

Научная статья

УДК 631.433.3

DOI: 10.18101/2542-0623-2023-4-41-47

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЭМИССИИ CO₂ ИЗ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛУГОВЫХ ПОЧВ ДЕЛЬТЫ р. СЕЛЕНГИ

Е. Ю. Мильхеев

© **Мильхеев Евгений Юрьевич**

кандидат биологических наук, научный сотрудник,

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

evg-milh@rambler.ru

Аннотация. Представлены результаты оценки дыхания с поверхности аллювиальных луговых почв дельты р. Селенги. Измерение эмиссии CO₂ проводили в 2015–2017 гг. (май–сентябрь) камерным методом. Установлено, что динамика почвенной эмиссии CO₂ обусловлена влиянием ряда факторов: временем года, содержанием органического вещества, гидротермическими условиями. Почвенные гидротермические условия в большей степени определяли интенсивность и особенности сезонной динамики почвенных потоков CO₂. Определяющую роль в изменениях скорости выделения CO₂ из почвы в течение вегетационного сезона играла температура верхнего слоя почвы. Условия увлажнения не играют значимой роли в формировании потока углекислого газа.

Ключевые слова: почвенное дыхание, температура почвы, влажность почвы, дельта, луговые почвы, сезонная динамика.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121030100228-4.

Для цитирования

Мильхеев Е. Ю. Сезонная динамика эмиссии CO₂ из аллювиальных луговых почв дельты р. Селенги // *Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia*. 2023. № 4(26). С. 41–47. DOI: 10.18101/2542-0623-2023-4-41-47

Введение

Одной из важнейших экосистемных функций почв, актуальность которой в настоящее время несомненна, является газообмен с атмосферой [Кудеяров, 2015]. Этот биогеохимический процесс тесно связан с продуктивностью экосистем и плодородием почвы и считается ключевым индикатором здоровья и качества почвы, отражающим уровень микробиологической активности [Miriam Muñoz-Rojas et al., 2016]. «Дыхание почв» — это процесс газообмена между почвой и атмосферой, интенсивность которого зависит от жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и дыхания корней растений.

Среди факторов окружающей среды температура и влажность почвы признаны наиболее влиятельными факторами, контролирующими скорость обмена углекислого газа на поверхности почвы. Эти факторы, взаимодействуя между собой,

вливают на продуктивность наземных экосистем и скорость разложения органического вещества почвы [Tang et al., 2020].

С помощью полевых наблюдений за почвенным дыханием бывает очень сложно определить влияние температуры и других факторов на скорость эмиссии CO_2 [Курганова и др., 2019]. Одновременно с этим оценка сезонной динамики эмиссии углекислоты из почв на региональном и глобальном уровне имеет самую высокую неопределенность среди всех компонентов углеродного цикла [Bond-Lamberty, Thomson, 2010]. Величины почвенного дыхания демонстрируют высокую пространственную [Mukhortova et al., 2021] и временную неоднородность как на уровне биомов, так и на региональном уровне [Kurganova et al., 2022].

Динамичность потоков CO_2 из почв в разные периоды года зависит от сезонных изменений экологических факторов. Для более точного представления механизма воздействия основных экологических факторов на эмиссию CO_2 важно проводить конкретные натурные измерения в разных биоклиматических зонах. Районы Дальнего Востока, Восточной Сибири, горные и полупустынные регионы страны до настоящего времени недостаточно изучены в отношении почвенного дыхания. Нехватка экспериментальных исследований в этих регионах является главным препятствием и значительно увеличивает неопределенность при получении оценок общего дыхания почв Российской Федерации. Основные мониторинговые наблюдения за дыханием почв приходится на лесные и болотные экосистемы, в то время как травяные ценозы остаются малоизученными [Курганова и др., 2019]. При этом их вклад в создание положительного углеродного баланса на территории России довольно значителен [Golubyatnikov et al., 2023].

Цель работы — оценить дыхание почв с поверхности аллювиальных луговых почв дельты р. Селенги в зависимости от гидротермических условий вегетационного сезона.

Объекты и методы исследования

Сезонные наблюдения за интенсивностью выделения CO_2 с поверхности аллювиальной луговой почвы проводили на экспериментальном участке, который находился в периферической части дельты р. Селенги ($52^\circ 00'$ с. ш., $106^\circ 32'$ в. д.). Разнообразие экологических условий обуславливает формирование в дельте различных типов почв и растительных сообществ. Современные дельта и пойма заняты в основном аллювиальными почвами, древняя дельта в Калтусном тектоническом прогибе — болотными низинными почвами, плиоцен-плейстоценовые озерно-речные террасы — почвами подтайги. Основная часть дельты покрыта луговой растительностью, представляющей наиболее ценные сельскохозяйственные угодья, используемые под сенокосы и пастбища.

На отложениях суглинистого гранулометрического состава представлены почвы высоких островов лопастной дельты. Почвы этих территорий относятся к типу аллювиальных луговых, они покрыты злаково-разнотравно-осоковым сообществом. Почвенный профиль состоит из горизонтов: AU(0-29)–C(ca)~(30-70+). Почва аллювиальная луговая среднесуглинистая (Mollic Fluvisols по WRB). Содержание органического углерода — 4,3%, слабощелочной реакции среды pH=7,5.

На процессы гумусообразования и продуктивность фитоценозов положительное влияние оказывает относительная мягкость климата, обусловленная близостью озера Байкал. Основная часть осадков выпадает во второй половине лета, при общей сумме 400 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет –1 °С, средняя температура самого холодного месяца (январь) — –25 °С, самого теплого (июля) — +21 °С. Наибольшая континентальность (85–90) климата характерна для межгорных впадин Забайкалья, а наименьшая (67–73) — для побережья Байкала [Жуков, 1960]. В пределах поймы грунтовые воды залегают близко к поверхности, на глубине 0,5–3 м, в надпойменных террасах глубина залегания составляет 8–15 м.

Эмиссия углекислого газа с поверхности почвы измерялась в течение вегетационных сезонов 2015–2017 гг., с мая по сентябрь включительно (1 раз в 7–10 дней), абсорбционным методом в модификации И. Н. Шаркова (1997). Для этого были использованы сосуды с крышкой из полипропилена, имеющие диаметр 10 см и высоту 15 см. Сосуд-изолятор врезался в грунт на глубину 5 см, надземная часть растений удалялась, внутрь помещалась чашечка диаметром 5 см с раствором щелочи (10 мл 1 н. NaOH). На 24 часа сосуд закрывали крышкой, после чего извлекали чашку и титровали раствор 0.2 н HCl по фенолфталеину. Количество CO₂, которое выделилось с поверхности почвы за экспозицию, рассчитывали исходя из холостого титрования (в период экспозиции щелочь помещали в сосуд без почвы). Определение эмиссии CO₂ совмещали с измерением температуры и влажности верхнего слоя почвы (Decagon 5TM). Статистическая обработка данных была проведена при помощи программы Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение

Особенности почвенно-климатических условий Западного Забайкалья оказывают влияние на сезонную продолжительность, характер тренда и суммарную эмиссию углекислого газа. На протяжении всего вегетационного сезона (май–сентябрь) и по годам наблюдений (2015–2017) поток CO₂ с поверхности аллювиальных луговых почв был неравномерным (рис. 1).

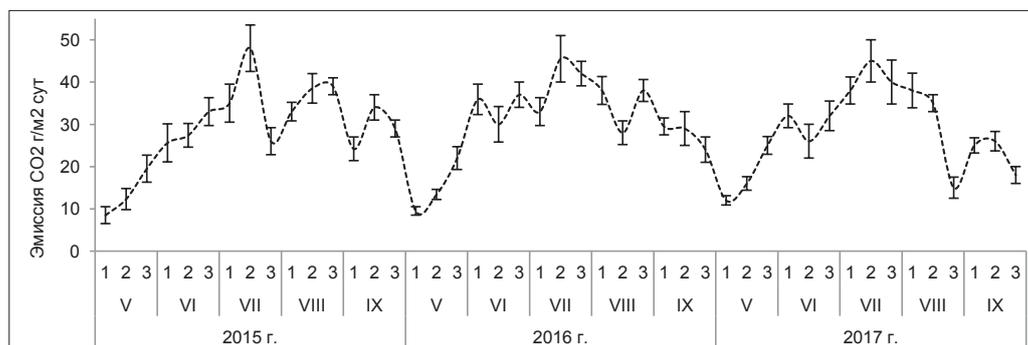


Рис. 1. Сезонная динамика эмиссии CO₂ из аллювиальных луговых почв с мая по сентябрь (2015–2017 гг.)

Низкие показатели почвенного дыхания в начале вегетационного сезона наблюдались во все годы мониторинга эмиссии CO_2 (8,5–12 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$ в сутки). Пониженная температура почв (4–6 °С) в это время обуславливалась глубоким промерзанием и медленным весенним прогреванием почвы, помимо этого в почве был избыток влаги, которая скопилась из-за предшествующего холодного периода года.

Есть предположение, что углекислый газ в данных условиях мог сорбироваться в почве, следовательно, диффузия воздуха из нижних горизонтов вносила некоторый вклад в дыхание исследованных аллювиальных луговых почв. Согласно исследованиям [Федоров-Давыдов, Гиличинский, 1993], оттаивание мерзлотного горизонта может привести к высвобождению углекислоты из кристаллов льда.

Увеличение эмиссионного потока CO_2 проявлялось в связи с подъемом температуры воздуха и прогреванием верхнего слоя почвы (1–2 декада июня) благодаря приросту корневой системы растений и активизации почвенной микрофлоры. Также процесс повышения потока CO_2 был усилен за счет десорбции. Например, в 2016 г. эмиссия диоксида углерода с поверхности исследованных почв составила 36 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$ в сутки. Следствием обильных осадков и быстрого прогревания почвы до 18–20 °С явилось дальнейшее увеличение интенсивности почвенного дыхания.

Динамика эмиссии диоксида углерода в зависимости от года исследований максимальных абсолютных значений наблюдается со 2-й декады июля и до конца августа, достигая в среднем 35 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$ в сутки. После выпадения осадков обычно отмечались самые высокие значения эмиссии CO_2 .

Данное повышение интенсивности выделения CO_2 из почв происходит в связи с ростом и развитием растительной биомассы, накоплением тепла в верхних горизонтах почвы, увеличением корневого и микробного дыхания.

Согласно исследованиям, дыхание корней увеличивается пропорционально росту биомассы и пика достигает в фазе цветения. Эмиссия CO_2 за счет корней растений может составлять до 80% от общего дыхания почв [Благодатский и др., 1993]. В это время были зафиксированы максимальные среднесезонные суммы осадков и температур. Это вызвало всплеск эмиссии CO_2 из почвы, что достигало порой весьма значительных величин — 48 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$ в сутки. Эмиссия CO_2 из исследованных почв в конце августа была неравномерной, с чередованием подъемов и спадов. Эти колебания происходили под влиянием постепенного понижения температуры воздуха или же недостаточного увлажнения. На количество выделения CO_2 из почв большое влияние оказала активность микрофлоры. Усиление или ослабление микробиологической активности, в свою очередь, зависело от температуры и влажности почвы, а также поступления в почву растительного опада.

Высокая вариабельность эмиссии CO_2 обусловлена резкими изменениями температуры и влажности почв, континентального климата Западного Забайкалья. При чередовании увлажнения и высыхания почв поток углекислого газа из них возрастает [Шарков, 1997]. Из состояния латентности гидролитическая микрофлора выходит благодаря обильному увлажнению почв, особенно после засухи, увеличивая мобильность и доступность для микроорганизмов биофильных элементов [Паникова и др., 1991]. Чем дольше происходит процесс иссушения почвы и при более высокой температуре, тем активнее минерализуется почвенное органическое вещество, особенно после увлажнения [Шарков, 1997].

Только в середине вегетационного сезона была установлена прямая положительная связь между влажностью почвы и дыханием. Достоверная зависимость между эмиссией CO₂ и влажностью почвы отсутствовала, коэффициент линейной корреляции составил $r = 0,42$. Ограничение эмиссионного потока CO₂ происходило, вероятно, из-за пониженной температуры почвы в начале и конце вегетационного периода. Из-за сравнительно небольших изменений такого параметра, как влажность почвы, ее влияние на эмиссию CO₂ неоднозначно.

Высокий коэффициент корреляции между активностью дыхания и температурой почвы ($r = 0,75$) вызывает интерес. В начале вегетационного сезона, когда почва в недостаточной степени прогрета, скорость эмиссии CO₂ невелика. За подъем кривой дыхания отвечает повышение температуры воздуха. Проводилась работа по взаимосвязи температуры почвы и эмиссии CO₂ [Курганова, 2010]. Была отмечена положительная связь между эмиссией CO₂ и температурой почвы ($r = 0,54-0,79$). В то же время с влажностью почв эта взаимосвязь не так тесна и может быть положительной или отрицательной.

Заключение

Мониторинговые наблюдения за дыханием почв показали высокую вариабельность эмиссии CO₂ в течение вегетационного периода. В годы исследований эмиссия углекислоты во многом была обусловлена температурой и влажностью почв. Наименьшая интенсивность эмиссии CO₂ отмечалась в начале вегетации из-за влияния низких температур, максимальных значений поток CO₂ достигал после выпадения осадков. Начало роста эмиссии CO₂ было связано с повышением температуры и влажности почвы (2-я декада июля — 2-я декада августа), далее ход кривой выделения CO₂ из почвы повторял ход кривой температуры. Температура являлась основным предиктором, определяющим и контролирующим величину сезонных потоков углекислого газа из почв.

Литература

1. Благодатский С. А., Ларионова А. А., Евдокимов В. В. Вклад дыхания корней в эмиссию CO₂ из почвы // Дыхание почвы. Пущино : Изд-во НЦБИ РАН, 1993. С. 26–32. Текст : непосредственный.
2. Жуков В. М. Климат Бурятской АССР. Улан-Удэ : Бурят. кн. изд-во, 1960. 188 с. Текст : непосредственный.
3. Кудеяров В. Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1049–1060. Текст : непосредственный. DOI: 10.7868/S0032180X15090087
4. Курганова И. Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России : автореферат диссертации на соискание доктора биологических наук. Москва, 2010. 50 с. Текст : непосредственный.
5. Углеродный бюджет степных экосистем России / И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, А. Т. Жиенгалиев, В. Н. Кудеяров // Докл. Академии наук. 2019. № 6. С. 732–735. Текст : непосредственный. DOI: 10.31857/s0869-56524856732-735
6. Кинетические методы определения биомассы и активности различных групп почвенных микроорганизмов / Н. С. Паников, М. В. Палеева, С. Н. Дедыш, А. Г. Дорофеев // Почвоведение. 1991. № 8. С. 109–120. Текст : непосредственный.

7. Федоров-Давыдов Д. Г., Гиличинский Д. А. Особенности динамики выделения CO_2 из мерзлотных почв // Дыхание почвы. Пушино : Изд-во НЦБИ РАН, 1993. С. 76–101. Текст : непосредственный.
8. Шарков И. Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири : автореферат диссертации на соискание доктора биологических наук. Новосибирск : Изд-во СО ВАСХНИЛ, 1997. С. 33–59. Текст : непосредственный.
9. Bond-Lamberty B., Thomson A. A global database of soil respiration data // *Biogeochemistry*. 2010. V. 6. P. 1915–1926. DOI: 10.5194/bg-7-1915-2010.
10. Golubyatnikov L. L., Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O. Estimation of Carbon Balance in Steppe Ecosystems of Russia. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2023; 1: 72–86. DOI: 10.1134/S0001433823010048.
11. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D. et al. Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Two Temperate Forest Ecosystems: The Synthesis of a 24-Year Continuous Observation. *Forests*. 2022. V. 9. P. 1374. DOI: 10.3390/f13091374.
12. Miriam Muñoz-Rojas, Wolfgang Lewandrowski, Todd E. Erickson, Kingsley W. Dixon, David J. Merritt, Soil respiration dynamics in fire affected semi-arid ecosystems: Effects of Vegetation Type and Environmental Factors. *Science of the Total Environment*. 2016; 572: 1385–1394.
13. Mukhortova L., Schepaschenko D., Moltchanova E. et al. Respiration of Russian Soils: Climatic Drivers and Response to Climate Change. *Sci. Total Environ*. 2021; 785: 147314. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147314
14. Tang X., Du J., Shi Y. et al. Global Patterns of Soil Heterotrophic Respiration — A Meta-analysis of Available Dataset. *Catena*. 2020; 191: 104574.

Статья поступила в редакцию 20.10.2023; одобрена после рецензирования 03.12.2023; принята к публикации 08.12.2023.

SEASONAL DYNAMICS OF THE CO_2 EMISSIONS FROM ALLUVIAL MEADOW SOILS IN THE SELENGA RIVER DELTA

Evgeny Yu. Milkheyev

Cand. Sci. (Biol.), Researcher,
Institute for General and Experimental Biology SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
evg-milh@rambler.ru

Abstract. The article demonstrates the results of estimating the respiration from the surface of alluvial meadow soils in the Selenga River Delta. The CO_2 emissions were measured from 2015 to 2017 (May–September) using chamber method. It has been found that the dynamics of the soil CO_2 emissions are influenced by several factors: season, organic matter content, and hydrothermal conditions. Soil hydrothermal conditions primarily determine the intensity and characteristics of the seasonal dynamics of the soil CO_2 fluxes. The temperature of the upper soil layer played a determining role in the changes in the rate of CO_2 release from the soil during the vegetation season. Moisture conditions do not play a significant role in the formation of the carbon dioxide flux.

Keywords: soil respiration, soil temperature, soil moisture, delta, meadow soils, seasonal dynamics.

Acknowledgments

The research was carried out within the state assignment No. 121030100228-4.

For citation

Milkheyev E. Yu. Seasonal Dynamics of the CO₂ Emissions from Alluvial Meadow Soils in the Selenga River Delta. *Nature of Inner Asia*. 2023; 4(26): 41–47 (In Russ.).

The article was submitted 20.10.2023; approved after reviewing 03.12.2023; accepted for publication 08.12.2023.