

Научная статья  
УДК 631.42:551.5

## **ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ ПОТОКОВ CO<sub>2</sub> С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В СОСНЯКЕ БРУСНИЧНО-ЛИШАЙНИКОВОМ НА ЮГО-ВОСТОКЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.**

**Роман Викторович Кудрявцев**

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,  
Сыктывкар, Россия

Сыктывкарский лесной институт (филиал) Санкт-Петербургского  
государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова,  
Сыктывкар, Россия

kudriavtsevroman@mail.ru

***Аннотация.*** В статье представлены результаты исследования сезонной динамики почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в сосняке бруснично-лишайниковом юго-востока Республики Коми за два вегетационных сезона с применением почвенного газоанализатора. Выявлена устойчивая зависимость потоков CO<sub>2</sub> от температуры воздуха в начале сезона. Также установлено слабое отрицательное влияние интенсивности увлажнения в сухие периоды.

***Ключевые слова:*** сосняки, почвенный поток CO<sub>2</sub>, температура, осадки

***Благодарности:*** автор выражает благодарность Институту биологии ФИЦ «КНЦ УрО РАН» за предоставленное оборудование для проведения исследований, а также С. В. Загировой и М. Н. Мигловцу за организационную поддержку.

***Для цитирования:*** Кудрявцев Р. В. Влияние погодных условий на сезонную динамику потоков CO<sub>2</sub> с поверхности почвы в сосняке бруснично-лишайниковом на юго-востоке Республики Коми // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 215–219.

Original article

## INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON SEASONAL DYNAMICS OF CO<sub>2</sub> FLUXES FROM THE SOIL SURFACE IN A CRANBERRY-LICHEN PINE FOREST IN THE SOUTHEAST OF THE KOMI REPUBLIC

**Roman V. Kudryavtsev**

Pitirim Sorokin Syktyvkar State University

Syktyvkar Forest Institute (branch) of the S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Engineering University, Syktyvkar, Russia

kudriavtsevroman@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of studying the seasonal dynamics of soil CO<sub>2</sub> emissions in a cranberry-lichen pine forest in the southeast of the Komi Republic for two growing seasons using a soil gas analyzer. A stable dependence of CO<sub>2</sub> fluxes on air temperature at the beginning of the season was revealed. A weak negative effect of moisture intensity during dry periods was also established.

**Keywords:** pine forests, soil CO<sub>2</sub> flux, temperature, precipitation

**Acknowledgments:** the author expresses gratitude to the Institute of Biology of the Federal Research Center “KSC UB RAS” for the provided equipment for the research, as well as to S. V. Zagirova and M. N. Miglovets for organizational support.

**For citation:** Kudryavtsev R. V. (2025) Vliyanie pogodnyh uslovij na sezonnyu dinamiku potokov CO<sub>2</sub> s poverhnosti pochvy v sosnyake brusnichno-lishajnikovom na yugo-vostoke respubliky Komi [Influence of weather conditions on the seasonal dynamics of CO<sub>2</sub> fluxes from the soil surface in a cranberry-lichen pine forest in the southeast of the Komi Republic]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 215–219. (In Russ).

Развитие лесного комплекса является одним из важнейших направлений национальной политики России в последнее десятилетие. В связи с параллельным нарастанием напряженности экологической обстановки в XIX в., большое внимание стало уделяться ресурсосберегающим технологиям, мероприятиям по снижению антропогенной нагрузки на природные экосистемы и борьбе с изменением климата.

Одно из значимых направлений решения экологических проблем при реализации программ по развитию лесного комплекса России – изучение

динамики потоков диоксида углерода в ненарушенных и нарушенных лесных сообществах. Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) – это второй по значимости парниковый газ, выбрасываемый в атмосферу Земли в больших объемах как естественными источниками, так и антропогенными. В лесных экосистемах вследствие биогеохимических процессов складывается углеродный баланс, который при благоприятных условиях отрицателен. Однако эффект стока углерода проявляется в основном за счет фотосинтезирующей биомассы древесных растений [1]. Почва и подстилка, наоборот, являются крупнейшими естественными источниками диоксида углерода, поставляя в окружающий атмосферный воздух до 80 %  $\text{CO}_2$  от суммарной эмиссии этого газа экосистемой [2]. При этом почвенное дыхание (эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы) является очень чувствительным процессом к антропогенной нагрузке и изменению климата.

Чтобы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду при интенсивном развитии лесной промышленности, необходим комплексный подход к решению проблемы. Требуется большой объем знаний о естественных процессах, протекающих в экосистемах, и сведения об отклике этих процессов на внешнее воздействие. В последние годы достаточно много работ по изучению почвенного дыхания проводится на вырубках, при этом часто недостаточно данных для сравнения по ненарушенным природным сообществам в силу их труднодоступности, а в некоторых случаях – расположения на ООПТ, где имеются особенности применения методик.

Цель данной работы: изучить сезонную динамику почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  в сосняке бруснично-лишайниковом на территории Печоро-Илычского заповедника в 2022 и 2024 г. – в годы с различными погодными условиями.

Задачи: оценить сезонную динамику интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы в течение двух вегетационных сезонов; сравнить полученные данные с климатическими факторами; выявить зависимость интенсивности эмиссии от температуры воздуха и режима увлажнения по периодам (начало, середина и конец сезона).

Исследование проводили в 2022 и 2024 гг. на территории Печоро-Илычского заповедника рядом с пос. Якша Троицко-Печорского района Республики Коми (N61°49' E56°52'). Рельеф района исследований равнинный, территория покрыта сухими сосняками, чередующимися с олиготрофными болотами. В 2022 г. пробную площадь размером 50 × 50 м заложили на участке сосняка бруснично-лишайникового, в ее центре разместили четыре основания, представляющие собой кольца, изготовленные из пластиковых труб. В 2024 г. количество оснований увеличили до пяти. Точки измерений (основания) расположили в линию на расстоянии 1 м друг от друга в межкрупном пространстве. Живой напочвенный покров в пределах оснований предварительно удалили с сохранением подстилки.

Участок представляет собой чистый сосняк без подлеска, образованный сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Живой напочвенный покров представлен в основном лишайниками рода *Cladonia*, брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черникой (*Vaccinium myrtillus* L.), а также зелеными мхами (*Hylocomium splendens* Hedw. и *Pleurozium schreberi* Willd. ex Brid.). Почва – иллювиально-железистый подзол с мощностью органического горизонта до 2 см.

Измерения проводили в течение вегетационных сезонов в 2022 и 2024 г. с периодичностью 7–10 дней. Для регистрации потока  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы применяли инфракрасный газоанализатор LI-8100A (*Licor*, США) с темной камерой закрытого типа диаметром 20 см. На каждом основании поток измеряли в течение 2 мин. в 5 повторениях. Температуру воздуха регистрировали с помощью датчиков *Hobo* (*Onset*, США), расположенных под пологом древостоя, рядом с точками измерений почвенного дыхания. Данные по количеству выпавших осадков получали с метеостанции «М-2 Якша» (Росгидромет) [3]. Статистический анализ данных выполняли в *MS Excel*.

Сезоны 2022 и 2024 г. характеризовались различными погодными условиями. В 2022 г. отмечен умеренно-теплый и влажный май, в 2024 г., наоборот, очень холодный и сухой. Также различались летние месяцы. Наиболее высокие температуры в 2022 г. наблюдали в июле и августе, в 2024 г. – в июне и июле. Дефицит осадков отмечен в июле 2022 г., избыток – в мае и августе 2022 г., июне 2024 г.

Несмотря на значительные различия в погодных условиях двух сезонов, эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы имела относительно сходную динамику, однако были выявлены некоторые различия. В обоих случаях пик эмиссии наблюдали в конце июля, максимальные значения достигали  $2\text{--}2,2$  мкмоль/ $\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . При этом в 2022 г. прослеживался менее четкий тренд, что, вероятнее всего, было связано с более контрастным гидро-термическим режимом. В 2024 г. в связи с аномально низкими температурами в мае почва в начале сезона прогревалась хуже, поэтому значения эмиссии  $\text{CO}_2$  в этот период оказались значительно ниже, чем в 2022 г.

По результатам корреляционного анализа данных за два сезона было выявлено, что температура воздуха положительно сказывается на скорости выделения  $\text{CO}_2$  из почвы лишь в начале сезона, что только частично согласуется с данными других авторов [4]. При этом в большинстве опубликованных к настоящему времени работ отсутствует отдельный по периодам корреляционный анализ. Почвенное дыхание имело слабую и неоднозначную корреляцию с количеством осадков, выпавших за семь дней, предшествующих измерениям.

В сухие периоды выпадение небольшого количества осадков замедляет эмиссию, что объясняется функцией воды как физического барьера для газообмена [5]. Влияние температуры воздуха как катализатора выделения

CO<sub>2</sub> из почвы снижается к середине сезона и проходит порог статистической достоверности. К концу сезона наблюдается уже слабая отрицательная корреляция, что свидетельствует о ведущей роли прогрева почвы, а не температуры воздуха.

Таким образом, в ходе исследования установлено, что в сосняке бруснично-лишайниковом Печоро-Илычского заповедника наблюдается выраженная сезонная динамика почвенного дыхания с пиком эмиссии в конце июля – начале августа; поток диоксида углерода сильно зависит от погодных условий; влияние температуры воздуха наиболее значительно в начале вегетационного сезона; осадки влияют на эмиссию CO<sub>2</sub> из почвы неоднозначно, в зависимости от общего уровня увлажнения. Полученные результаты могут быть полезны не только для оценки влияния изменения климата на экосистемы, но и при проектировании лесохозяйственных работ при различных погодных условиях для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

### *Список источников*

1. Энерго- и массообмен и продуктивность основных экосистем Сибири (по результатам измерений методом турбулентных пульсаций) / Н. М. Чебакова, Н. Н. Выгодская, А. Арнет [и др.] // Известия Российской академии наук. 2014. № 1. С. 65–75.

2. Estimation of soil respiration using automated chamber systems in an oak (*Quercus mongolica*) forest at the Nam-San site in Seoul, Korea / S. J. Joo, S. U. Park, M. S. Park, C. S. Lee // Science of the Total Environment. 2012. № 416. P. 400–409.

3. Архив погоды в Якше. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 20.09.2024).

4. Осипов А. Ф. Влияние межгодовых различий метеорологических характеристик вегетационного периода на эмиссию CO<sub>2</sub> с поверхности почвы среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (Республика Коми) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1455–1463.

5. Влияние климатических факторов на эмиссию CO<sub>2</sub> из почв в среднетаежных лесах Центральной Сибири: эмиссия как функция температуры и влажности почвы / А. В. Махныкина, А. С. Прокушкин, О. В. Меняйло [и др.] // Экология. 2020. № 1. С. 51–61.