

УДК 631.445.12 : 631.421.1

## РЕЗУЛЬТАТЫ СУТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Е. В. Линкевич\*, Е. Н. Гуляева, В. М. Прокопюк, Л. А. Ефимова

Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*maltseva2@gmail.com

Проведены суточные измерения потоков углекислого газа камерным методом в разных растительных сообществах олиготрофного болота в период вегетации на территории Республики Карелия. Дана оценка микроклиматических показателей объекта исследования. Установлена зависимость экосистемного дыхания ( $R_{\text{eco}}$ ) растительных сообществ, приуроченных к различным элементам микроландшафта, от интенсивности осадков, атмосферной температуры и влажности воздуха. Средняя величина  $R_{\text{eco}}$  в период с мая по сентябрь на межкочьях, покрытых *Sphagnum angustifolium*, составляла  $1,41 \pm 0,46$  гС/(м<sup>2</sup>сут), на кочках с преобладанием *Eriophorum vaginatum* –  $3,31 \pm 0,74$  гС/(м<sup>2</sup>сут).

Ключевые слова: экосистемное дыхание; диоксид углерода; суточные измерения; олиготрофное болото; микроклиматические факторы; *Sphagnum angustifolium*; *Eriophorum vaginatum*

Для цитирования: Линкевич Е. В., Гуляева Е. Н., Прокопюк В. М., Ефимова Л. А. Результаты суточных измерений потоков углекислого газа на олиготрофном болоте Южной Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 13–19. doi: 10.17076/eco1840

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0018).

## E. V. Linkevich\*, E. N. Gulyaeva, V. M. Prokopyuk, L. A. Efimova. RESULTS OF DAILY MEASUREMENTS OF CARBON DIOXIDE FLUXES IN AN OLIGOTROPHIC BOG IN SOUTHERN KARELIA

Department for Multidisciplinary Research, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*maltseva2@gmail.com

Daily measurements of carbon dioxide fluxes were carried out by the chamber method in different plant communities of an oligotrophic bog in the Republic of Karelia during the growing season. The microclimatic variables of the study area were assessed.

The dependence of the ecosystem respiration ( $R_{\text{eco}}$ ) of plant communities occupying different microtopographic features on precipitation intensity, air temperature and humidity was determined. The average values of  $R_{\text{eco}}$  in the period from May to September in *Sphagnum angustifolium*-covered spaces between hummocks and on *Eriophorum vaginatum*-dominated hummocks were  $1.41 \pm 0.46$  gC/(m<sup>2</sup>day) and  $3.31 \pm 0.74$  gC/(m<sup>2</sup>day), respectively.

**Keywords:** ecosystem respiration; carbon dioxide; daily measurements; oligotrophic bog; microclimatic factors; *Sphagnum angustifolium*; *Eriophorum vaginatum*

**For citation:** Linkevich E. V., Gulyaeva E. N., Prokopyuk V. M., Efimova L. A. Results of daily measurements of carbon dioxide fluxes in an oligotrophic bog in southern Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 13–19. doi: 10.17076/eco1840

**Funding.** The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN-2022-0018).

## Введение

Республика Карелия является одним из наиболее заболоченных регионов на территории России, в котором болота занимают 3,63 млн га (более 27 % от всей территории республики) [Елина и др., 1984]. Высокая обводненность естественных болот является причиной медленного разложения растений и накопления углерода. Однако изменения климата могут оказать существенное влияние на характер выбросов углерода в атмосферу в виде парниковых газов [Montzka et al., 2011].

В связи с особенностями химического строения молекул углекислого газа, воды, метана, закиси азота происходит задержка поступающей солнечной радиации на поверхность атмосферы Земли, что признается многими авторами как причина роста среднесуточной температуры [Шрайбер, 2013].

Потоки парниковых газов имеют биотические и абиотические предпосылки. Исследования этих потоков в различных работах проводятся на основании наиболее распространенных методов – камерного метода и с помощью пульсационной аппаратуры [Алферов и др., 2017; Кривенок и др., 2019]. Результаты последнего интерпретируются на основании скорости и направления ветра. Также важными будут считаться показатели ряда абиотических факторов, которые часто используются для физико-химической характеристики объекта исследования: температура, влажность, давление, высота установки датчика [Чистотин и др., 2006; Дюкарев, 2015]. Применение метода закрытых камер имеет ряд преимуществ, поскольку оценка вклада гетеротрофного дыхания в суммарный поток CO<sub>2</sub> основывается на параметрах состояния поверхности почвы, в первую очередь ее температурного режима.

Также относительная влажность воздуха может существенно отличаться от влажности на поверхности почвы. На изменение такого показателя оказывают влияние количество осадков, температура, дневное освещение, а также скорость ветра.

Доминирующим потоком на естественных объектах являются пары углекислого газа и воды. Для оценки потоков необходимы знания суточных измерений, что позволит охарактеризовать процессы фотосинтеза и дыхания растений, долю корневого и гетеротрофного дыхания. Однако ранее суточные измерения экосистемного дыхания на болотах в Карелии не проводились.

Целью данной работы стала оценка суточной динамики экосистемного дыхания в разных растительных сообществах на естественном олиготрофном болоте в зависимости от ряда абиотических факторов за вегетационный период.

## Материалы и методы

Объектом исследования являлось олиготрофное болото Близкое в государственном природном заповеднике «Кивач» (62°26'83"N, 33°99'45"E), расположенное на высоте 38 м над уровнем моря. Согласно климатической классификации Кеппена – Гейгера [Kottek et al., 2006] район исследования относится к зоне субарктического континентального климата (Dfc) и характеризуется коротким прохладным летом и длинной теплой зимой. Модельный участок болота представлен сосново-кустарничково-пушицево-сфагновым сообществом.

Физико-химический анализ торфа и болотных вод проводили на отобранных образцах в начале вегетационного периода согласно ГОСТ 11305-2013, ГОСТ 11306-2013 и ГОСТ 10650-2013. Гуминовые кислоты выделяли

методом щелочной экстракции с предварительным декальцинированием торфяных образцов. Запасы углерода и азота в верхних слоях торфяника определяли на элементном анализаторе CN 802 (VELP Scientific, Италия) на базе лаборатории мониторинга парниковых газов ОКНИ КарНЦ РАН с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

Измерение экосистемного дыхания проводили с помощью автоматических камер, подключенных к портативному газоанализатору с инфракрасным датчиком SF-9000 (LICA, Китай). Регистрация концентрации диоксида углерода в приземном слое выполнялась в течение суток с одновременным использованием четырех камер один раз в месяц в период с мая по сентябрь 2023 г. Измерительное кольцо устанавливалось за сутки до начала измерения потоков на глубину 2–3 см торфяной залежи с неповрежденным растительным покровом на два различных участка болота с мощностью торфяной залежи 1,5 м. Уровень болотных вод (УБВ) варьировался за весь вегетационный период в диапазоне от –25 до –10 см. Экосистемное дыхание измеряли в растительных сообществах, приуроченных к различным элементам микроландшафта: межкочья, покрытые сплошным ковром *Sphagnum angustifolium* (Russow) С. Е. О. Jensen, и кочки, образованные *Eriophorum vaginatum* L. и *Sphagnum angustifolium*. В отдельном варианте полевые эксперименты по определению потоков диоксида углерода проводили без учета надземных частей растений, которые предварительно удаляли. Одновременно газоанализатором регистрировались объемная влажность торфяной залежи ( $W_{об}$ , %), давление воздуха в камере

( $P_{атм.кам}$ , Па), температура торфяной залежи в камере, которая определялась по датчику, установленному внутри камеры ( $T_{кам}$ , °С).

Микроклиматические факторы, влияющие на формирование потоков  $CO_2$ , оценивались переносной метеостанцией SOKOL M1 (ГК «Эскаорт», Россия) на высоте 1,5 м. В данной работе рассматривались следующие измерительные параметры станции: температура атмосферного воздуха ( $T_{атм}$ , °С), атмосферное давление (P, Па), относительная влажность воздуха ( $W_{отн}$ , %), количество осадков (мм). Средняя температура воздуха рассчитывалась как средняя величина за период измерения экосистемного дыхания в течение суток ( $T_{ср.атм}$ , °С).

## Результаты и обсуждение

По данным метеостанции г. Кондопога (27 км от объекта исследований), вегетационный период 2023 года был теплым и влажным. За период измерений  $R_{eco}$  с мая по сентябрь 2023 г. выпало 361 мм осадков при среднемноголетних значениях 354 мм. Средняя температура воздуха в период с мая по сентябрь составила 14,4 °С, что на 0,7 °С выше средней многолетней температуры за последние 20 лет (<http://www.pogodaiklimat.ru>, номер метеостанции 22727). В дни измерений  $R_{eco}$  средняя температура воздуха превышала среднемноголетние значения, за исключением июля, который был на 4,7 °С холоднее климатической нормы (табл.). Количество осадков было ниже климатической нормы в мае–июле и сентябре. Август характеризовался избыточным увлажнением, количество осадков в 1,5 раза превышало среднемноголетние значения (табл.).

Средняя температура атмосферного воздуха, количество осадков и относительная влажность воздуха во время регистрации  $R_{eco}$  парниковых газов на болоте Ближкое

Average atmospheric temperature, precipitation and relative air humidity during the registration of green house gas emissions in the Blizkoe peatland

	$T_{ср.атм}$ , °С / отклонение от нормы, °С $T_{ав.атм}$ , °С / deviation, °С	$\Delta T$ , °С	Кол-во осадков, мм / отклонение от нормы, % Precipitation, mm / deviation, %	Кол-во осадков между измерениями, мм Precipitation between the registration periods, mm	Относительная влажность воздуха / отклонение от нормы, % Relative air humidity / deviation, %
22–23 мая May 22–23	17,4/+6,9	23,6	0,3/10	24,5	79/+9
13–14 июня June 13–14	18,8/+4,9	19,3	1,2/50	32,1	48/–21
10–11 июля July 10–11	12,4/–4,7	20,3	3,5/63	37,1	67/–11
15–16 августа August 15–16	19,5/+4,4	17,2	9,8/162	190,6	82/–1
22–23 сентября September 22–23	16,2/+7,4	6,9	4,3/84	52,7	88/0

На рис. 1 приведены совмещенные данные газоанализатора и метеостанции по температуре в камере ( $T_{\text{кам}}$ ) и окружающем воздухе ( $T_{\text{атм}}$ ), а также объемной влажности торфяной залежи ( $W_{\text{об}}$ ) и относительной влажности воздуха ( $W_{\text{отн}}$ ). По данным рисунка, фиксируемые величины  $T_{\text{атм}}$  и  $T_{\text{кам}}$  практически совпадают (рис. 1). Однако проводимые измерения с мая по август демонстрируют высокую температурную амплитуду ( $\Delta T$ , °C) – от 23,6 (май) до 17,2 (август). При этом  $T_{\text{атм}}$  обратно коррелирует с относительной влажностью воздуха (рис. 1). Величина  $W_{\text{отн}}$  увеличивается в ночное время и достигает 95 %. В июне наблюдается уменьшение диапазона с максимальной влажностью с 02.00 до 05.00. С июля по сентябрь в период суточных измерений продолжительность

сохранения максимальной влажности (93–95 %) в ночное время выше. Такая динамика влажности атмосферного воздуха на болоте связана с наиболее высокой освещенностью в июне в течение суток в период белых ночей, характерных для Карелии (рис. 1). Наибольшая средняя величина  $W_{\text{отн}}$  зафиксирована в августе и сентябре (82 и 88 % соответственно), что обусловлено возрастанием количества осадков, выпавших за сутки и за период между измерениями экосистемного дыхания, а также уменьшением  $\Delta T$  до 7 °C в сентябре.

Контрастность микроклиматических условий в вегетационный период отразилась на почвенных показателях исследованного болота. Объемная влажность торфяной залежи определялась при величине не более 80 %.

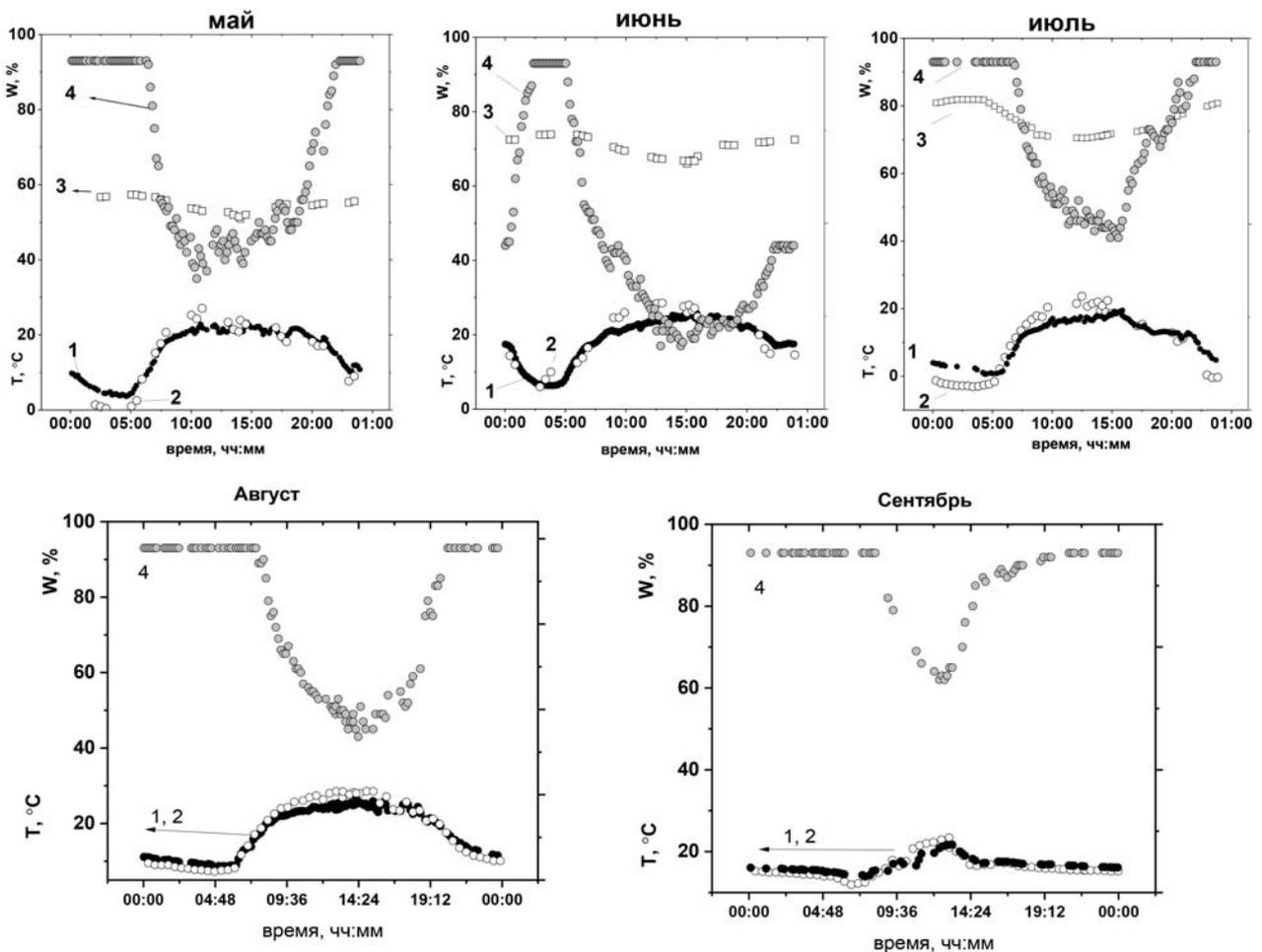


Рис. 1. Сравнение микроклиматических параметров метеостанции и измерительной камеры во время проведения суточных измерений экосистемного дыхания: 1 – температура атмосферного воздуха, °C; 2 – температура торфяной залежи в измерительной камере, °C; 3 – объемная влажность торфяной залежи, %; 4 – атмосферная влажность, %

Fig. 1. Comparison of microclimatic parameters of the atmospheric air and the measuring chamber during daily measurements of ecosystem respiration: 1 – atmospheric air temperature, °C; 2 – temperature of the peat deposit in the measuring chamber, °C; 3 – volumetric humidity of the peat deposit, %; 4 – atmospheric humidity, %

В умеренно увлажненные периоды с мая по июль наблюдался рост средней величины  $W_{об}$ :  $54,5 < 70,4 < 76,3$  %. Также был зафиксирован низкий уровень болотных вод. С увеличением количества осадков с августа по сентябрь  $W_{об}$  камеры составила 100 % и значительно возрос уровень болотных вод.

Поверхность болота характеризуется низкой степенью разложения ( $13 \pm 2$  %) и количеством зольных элементов (3,5 %), а также высокой влажностью ( $91 \pm 1,5$  %), что позволяет отнести верхние горизонты к верховому типу торфа. Преобладание в растительном сообществе сфагновых мхов является причиной высокой кислотности (рН 4,1) и окислительно-восстановительного потенциала (Еh 395 мВ). Полученные результаты указывают на высокое содержание анионных форм в болотных водах в начале вегетационного периода. Содержание углерода поверхностного слоя торфяной залежи соответствует 42 %. Невысокое содержание гуминовых веществ (10,2 %) и соотношение С/Н (23,3) указывают на преобладание неразложившихся или слабо разложившихся растительных остатков, что также подтверждает отнесение верхних слоев торфяной залежи к верховому типу.

Исследование динамики выделения  $CO_2$  с поверхности выбранных участков болота позволило выявить схожий суточный ход эмиссии (рис. 2, А). В среднем наибольший рост эмиссии приходится на дневные часы с 9.00 до

16.00 с максимальной величиной в диапазоне с 12.00 до 13.00. Также отмечается возрастание потоков в вечернее время в диапазоне с 18.00 до 22.00. Наибольшие различия в суточном ходе по месяцам наблюдаются в дневное время, тогда как в ночные и утренние часы значения эмиссии имеют близкие величины. Амплитуда эмиссии в течение суток может быть обусловлена различиями метеорологических параметров, автотрофного и гетеротрофного дыхания, а также физико-химическими процессами, протекающими в торфяной залежи.

В мае скорость выделения  $CO_2$  с поверхности межкочья (*Sphagnum angustifolium*) достигает  $1,65$  гС/(м<sup>2</sup>сут), а с кочки, образованной *Eriophorum vaginatum*, –  $2,6$  гС/(м<sup>2</sup>сут). В июне экосистемное дыхание имеет максимальные значения с поверхности межкочья ( $1,9$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), что связано с жарким периодом и низким количеством осадков. В июле после обильных дождей и понижения температуры возможно возрастание растворимости  $CO_2$  в болотных водах, что может объяснять снижение  $R_{эко}$  с поверхности сфагнума на межкочье. Максимальный поток над растениями пушицы приходится на июль и составляет  $4,1$  гС/(м<sup>2</sup>сут), несмотря на низкую величину  $T_{атм}$ . В августе потоки диоксида углерода над изученными растительными сообществами снижаются, что обусловлено проливными дождями (межкочье –  $1,12$  гС/(м<sup>2</sup>сут), кочка –  $3,9$  гС/(м<sup>2</sup>сут)).

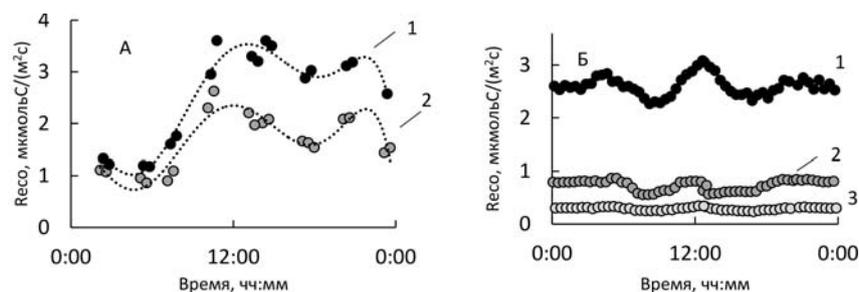


Рис. 2. Суточная динамика экосистемного (1, 2) и почвенного (3) дыхания на олиготрофном болоте:

А – в мае: 1 – кочка, образованная *Eriophorum vaginatum* ( $2,6$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), 2 – межкочье со *Sphagnum angustifolium* ( $1,65$  гС/(м<sup>2</sup>сут)); Б – в сентябре: 1 – кочка, образованная *Eriophorum vaginatum* ( $2,7$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), 2 – межкочье со *Sphagnum angustifolium*, единично *Andromeda polifolia* L., мощность 1,5 м ( $0,76$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), 3 – торфяная залежь без фитомассы мха и сосудистых растений ( $0,3$  гС/(м<sup>2</sup>сут))

Fig. 2. Diurnal dynamics of ecosystem (1, 2) and soil (3) respiration in an oligotrophic bog:

А – in May: 1 – *Eriophorum vaginatum* hummock ( $2.6$  gC/(m<sup>2</sup>d)), 2 – space between hummocks with *Sphagnum angustifolium* ( $1.65$  gC/(m<sup>2</sup>d)); Б – in September: 1 – *Eriophorum vaginatum* hummock ( $2.7$ gC/(m<sup>2</sup>d)); 2 – space between hummocks with *Sphagnum angustifolium*, singly *Andromeda polifolia* L., the peat deposit thickness is 1.5 m ( $0.76$  gC/(m<sup>2</sup>d)), 3 – peat deposit without phytomass of moss and vascular plants ( $0.3$  gC/(m<sup>2</sup>d))

На рис. 2 (Б) приведены суточные измерения экосистемного дыхания, полученные на конец вегетационного периода в сентябре. Скорость выделения  $\text{CO}_2$  и амплитуда суточного хода достигли минимальных значений над растениями обоих видов. В последний месяц вегетации наибольшая эмиссия наблюдалась над растениями *Eriophorum vaginatum* ( $2,7 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{ сут})$ ), что может быть связано с мощной корневой системой данного растения и увеличенной долей ризосферных микроорганизмов.

Измерения потоков в сентябре на межкочье показали существенное снижение  $\text{CO}_2$  по сравнению с маем (рис. 2, Б). Пик, приходящийся на период интенсивного дыхания в дневные часы, также сохранялся над растениями обоих видов. В случае измерений на участке без фитомассы характерные диапазоны роста эмиссии не обнаруживаются, это может быть связано со снижением микробиологической активности при низкой  $T_{\text{атм}}$ . При этом среднесуточные значения  $R_{\text{эко}}$  минимальны и составляют  $0,3 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{ сут})$ . Данная величина соответствует сумме корневого и гетеротрофного дыхания и составляет 40 % от общего экосистемного дыхания.

Таким образом, максимальная величина  $R_{\text{эко}}$  для растительных сообществ, приуроченных к различным элементам микроландшафта на болоте Близкое, приходится на разные временные промежутки и существенно зависит от микроклиматических факторов. При этом нужно отметить, что увеличение осадков практически не оказало особого влияния на экосистемное дыхание с поверхности кочек, образованных *Eriophorum vaginatum*.

## Заключение

Измерения потоков  $\text{CO}_2$  на олиготрофном естественном болоте выявили суточные вариации за вегетационный период 2023 г. Схожие результаты температуры измерительных камер и атмосферного воздуха метеостанции указывают на близость температурной зависимости верхних слоев болота с атмосферным воздухом на расстоянии 1,5 м от его поверхности. Исследованные растительные сообщества, приуроченные к определенным формам микрорельефа, характеризовались различной интенсивностью  $R_{\text{эко}}$ . При этом наибольшая суточная величина экосистемного дыхания зафиксирована над растениями *Eriophorum vaginatum* в июле и составила  $4,1 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{ сут})$ . В случае *Sphagnum angustifolium* максимальный поток  $\text{CO}_2$  наблюдался в июне, что соответствовало  $1,9 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{ сут})$ . Возрастание количества осадков в июле–сентябре и снижение

среднесуточной температуры оказало существенное влияние на снижение экосистемного дыхания над растениями *Sphagnum angustifolium*. Полученные данные  $R_{\text{эко}}$  на участке с предварительно удаленным слоем фитомассы показали, что суммарное корневое и гетеротрофное дыхание составляет 40 % от общего экосистемного дыхания с поверхности болота. Полученные впервые результаты о характере экосистемного дыхания на олиготрофном болоте при дальнейшем сборе данных позволят дать оценку динамики экосистемного дыхания болот на территории Карелии, учитывая особенности климата и разнообразия растительных сообществ.

Авторы выражают благодарность руководству заповедника «Кивач» за предоставленную возможность проведения исследований.

## Литература

- Алферов А. М., Блинов В. Г., Гитарский М. Л., Грабар В. А., Замолодчиков Д. Г., Зинченко А. В., Иванова Н. П., Ивахов В. М., Карабань Р. Т., Карелин Д. В., Калюжный И. Л., Кашин Ф. В., Конюшков Д. Е., Коротков В. Н., Кровотынцев В. А., Лавров С. А., Марунич А. С., Парамонова Н. Н., Романовская А. А., Юзбеков А. К., Трунов А. А., Шилкин А. В. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов: Амирит, 2017. 279 с.
- Дюкарев Е. А. Моделирование потоков углекислого газа в мезо-олиготрофной топяной болотной экосистеме // Математическое моделирование в экологии. ЭкоМатМод-2015: Мат-лы Четвертой нац. науч. конф. (18–22 мая 2015 г.). Пущино, 2015. С. 65.
- Елина Г. А., Кузнецов С. Д., Максимов А. И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.
- Кривенок Л. А., Суворов Г. Г., Авилов В. К., Сирин А. А. Измерение потоков  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  методом турбулентных пульсаций: использование мобильной установки и учет изменяющейся зоны охвата // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32, № 11. С. 942–950. doi: 10.15372/AOO20191111
- Чистотин М. В., Сирин А. А., Дулов Л. Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // Агрехимия. 2006. № 6. С. 54–62.
- Шрайбер В. М. Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // Биосфера. 2013. Т. 5, № 1. С. 37–46.
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. 2006. Vol. 15, no. 3. P. 259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- Montzka S. A., Dlugokencky E. J., Butler J. H. Non- $\text{CO}_2$  greenhouse gases and climate change // Nature. 2011. Vol. 476, no. 7358. P. 43–50. doi: 10.1038/nature10322

## References

Alferov A. M., Blinov V. G., Gitarskii M. L., Grabar V. A., Zamolodchikov D. G., Zinchenko A. V., Ivanova N. P., Ivakhov V. M., Karaban' R. T., Karelin D. V., Kalyuzhnyi I. L., Kashin F. V., Konyushkov D. E., Korotkov V. N., Krovotyntsev V. A., Lavrov S. A., Marunich A. S., Paramonova N. N., Romanovskaya A. A., Yuzbekov A. K., Trunov A. A., Shilkin A. V. Monitoring of greenhouse gas fluxes in natural ecosystems. Saratov: Amirit; 2017. 279 p. (In Russ.)

Chistotin M. V., Sirin A. A., Dulov L. E. Seasonal dynamics of carbon dioxide and methane emission from a peatland in the Moscow Region drained for peat extraction and agricultural use. *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2006;6:54–62. (In Russ.)

Dyukarev E. A. Modeling of carbon dioxide fluxes in the meso-oligotrophic topiary bog ecosystem. *Matematicheskoe modelirovanie v ekologii. EcoMatMod-2015: Mat-ly Chetvertoi nats. nauch. konf. (18–22 maya 2015 g.) = Mathematical modeling in ecology. EcoMatMod-2015: Proceedings of the Fourth*

*national scientific conf. (May 18–22, 2015)*. Pushchino; 2015. P. 65. (In Russ.)

Elina G. A., Kuznetsov S. D., Maksimov A. I. Structural and functional organization and dynamics of bog ecosystems of Karelia. Leningrad: Nauka; 1984. 128 p. (In Russ.)

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 2006;15(3):259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130

Krivenok L. A., Suvorov G. G., Avilov V. K., Sirin A. A. Eddy covariance measurement of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and H<sub>2</sub>O fluxes: Use of a mobile tower and taking into account the changing fetch. *Optika atmosfery i okeana = Atmospheric and Oceanic Optics*. 2019;32(11):942–950. doi: 10.15372/AOO20191111 (In Russ.)

Montzka S. A., Dlugokencky E. J., Butler J. H. Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases and climate change. *Nature*. 2011;476(7358):43–50. doi: 10.1038/nature10322

Shrayber V. M. On the history of studying the greenhouse effect of the Earth's atmosphere. *Biosfera = Biosphere*. 2013;5(1):37–46. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 06.11.2023; принята к публикации / accepted: 04.12.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Линкевич Елизавета Владимировна

канд. хим. наук., старший научный сотрудник

e-mail: maltseva2@gmail.com

### Гуляева Елена Николаевна

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: gln7408@gmail.com

### Прокопюк Виктория Михайловна

младший научный сотрудник, аспирант

e-mail: vi\_kaaa@mail.ru

### Ефимова Любовь Александровна

младший научный сотрудник

e-mail: ms.la.95@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### Linkevich, Elizaveta

Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher

### Gulyaeva, Elena

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

### Prokopyuk, Viktoria

Junior Researcher, Doctoral Student

### Efimova, Lyubov

Junior Researcher