

Б.Г. Агеев, Т.В. Дементьева, Л.И. Инишева, Ю.Н. Пономарев, В.А. Сапожникова

## ЭМИССИЯ CO<sub>2</sub> ПРИ ТРАНСФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ В ТОРФЕ

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск  
Сибирский НИИ торфа СО РАСХН, г. Томск*

Поступила в редакцию 29.06.99 г.

Приводятся результаты измерения эмиссии CO<sub>2</sub> при минерализации торфов различного ботанического состава. Концентрация CO<sub>2</sub> находилась хемосорбционным методом и методом лазерного оптико-акустического газоанализа. Определены закономерности процесса минерализации отдельных видов торфов.

### Введение

Проблема круговорота углерода является стержневой в учении о биосфере и прогнозировании последствий глобального антропогенного изменения климата. Увеличение содержания в атмосфере CO<sub>2</sub> – уже доказанный факт. В начале семидесятых годов при исследовании причин увеличения концентрации CO<sub>2</sub> было высказано предположение, что этот рост связан не столько с развитием промышленности мира, сколько является результатом антропогенных воздействий на континентальную биоту [1].

Круговорот углерода связан прежде всего с фотоавтоτροφным поглощением CO<sub>2</sub> растениями и микроорганизмами. При этом из атмосферы извлекается ежегодно около 8% содержащегося в ней углерода (примерно  $6 \times 10^3$  кг/год [2]). Примерно такое же количество углерода возвращается обратно в процессе деструкции органического вещества.

В условиях увеличения содержания углерода в атмосфере наиболее ценными являются биогеоценозы, которые способны поглотить как можно больше CO<sub>2</sub> и как можно меньше вернуть обратно. По накоплению органического углерода на единицу площади экосистемы России располагаются в следующий ряд: болота, степи, леса [1]. Поэтому растущие болота являются уникальными в наземной биоте экологическими системами, связывающими на длительный период атмосферный CO<sub>2</sub>.

Согласно данным многих авторов (например, [3]) процесс болотообразования в Западно-Сибирском регионе прогрессирует. Так, по данным [4], скорость приращения углерода в торфах Западной Сибири варьирует от 15 до 65 г/м<sup>2</sup> в год, что приводит к ежегодной аккумуляции 5–20 млн. т углерода в торфяных болотах. Вместе с тем известно, что на Европейской территории России осушение торфяных болот приводит к ежегодной потере 34 млн. т углерода в год [5]. Поэтому от освоения торфоболотных экосистем Сибири, владеющей 39% мировых запасов торфа, зависит современная экологическая обстановка не только Западной Сибири, но и всей биосферы в целом.

Эмиссия CO<sub>2</sub> в атмосферу из торфоболотных экосистем определяется интенсификацией процессов минерализации органического вещества торфяных залежей после осушения. В настоящее время на территории Западной Си-

бири почти не проводятся исследования по прогнозу трансформации торфов в природных условиях в зависимости от свойств болот, их генезиса, режима эксплуатации. Это не дает возможности оценить степень вклада болот Западной Сибири в процесс увеличения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Необходимость и важность таких оценок подчеркнуты в материалах [6].

Процесс трансформации органического вещества очень сложен, причем каждый слой торфяной залежи характеризуется своей кинетикой минерализации органического вещества вследствие их разного химического состава. Интегральным показателем интенсивности трансформационных процессов в торфе служит выделение углекислого газа с поверхности торфяной залежи или из торфов, слагающих торфяную залежь.

Целью данной работы являются отработка методики определения кинетики процессов минерализации в торфах разного ботанического состава по эмиссии из них углекислого газа и интеркалибровка двух методов измерения концентрации CO<sub>2</sub>.

### Объекты и методы исследования

Для эксперимента были отобраны 24 образца торфа из репрезентативных торфяных залежей в естественном состоянии в пределах наиболее заторфованных болотных областей Западной Сибири. Исследования проводились в лабораторных опытах при температуре 20 °С и естественной влажности, при трехкратной повторности. Длительность опыта (16 сут) была принята исходя из следующих соображений. В торфяной залежи *in situ* под действием микрофлоры (бактерии, актиномицеты, грибы) скорость минерализации органического вещества торфов до CO<sub>2</sub> невелика. Поэтому нами было принято, что при оптимальных внешних условиях (влажность, температура, свет), реализуемых в опытах, скорость процесса минерализации будет значительно увеличена, что позволяет провести модельный эксперимент за небольшой промежуток времени.

Определение потоков углекислого газа из образцов торфа производилось двумя методами: методом хемосорбции, первоначально разработанным для определения кинетики минерализации органического вещества минеральной

почвы [7], и методом лазерного оптико-акустического газоанализа [8].

При использовании первого метода навески влажного торфа помещали в предварительно откалиброванную открытую газовую измерительную систему с поглотителем 0,2 н КОН и через определенное время экспозиции титрованием определяли количество углекислоты, диффундирующей к поверхности поглотителя. Расчет количества образующегося  $\text{CO}_2$  проводился по формуле

$$Q_n = Q_{\text{оп}} + (Q_{\text{оп}} - Q_k \times K \times K_2)K_2/K \times K_2 - K_1,$$

где  $Q_n$  – количество продуцируемого  $\text{CO}_2$  за время экспозиции, мг;  $Q_{\text{оп}}$  – количество  $\text{CO}_2$ , диффундирующего к поверхности поглотителя в опытном измерении, мг;  $Q_k$  – количество  $\text{CO}_2$ , диффундирующего к поверхности поглотителя в контрольном измерении, мг;  $K$  – коэффициент, показывающий отношение диффузного потока  $\text{CO}_2$  через патрубок поглотительного сосуда к общему диффузионному потоку  $\text{CO}_2$  в контрольной измерительной системе;  $K_1$  – коэффициент, показывающий отношение диффузионного потока  $\text{CO}_2$  в опытной измерительной системе к потоку  $\text{CO}_2$  в контрольной измерительной системе;  $K_2$  – отношение диффузионных потоков  $\text{CO}_2$  через патрубок поглотительного сосуда соответственно в опытной и контрольной измерительных системах.

При использовании лазерного оптико-акустического газоанализа навески сырого торфа помещали в герметично закрытые камеры и по истечении времени экспозиции пробы воздуха из них последовательно запускались в предварительно вакуумизированную измерительную ячейку оптико-акустического детектора. Анализ проб проводился на длине волны генерации  $\text{CO}_2$ -лазера 10,591 мкм. Концентрация  $C$  углекислого газа в пробах воздуха определялась из измеренных в эксперименте амплитуды  $U$  электрического сигнала оптико-акустического детектора и мощности  $W$  лазерного источника:

$$C = K(U/W),$$

где  $K$  – калибровочный коэффициент детектора, (ppm·Вт)/В или (мг·Вт)/(м<sup>3</sup>·В).

Для стандартизации полученных результатов и возможности их сравнения для всех видов торфов концентрация выделенного  $\text{CO}_2$ , определенная каждым методом, нормировалась на единицу массы сухого торфа и единицу времени.

Для сравнения используемых методов в таблице приведены их некоторые характеристики.

Показатели	Хемосорбционный метод	Оптико-акустический метод
Минимальная концентрационная чувствительность, ppm	277	7,4
Быстродействие	Измерения проводятся при 10-40% насыщении поглотителя (0,5-24 ч)	Результаты даются в реальном масштабе времени
Погрешность, %	30	10

### Результаты и обсуждение

С целью выяснения общих закономерностей минерализации органического вещества торфов исследования по всем видам были проведены в открытых газометрических системах согласно хемосорбционной методике. Ранее нами

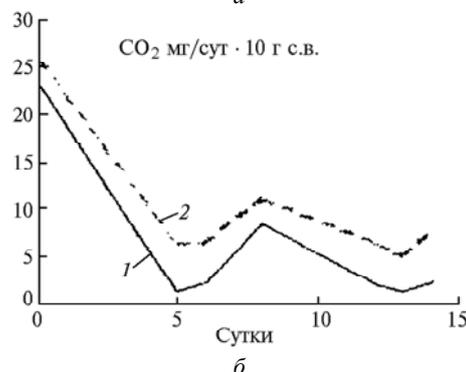
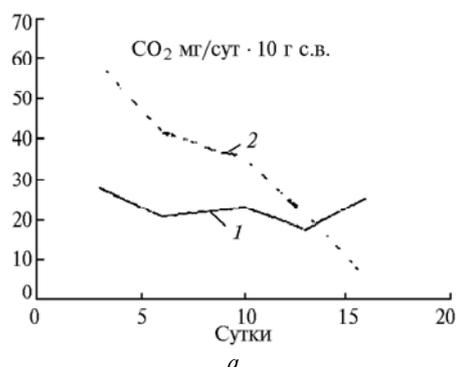
было установлено [9], что по величине накопления  $\text{CO}_2$  западносибирские торфы располагаются в следующем порядке: верховые – сфагново-мочажинный > комплексный > фускум > шейхцериево-сфагновый > пушицево-сфагновый > шейхцериевый > пушицевый (соответственно кумулятивное выделение  $\text{CO}_2$  в процессе минерализации за 16 сут эксперимента составило 133–106–101–74–73–63–46 мг/100 г сухого торфа); низинные – гипновый > осоковый > осоково-гипновый > вахтовый > древесный > древесно-осоковый (кумулятивное выделение соответственно составило 198–144–125–107–76–63 мг/100 г сухого торфа).

Процесс минерализации отдельных видов низинных торфов описывается простой экспоненциальной функцией

$$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{CO}_2}^0 \exp(-kt),$$

где  $I_{\text{CO}_2}^0$  – интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  в начале эксперимента;  $k$  – постоянная минерализации;  $t$  – время эксперимента. Ранее такая зависимость была показана при описании разложения органического вещества в почвах [10]. Вместе с тем в верховых торфах и в некоторых видах низинных торфов кинетика носит синусоидальный характер и ее описание требует дальнейших исследований.

Для проверки обнаруженных закономерностей были проведены оптико-акустические измерения эмиссии  $\text{CO}_2$ . В серии измерений из первоначальных 24 образцов использовались 2 вида торфа: верховой фускум-торф и низинный осоковый торф. Интенсивность минерализации органического вещества этих образцов, измеренная двумя методами, приведена по средним значениям на рисунке.



Результаты измерений кинетики эмиссии  $\text{CO}_2$  торфами хемосорбционным (а) и оптико-акустическим (б) методами: 1 – верховой, 2 – низинный торф

В кинетике выделения  $\text{CO}_2$ , полученной двумя методами, прослеживается общая закономерность. Так, отмеча-

ется увеличение интенсивности минерализации в начале и постепенное снижение к концу эксперимента. Также наблюдается синусоидальная зависимость в верховом торфе при измерении обоими методами; в низинном торфе такая закономерность обнаружена только при измерениях методом оптико-акустического газоанализа. Следует отметить также, что интенсивность продуцирования  $\text{CO}_2$ , измеренная хемосорбционным методом, значительно выше и превышает значения, полученные при оптическом газоанализе, в 5–8 раз. Это расхождение может быть вызвано тем, что условия измерения кинетики эмиссии  $\text{CO}_2$  торфами при проведении экспериментов двумя методами были неодинаковы.

Образцы торфов были отобраны в полевых экспедициях 1992–1993 гг. и до начала исследований находились в торфохранилище при условиях, максимально приближенных к естественным. При этом, надо полагать, строгие анаэробные условия в полной мере не были соблюдены. Опыты с калиброванными объемами были выполнены хронологически раньше, следовательно, в них использовались менее трансформированные образцы, что, по-видимому, и отразило разницу в результатах измерений эмиссии  $\text{CO}_2$ . Однако всплеск микробиологической деятельности, что проявлялось в увеличении в начале цикла измерений выделения  $\text{CO}_2$ , был зарегистрирован и тем и другим методом. Для окончательного заключения о причинах расхождения в абсолютных значениях эмиссии  $\text{CO}_2$  необходимы дополнительные эксперименты.

Таким образом, проведенные эксперименты по изменению кинетики выделения  $\text{CO}_2$  двумя независимыми методами позволили изучить эмиссию  $\text{CO}_2$  из торфов разного ботанического состава, подтвердили закономерности трансформации органического вещества торфа и показали применимость любого из этих методов. Целью наших дальнейших исследований является разработка модели

трансформации органического вещества торфа для прогноза деструкции торфов, слагающих торфяную залежь. Для этого необходимо на основе лабораторных модельных экспериментов продолжить детальное изучение динамики трансформации органического вещества западносибирских торфов, что даст возможность по скорости минерализации торфов разного химического состава в анаэробных и аэробных условиях составить прогноз потока  $\text{CO}_2$  в атмосферу из торфяных болот Западно-Сибирского региона при их освоении.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 99-05-64233, 98-05-64068).

1. Заварзин Г.А. // Природа. 1994. № 7. С. 15–18.
2. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 248 с.
3. Нейштадт М.И. // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 48–66.
4. Титлянова А.А., Наумов А.В., Кудряшова С.Я., Булавко Г.И. // II съезд общества почвоведов: Тезисы докл. СПб. Кн. 1. 1996. С. 221–222.
5. Вомперский С.Э. // Природа. 1994. № 7. С. 44–50.
6. Freibauer A., Damgen U., Kaltschmitt M. et al. // Workshop «Biogenic emission of greenhouse gases caused by arable and animal agriculture – measurement technologies and emission factors». (Proceedings). Stuttgart, 1998. P. 166–174.
7. Иванникова Л.А. Пат. 1806375 СССР от 18.04.1991.
8. Агеев Б.Г., Астафурова Т.П., Пономарев Ю.Н., Сапожникова В.А. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 4–5. С. 437–448.
9. Инисева Л.И., Дементьева Т.В., Белова Е.В. // Чтения памяти Ю.А. Львова. II межрегиональная экологическая конференция: Тезисы докл. Томск, 1998. С. 84–85.
10. Гришина Л.А., Коцник Г.Н., Макаров М.И. Трансформация органического вещества почв. М.: Изд-во МГУ, 1990. 88 с.

*B.G. Ageev, T.V. Dement'eva, L.I. Inisheva, Yu.N. Ponomarev, V.A. Sapozhnikova. CO<sub>2</sub> Emission at Transformation Processes in Peat.*

Results of measurements of  $\text{CO}_2$  emission at mineralization of the peats of different botanical composition are presented. The  $\text{CO}_2$  concentration is determined using two methods: chemisorption and laser optoacoustic gas analysis. Regularities of the mineralization process of some species of the peats are determined.