследования в Центрально-Лесном заповеднике // Центрально-Лесной заповедник – вклад в отечественную и мировую науку: мат-лы, посвящ. 75-летию Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Пос. Заповедный, 2008. С. 5–18.
- Aim J., Saamio S., Nykanen H. et al. Winter CO₂, CH₄ and N₂O fluxes on some boreal natural and drained peatlands // Biogeochemistry. 1999. Vol. 44. P. 163–186.
- Arneth A., Kurbatova J., Kolle O. et al. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in European Russian and central Siberian bog. II. Interseasonal and interannual variability of CO₂ fluxes // Tellus. 2002. Vol. 54B, N 5. P. 514–530.
- Kurbatova J., Tatarinov F., Molchanov A. et al. Partitioning of ecosystem respiration in a paludified shallow-peat spruce forest in the southern taiga of European Russia // Environ. Res. Lett. 2013. Vol. 8. 045028 (9 p).
- Kurbatova J., Arneth A., Vygodskaya N. et al. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russia and a central Siberian bog. I. Interseasonal and interannual variability of energy and latent heat fluxes during snowfree period // Tellus. 2002. Vol. 54B, N 5. P. 497–513.
- Kurbatova J., Li C., Varlagin A. et al. Modeling carbon dynamics in two adjacent spruce forests with different soil conditions in Russia // Biogeosciences. 2008. Vol. 5. P. 969–980.
- Kurbatova J., Li Ch., Tatarinov F. et al. Modeling of the carbon dioxide fluxes in European Russia peat bog // Environ. Res. Lett. 2009. Vol. 4 045022 (5 p.).
- LI-8100A Automated soil CO₂ flux system & LI-8150 Multiplexer instruction manual. LI-COR Inc., USA, 2010. P. 394.
- Peli E., Czobel Sz., Nagy J., Koronatova N. G., Kosykh N. P. Comparison of biomass and carbon-flux data considering the role functional groups and species diversity in two typical West Siberian peatlands // West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present: Proc. of the Second Int. Field Symp. Khanty-Mansiysk, 2007. P. 138–140.
- Solomon S., Qin D., Manning M. et al. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 996 p.
- Urbanova Z., Picek T., Tuittila, E. Sensitivity of carbon gas fluxes to weather variability on pristine, drained and rewetted temperate bogs // Mires and Peat. 2013. Vol. 11, art. 4. P. 1–14.

CO₂ Fluxes on the South Taiga Bog in the European Part of Russia in Summer

D. G. IVANOV, V. K. AVILOV, Yu. A. KURBATOVA

*A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS
119071, Moscow, Leninsky ave., 33
E-mail: ivanovdg19@gmail.com*

Estimations of CO₂ emission and net ecosystem exchange (NEE) between atmosphere and bog surface were made in south taiga of European Russia for summer seasons of 2013–2015. Flux measurements were carried out by static chamber method every 7–10 days on 3 homogeneous in soil moisture and vegetation type experimental sites. Statistically significant distinctions of NEE and CO₂ fluxes were found between different experimental sites. It has been established that bog significance in CO₂ balance to atmosphere should be assessed with regard to the spatial heterogeneity of bogs.

Key words: CO₂ emission, NEE, climate changes, bog, south taiga.