

УДК 631.433.3:631.445.12(571.54)

ОЦЕНКА ДЫХАНИЯ ЛУГОВО-БОЛОТНЫХ ПОЧВ ДЕЛЬТЫ р. СЕЛЕНГИ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2020 г. Е. Ю. Мильхеев

*Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия*

E-mail: evg-milh@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.03.2019 г.

После доработки 05.06.2019 г.

Принята к публикации 10.10.2019 г.

Представлены результаты многолетних исследований эмиссии CO_2 в течение вегетационных сезонов 2007–2014 гг. (май–сентябрь) с поверхности лугово-болотных почв дельты р. Селенги бассейна оз. Байкал (Западное Забайкалье). В зависимости от сочетания гидротермического режима почвы и погодных условий исследованные почвы эмитировали 315–402 г $\text{C}/\text{м}^2$. Межгодовая вариабельность суммарных сезонных потоков углекислого газа составила 14%. Определяющую роль в изменениях скорости выделения CO_2 из почвы в течение вегетационного сезона играла температура почвы.

Ключевые слова: диоксид углерода, эмиссия, гидротермический режим, лугово-болотные почвы.

DOI: 10.31857/S000218812001007X

ВВЕДЕНИЕ

Эмиссия углекислого газа (CO_2) из почв является одним из главных потоков в глобальном цикле углерода, составляя 58–100 Гт $\text{C}/\text{год}$ [1]. Этот громадный поток CO_2 происходит из почвенного пула углерода, по массе углерода более чем в 2 раза превышающего содержание $\text{C}-\text{CO}_2$ в атмосфере [2]. По количеству углекислоты, выделяемой с поверхности почвы, можно судить об интенсивности процессов разложения органического вещества, характеризовать биологическую активность почв или продуктивность фитоценоза. Кроме того, выделяющийся с поверхности почвы углекислый газ является чувствительным и информативным показателем функционального состояния экосистемы в целом [3]. Однако, несмотря на огромную роль почвенного дыхания в общепланетарном цикле углерода, оценки суммарных потоков CO_2 из почв большинства регионов нашей планеты остаются очень приблизительными. До сих пор слабо изученными в отношении почвенного дыхания остаются районы Дальнего Востока, Восточной Сибири, горные и полупустынные регионы. Отсутствие экспериментальных исследований в этих областях представляет основную трудность и значительно увеличивает неопределенности оценок общего дыхания почв Российской Федерации. В условиях меняющегося климата температура и влажность почвы являются наиболее значимыми экологическими факторами, определяющими

скорость деструкции органического вещества и интенсивность выделения CO_2 из почв. Высокая положительная корреляция между скоростью выделения CO_2 и температурой почвы обнаруживается как в глобальном масштабе [4], так и для почв отдельных экосистем и регионов [5]. В связи с этим изучение влияния гидротермических условий почвы на скорость эмиссии CO_2 приобретает особую актуальность. Исследования по выделению двуокси углерода почвами Забайкалья практически не проводили, или они имеют фрагментарный характер [6, 7].

Цель работы – оценка сезонной эмиссии CO_2 , которая включает суммарную продукцию CO_2 в результате дыхания корней растений, микроорганизмов и животных с поверхности лугово-болотных почв во временном аспекте в зависимости от экологических факторов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальный участок, на котором вели сезонные наблюдения за интенсивностью выделения CO_2 из почвы, располагался в периферической части дельты р. Селенги ($52^\circ 08'$ с.ш., $106^\circ 18'$ в.д.; лугово-болотная почва). Район исследования относится к дельтовому лугово-болотному и лесостепному району. Большая часть этого района представляет собой приречную равнину р. Селенги, изрезанную многочисленными протоками и старицами.

Аллювиальные лугово-болотные почвы, обладающие в периферической части современной дельты, занимают старичные понижения островов или приозерные понижения. Лугово-болотные почвы формируются под злаково-разнотравно-осоковым сообществом и влиянием почвенно-грунтовых вод. Характерной чертой этих почв является тяжелый гранулометрический состав [8]. Лугово-болотные почвы понижений и депрессий с долготренимым режимом затопления имеют оторфованный или перегнойный горизонт с творожистой структурой, с глубиной сменяющийся бесструктурным глеевым горизонтом с сизой окраской. Почва характеризуется (гор. АТd) слабокислой реакцией среды (pH_{H_2O} 6.5), с суммой поглощенных оснований 30.5 мг-экв/100 г почвы и содержанием органического углерода $C_{орг}$ 4.2%.

Экосистемы дельты р. Селенги развиваются в условиях континентального климата Восточной Сибири, климатические показатели которого, главным образом для весенне-летнего периода, несколько преобразованы влиянием оз. Байкал. Например, коэффициент континентальности в межгорных впадинах Забайкалья достигает 85–90, а на побережье Байкала снижается до 67–73 [9]. Климат района исследования характеризуется большими амплитудами температур воздуха в течение суток и года. Средняя годовая температура воздуха равна $-1^{\circ}C$. Грунты промерзают на глубину 1.5–3.5 м. Среднегодовое количество осадков, составляющее 412 мм, распределяется по месяцам в течение года неравномерно.

Измерение эмиссии углекислого газа с поверхности почвы проводили в течение вегетационных сезонов 2007–2014 гг. (с мая по сентябрь включительно, 3 раза в месяц) на постоянных мониторинговых площадках абсорбционным методом в модификации Шаркова [10]: использовали полипропиленовые сосуды ($d = 10$ см, $h = 15$ см) с крышками. Сосуд-изолятор врезали в почву на глубину 5 см. В месте врезания сосуда-изолятора надземную часть растений срезали на уровне почвы. Внутри ставили чашечку ($d = 5$ см) с 10 мл 1 н. NaOH. Сосуд плотно закрывали крышкой на 24 ч, после чего извлекали чашку и на месте титровали раствор 0.2 н. HCl по фенолфталеину. Выделенное почвой за экспозицию количество CO_2 рассчитывали с учетом холостого титрования (щелочь на период экспозиции помещали в сосуд без почвы объемом, равным объему свободного пространства в рабочем сосуде). Суммарные выделения CO_2 за вегетационный сезон рассчитывали путем линейного интерполирования. Измерения скорости выделения CO_2 из почв проводили с интервалом 7–10 сут, в трехкратной повторности. Параллельно с определением эмиссии CO_2 измеряли температуру

и влажность верхнего слоя почвы (0–5 см). Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что эмиссия углекислого газа почвами неодинакова в различные периоды вегетации и в зависимости от сочетания погодных условий, физиологического состояния растений и микробных сообществ имеет ярко выраженную динамику [11].

Своеобразие почвенных и климатических условий Западного Забайкалья влияет на сезонную продолжительность, характер тренда и общую эмиссию CO_2 в исследованных экосистемах. Результаты наших многолетних мониторинговых наблюдений за эмиссией CO_2 из лугово-болотных почв свидетельствовали о том, что величина эмиссии углекислого газа из почвы отличалась неравномерностью как в течение вегетационного сезона, так и по годам наблюдений. Динамику эмиссионных потерь диоксида углерода определяли главным образом особенности температурно-влажностного режима почвы, и она имела, как правило, “пилообразный” вид, с максимальными показателями в летние месяцы или смещенными на начало или конец вегетации растений с минимумом в засушливый период (рис. 1). Несмотря на различия в режимах температуры и увлажнения в отдельные годы, сравнительную высокую влажность наблюдали, как правило, в начале и в конце вегетации (рис. 2).

Мониторинг эмиссии CO_2 свидетельствовал, что во все годы наблюдений начало вегетационного периода характеризовалось низкими показателями дыхания: минимальный поток CO_2 был зафиксирован в 2012 г. и составил 3 г/м²/сут, максимальный – в 2010 г. – 5 г/м²/сут. Этому периоду измерений была свойственна низкая температура почв ($2-4^{\circ}C$), что обусловлено глубоким промерзанием и медленным весенним прогреванием почвы, а также избытком влаги в почве, накопленной в предшествующий холодный период года. В таких условиях углекислый газ также мог сорбироваться в почве [12]. Определенный вклад в эмиссию CO_2 в исследованных почвах вносила, вероятно, его диффузия из нижних слоев почвы. Известно, что оттаивание мерзлотного горизонта может способствовать высвобождению двуоксида углерода, окклюдированного в кристаллах льда [13].

С повышением температуры в течение вегетации и прогреванием верхних слоев почвы (1–2 декада июня) эмиссия CO_2 постепенно повышалась вследствие усиления активности микроорганизмов и растений, а также отчасти за счет десорбции, достигая в отдельные годы 25 г/м²/сут (2008 г.).

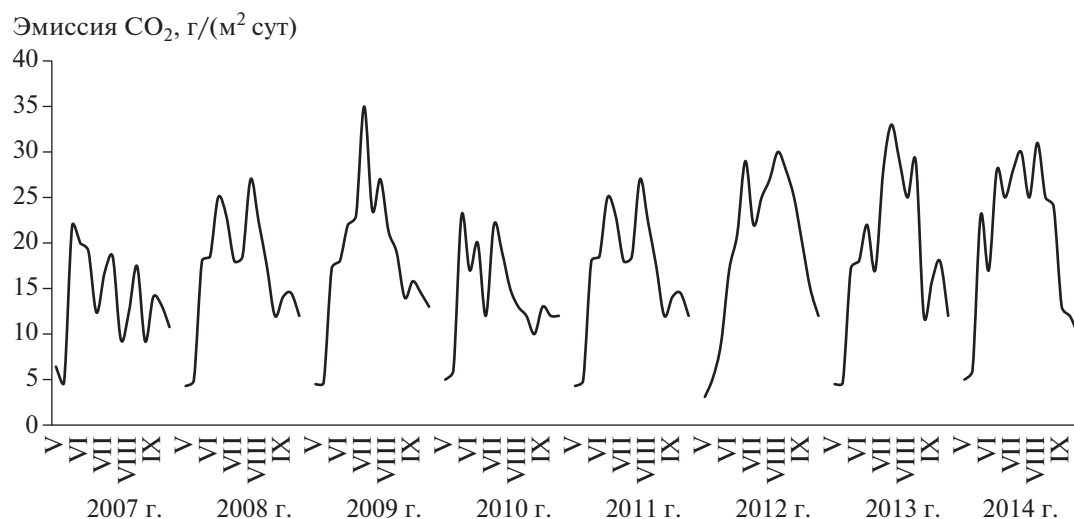


Рис. 1. Сезонная динамика эмиссии CO_2 из лугово-болотных почв (май–сентябрь) (2007–2014 гг.).

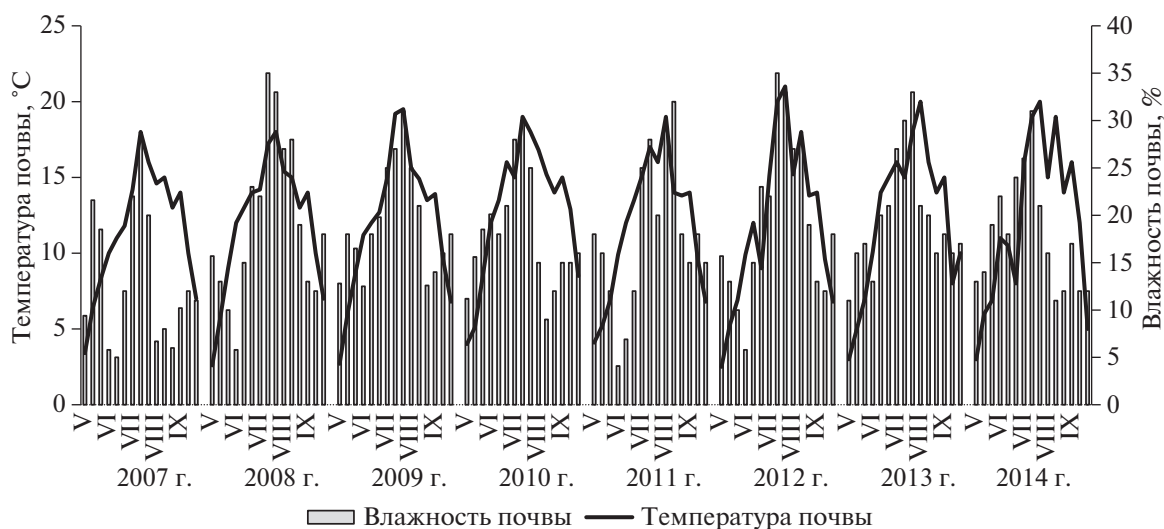


Рис. 2. Влажность и температура лугово-болотных почв (2007–2014 гг.).

Дальнейшее увеличение интенсивности выделения CO_2 из почв совпадало с выпадением осадков и быстрым прогреванием почвы до 18–20°C.

Своих наибольших абсолютных значений эмиссия диоксида углерода в зависимости от года исследований достигает с середины июля до середины августа, достигая в среднем 18–25 г/м²/сут. Максимумы эмиссии CO_2 , как правило, отмечали после выпадения осадков. Повышение ее скорости в этих условиях было связано с активностью процессов минерализации растительных остатков и почвенного органического вещества. В этот период складывались наиболее благоприятные погодные условия для функционирования микробных сообществ и имел место активный дыхательный процесс корневых систем высших расте-

ний. Известно, что дыхание корней возрастает пропорционально нарастанию биомассы и максимума достигает в фазе цветения. В целом вклад дыхания корней может составлять от 6 до 80% от эмиссии CO_2 из почвы [14]. Именно в этом периоде были зарегистрированы самые высокие среднелетние суммы осадков и самая высокая температура воздуха. Вследствие этого наблюдали всплеск эмиссии углекислоты, который достигал иногда весьма значительных величин до 30 г/м²/сут.

Во второй половине августа в условиях неустойчивого увлажнения и постепенного понижения температуры почв выделение CO_2 становилось неравномерным, что проявлялось в “пульсирующем” характере, чередовании его резких

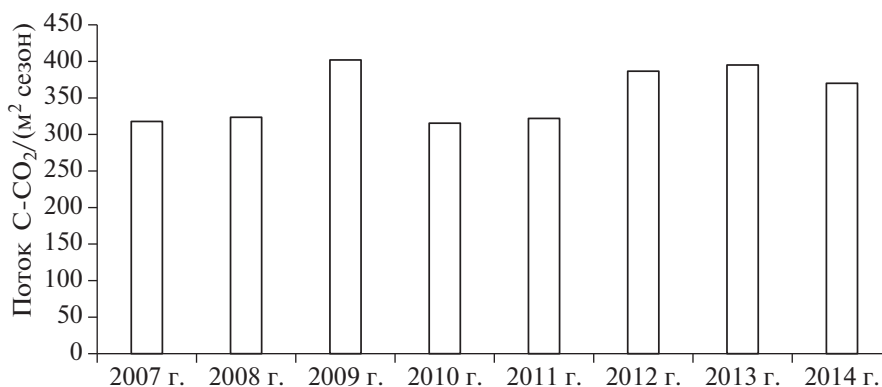


Рис. 3. Суммарные потоки углерода в виде углекислоты с поверхности лугово-болотных почв за вегетационный сезон (2007–2014 гг.).

подъемов и спадов. Подъемы и спады интенсивности дыхания почвы обусловлены усилением или ослаблением микробиологической активности, которая, в свою очередь, зависит от гидротермических условий и поступления в почву растительного опада.

Резкие изменения температуры и влажности почв, свойственные континентальному климату, определяют высокую вариабельность эмиссии углекислоты. Обычно поток CO₂ из почв возрастает при чередовании увлажнения и высушивания [15]. Увлажнение почв после засухи, увеличивая подвижность и доступность для микроорганизмов биофильных элементов, способствует выходу гидролитической микрофлоры из латентного состояния [16]. Чем продолжительнее и при более высокой температуре происходит иссушение почвы, тем интенсивнее минерализуются органические вещества после ее увлажнения [15].

Вместе с тем в исследованных почвах не наблюдали заметного усиления минерализации органического вещества после увлажнения. В наших исследованиях положительную связь между влажностью почв и эмиссией углекислого газа отмечали только в середине вегетации. В целом достоверной зависимости между выделением CO₂ и влажностью почвы не выявлено, коэффициент линейной корреляции составил $r = 0.37$. Вероятно, в начале и в конце вегетационного периода выделение диоксида углерода из почв лимитировалось пониженной температурой почвы. Влияние влажности почвы на эмиссию CO₂ из почвы неоднозначно, и проследить его сложнее из-за сравнительно небольших изменений этого параметра.

Обращает на себя внимание довольно высокий коэффициент корреляции между интенсивностью дыхания и температурой почвы ($r = 0.73$). В начале вегетационного сезона, когда почва еще недостаточно прогрета, скорость эмиссии углекислоты низка, и только после повышения тем-

пературы атмосферного воздуха происходил подъем кривой дыхания.

В работе [11] отмечали, что связь эмиссии CO₂ с температурой почвы почти всегда положительная и наиболее тесная в почвах естественных ценозов северо- и среднетаежных зон ($r = 0.54–0.79$). Эта связь ослабевает в экосистемах южнотаежной зоны, а также в почвах агроценозов и в почвах под вырубками. Тогда как с влажностью почв эта связь менее тесная, и может быть как положительной, так и отрицательной.

Для оценки вклада экосистемы в поступление CO₂ в атмосферу необходима информация о его суммарной эмиссии из почв за сезон. Изменения температур и нестабильный режим атмосферного увлажнения являются, очевидно, основными экологическими факторами, определяющими варьирование эмиссии не только в течение вегетационного сезона, но и в отдельные годы (рис. 3). Общая за вегетацию эмиссия CO₂, в виде углерода (C-CO₂) на лугово-болотной почве в разные годы изменялась от 315 до 402 г C-CO₂/м²/сезон, в среднем за 8 лет составляла 375 г C/м²/сезон. Межгодовая вариабельность суммарных сезонных потоков углекислого газа составила 14%.

Полученные оценки сезонных потоков углекислого газа из почв вполне соответствуют идентичным оценкам, имеющимся в литературе. Согласно [17], средняя удельная скорость продуцирования углекислого газа почвами России в течение вегетационного периода варьирует в пределах 30–610 г C/м²/сезон. Согласно [11], из луговых экосистем бореальных и умеренных зон с углекислым газом в атмосферу выделяется в среднем около 600 г C/м²/год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдения за интенсивностью эмиссии диоксида углерода почвой показали значительную из-

менчивость процесса дыхания почвы на протяжении вегетационного периода. Эмиссия CO_2 в значительной степени зависела от комплекса погодных и гидротермических условий в определенный год исследования. Отмечен ее минимум в начале вегетации, связанный с воздействием пониженных температур, максимум чаще всего приходился на периоды после выпадения осадков. Пики эмиссии углекислоты совпадали с повышением температуры и влажности почвы: с середины июля до середины августа, далее ход кривой выделения CO_2 из почвы повторял ход кривой температуры.

В условиях дефицита тепла и неустойчивого увлажнения для кривой динамики эмиссии CO_2 характерны чередующиеся подъемы и спады. Достоверных корреляционных связей между сезонными потоками CO_2 с поверхности лугово-болотных почв и влажностью почвы для всего 8-летнего ряда наблюдений найдено не было. Основным фактором, определяющим и контролирующим величины сезонных потоков CO_2 из почв, являлась температура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Quérel C. Le.* Global carbon budget // *Earth Syst. Sci. Data.* 2016. № 8. P. 605–649.
2. *Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S.* Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global Biogeochem. Cycles.* 2009. V. 23. gb2023.
3. *Кудеяров В.Н.* Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // *Почвоведение.* 2018. № 6. С. 543–658.
4. *Raich J.W., Potter C.S., Bhagawati D.* Interannual variability in global soil respiration, 1980–1994 // *Global Change Biol.* 2002. V. 8. P. 800–812.
5. *Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н.* Годовые потоки диоксида углерода из некоторых почв южно-таежной зоны России // *Почвоведение.* 2001. № 9. С. 1045–1059.
6. *Лаврентьева И.Н., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л.* Оценка запасов органического углерода и потоков CO_2 в травяных экосистемах Западного Забайкалья // *Почвоведение.* 2017. № 4. С. 411–426.
7. *Чимитдоржиева Г.Д., Егорова Р.А., Мильхеев Е.Ю., Цыбенков Ю.Б.* Потоки углерода в степных экосистемах (на примере Южного Забайкалья) // *Растит. мир Азиат. России.* 2010. № 2. С. 33–39.
8. *Корсунов В.М., Гынинова А.Б., Сымпилова Д.П., Балсанова Л.Д., Корсунов А.В.* Разнообразие почв подтайги Селенгинского среднегорья // *Почвоведение.* 2002. № 5. С. 541–545.
9. *Жуков В.М.* Климат Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1960. 188 с.
10. *Шарков И.Н.* Совершенствование абсорбционного метода определения выделения CO_2 из почвы в полевых условиях // *Почвоведение.* 1987. № 1. С. 127–133.
11. *Курганова И.Н.* Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2010. 50 с.
12. *Абросимова Л.Н.* Гистерезис и температурные зависимости процессов газообмена O_2 и CO_2 в почве // *Почвоведение.* 1979. № 6. С. 86–89.
13. *Федоров-Давыдов Д.Г., Гиличинский Д.А.* Особенности динамики выделения CO_2 из мерзлотных почв // *Дыхание почвы.* Пушино: НЦБИ РАН, 1993. С. 76–101.
14. *Благодатский С.А., Ларионова А.А., Евдокимов В.В.* Вклад дыхания корней в эмиссию CO_2 из почвы // Там же. С. 26–32.
15. *Шарков И.Н.* Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1997. С. 33–59.
16. *Паников Н.С., Палеева М.В., Дедыш С.Н., Дорофеев А.Г.* Кинетические методы определения биомассы и активности различных групп почвенных микроорганизмов // *Почвоведение.* 1991. № 8. С. 109–120.
17. *Кудеяров В.Н., Курганова И.Н.* Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // *Почвоведение.* 2005. № 9. С. 1112–1121.

Evaluation of Meadow-Boggy Soil Respiration of the Delta Selenga River (Western Transbaikalia)

E. Yu. Milheev

*Institute of General and Experimental Biology SB RAS
ul. Sakhyanovoy 6, Ulan-Ude 670047, Russia
E-mail: evg-milh@rambler.ru*

Result of the investigation of the growing season 2007–2014 (may–september) for carbon dioxide emissions from meadow-boggy soils of the delta Selenga river of lake Baikal basin (Western Transbaikalia) was shown. Depending on the combination of hydrothermal regime of soil and weather conditions investigated soils emit 315–402 g C/m^2 . The interannual variability of the total seasonal carbon dioxide fluxes was 14%. A determining role in the changes of the rate of release of CO_2 from the soil during the growing season was the temperature of the soil.

Key words: carbon dioxide, emissions, hydrothermal conditions, meadow-boggy soils.