

# МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ НА ВАЛДАЕ

Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ<sup>1</sup>, Д.В. КАРЕЛИН<sup>1,2</sup>, О.В. ЧЕСТНЫХ<sup>1,3</sup>, А.И. ИВАЩЕНКО<sup>3</sup>,  
В.В. КАГАНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии

<sup>3</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, г. Москва

Температура и гидрологический режим почвы признаны ключевыми абиотическими факторами, контролирующими величину эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы (ЭПП). За последние два десятилетия в почвоведении получила распространение модель T&P модель (Raich and Potter, 1995; Raich et al., 2002), описывающая эмиссии с поверхности почвы как функцию среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы осадков. Температура и осадки в связи с глобальными изменениями климата заметно меняют свои значения. Глобальный тренд увеличения ЭПП для 1989-2008 гг., найденный при обобщении опубликованных экспериментально-полевых результатов, составил  $0.1 \text{ Гт С год}^{-1}$  (Bond-Lamberty, Tompson, 2010). На территории Российской Федерации лишь небольшое число исследований ЭПП проводится в режиме долгосрочного мониторинга (Курганова и др., 2011, 2016). В 2009 г. на полигоне «Таежный лог» (Валдайский р-н, Новгородская обл.) стартовали работы по комплексному мониторингу потоков парниковых газов, включающие регулярные измерения ЭПП.

Оценку ЭПП осуществляли закрытым камерным методом по изменению концентрации в непрозрачных цилиндрических ПВХ-камерах объемом от 1.2 до 1.5 л и площадью  $90 \text{ см}^2$ , вкопанных в почву на глубину 3-4 см в постоянных точках. Наземную растительность в камерах удаляли. Измерения концентрации  $\text{CO}_2$  при закрытии камеры проводили с использованием газоанализатора LiCor-6200 (LiCor Inc., Небраска, США), а также приборами, собранными на основе сенсора AZ 7752 (AZ Instrument Corp., Тайвань). Камеры были установлены на постоянных трансектах: «короткой» (10 точек; 2009-2018 гг.) и «длинной» (50 точек; 2013-2018 гг.). Короткая трансекта расположена в 110-летнем ельнике мелкотравно-зеленомошным на дерново-подзолистой контактно-освещенной почве. Длинная трансекта охватывает еловые насаждения, участки распада и усыхания ельников, увлажненные низины. Измерения проводили в течение светлого времени суток раз в месяц теплого периода (май-

сентябрь). Наиболее полно объекты исследования и методики полевых работ представлены в источнике (Мониторинг потоков..., 2017). Среднегодовые температуры в районе исследований в 2009-2018 гг. варьировали от 4.2 до 6.2°C при среднем значении 5.2°C, что на 3.0 °C выше климатической нормы 1931-1960 гг. За 10 лет отмечается тренд к увеличению температуры, составляющий 0.04°C за 1 год.

Суточные величины ЭПП за май-сентябрь 2009-2018 гг. в мелкотравчасто-зеленомошном ельнике (короткая трансекта) варьировали от 1.89 (12.05.2011) до 6.78 (24.07.2018) г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>. В среднем за 10 лет, наиболее высокие значения ЭПП наблюдались в июле (4.28 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>), наименее – в мае (2.95 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>). Однако в некоторые годы максимальные значения могли наблюдаться в июне (2012) или в августе (2012, 2014, 2016, 2017). Коэффициенты корреляции суточных значений ЭЭП составляют с температурой воздуха 0.32 ( $P<0.03$ ), с температурой почвы на глубине 10 см 0.70 ( $P<0.01$ ), с влажностью почвы в слое 0-7 см -0.08 ( $P=0.59$ ). ЭЭП в исследуемой экосистеме можно охарактеризовать как температурно-зависимую, однако в экстремальные погодные периоды (например, в августе 2010 г.) значения эмиссии контролировались низкой влажностью, и потому августовская ЭЭП в 2010 г (1.95 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>) оказалась наименьшей из всех значений, измеренных в летние месяцы 2009-2018 гг.

В том же ельнике в 1978 г. были проведены измерения ЭПП абсорбционным методом (Гришина др., 1979), что создало редкую возможность выявления долгосрочных изменений. Среднее значение ЭПП в 80-летнем ельнике за август-сентябрь 1978 г. составило 1.4 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup> при вариации от 1.2 (август) до 1.5 (сентябрь) г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>. В 2009-2018 гг. средне значение за август-сентябрь равнялось 3.65 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>. Отнеся наше значение к 2014 г., получим, что за 36 лет ЭПП с поверхности почвы увеличилась на 2.25 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>, что соответствует 0.06 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup> за 1 год. Для 2009-2018 г. также наблюдается тенденция к увеличению ЭЭП, характеризующаяся величиной 0.08 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup> за 1 год. Таким образом, полученные сведения подтверждают наличие локального тренда на увеличение почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>, причем тренд 0.06-0.08 г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup> за 1 год выявляется как при сравнении с историческими данными, так и в современном мониторинге.

На основе совместного анализа данных, полученных на обеих трансектах, были выявлены 2 формы малоизвестных составляющих ЭПП (Карелин, 2014, 2017).

I. Дополнительное выделение CO<sub>2</sub> из почвы в результате патогенного усыхания древостоя (малый по площади, но мощный многолетний источник CO<sub>2</sub>). В ходе наблюдений за почвенной эмиссией CO<sub>2</sub> авторами был впервые обнаружен эффект локального (в пределах 1–2 м<sup>2</sup> вокруг стволов), но значительного (в 3 раза выше фонового) и длительного

(круглогодично, на протяжении не менее 5 лет) усиления эмиссии в прикорневой зоне сухостойных стволов елей, погибших в результате засух и последующих эпидемий корневой губки и жуков-ксилофагов. В качестве наиболее вероятной причины эффекта выступает активизация дыхания патогенной грибной флоры в ризосфере погибших корней. Найденный эффект имеет значение в качестве дополнительного существенного увеличения источника CO<sub>2</sub> из почвы на 20–25% для площадей еловых лесов с распадом древостоя, при характерной для зрелой южной тайги плотности стволов.

II. Увеличение ЭПП в ответ на падение крупных стволов во время ветровалов. В сезоне 2012 г. был впервые инструментально зафиксирован выброс CO<sub>2</sub> из почвы в ответ на падение крупной ели в период ветровала 13–14 августа. Этот выброс, достигающий 4-кратного превышения среднемноголетнего уровня почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в ходе вегетационного сезона, продолжался не менее 5 сут. Площадь выброса близко соответствует площади покрытия упавшим стволом (10–30 м<sup>2</sup>). Вероятнее всего, это связано с физическим высвобождением CO<sub>2</sub> из почвы в результате десорбции и (или) со стимуляцией микроорганизмов через усиление аэрации почвенных пор.

Наличие многолетних трендов эмиссии CO<sub>2</sub> с поверхности почвы, а также открытие новых механизмов активизации этой эмиссии показывает, что изучение ЭПП в форме многолетнего мониторинга является актуальной формой получения научной информации.

\*Исследование поддержано РНФ № 19-77-30015 (анализ данных), а также темами госзадания № AAAA-A18-118052400130-7 Центра по проблемам экологии продуктивности лесов РАН № 0148-2019-0006 и Института географии РАН (полевые работы).

#### ЛИТЕРАТУРА:

- Гришина Л.А., Окунева Р.М., Владыченский А.С. Микроклимат и дыхание дерново-скрытоподзолистых почв ельников-кисличиковых // Организация экосистем ельников южной тайги. М.: Ин-т географии АН СССР. 1979. С. 70-85.
- Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г., Исаев А.С. Малоизвестные импульсные составляющие почвенной эмиссии диоксида углерода в таежных лесах // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475. № 4. С. 473-476.
- Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л. Факторы пространственно-временной изменчивости потоков CO<sub>2</sub> из почв южно-таежного ельника на Валдае // Лесоведение. 2014. № 4. С. 56-66.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Кудеяров В.Н. Эмиссия CO<sub>2</sub> из почв различных экосистем южно-таежной зоны: анализ данных непрерывных 12-летних круглогодичных наблюдений // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 6. С. 843-846.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Савин И.Ю., Шорохова Е.В. Баланс углерода в лесных экосистемах южного Подмосковья в условиях усиления засушливости климата // Лесоведение. 2016. № 5. С. 332-345.
- Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / Ред. Д.Г. Замолодчиков, Д.В. Карелин, М.Л. Гитарский, В.Г. Блинов. Саратов: Амирит. 2017. 279 с.
- Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. V. 464. P. 579-582.
- Raich J.W., Potter C.S. Global patterns of carbon dioxide emission from soils // Global Biogeochem. Cycles. 1995. Vol.9. P. 23-36.
- Raich J.W., Potter C.S., Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94 // Global Change Biol. 2002. V. 8. P. 800-812.