

УДК 574.4(470.1)

ЭМИССИЯ УГЛЕРОДА ЮЖНЫМИ ТУНДРАМИ
В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА© 2000 г. Д. Г. Замолодчиков, В. О. Лопес де Гереню, Д. В. Карелин,
А. И. Иващенко, О. В. Честных

Представлено академиком Г.А. Заварзиным 29.06.99 г.

Поступило 09.07.99 г.

Комплекс проблем, связанных с глобальными изменениями климата, приводит к необходимости детальных исследований процессов углеродного обмена в биосфере. Актуальным направлением таких исследований является оценка годового бюджета углерода типовых экосистем различных природных зон. По отношению к экосистемам арктического пояса баланс углерода, как правило, оценивали лишь для теплого времени года, при этом интенсивность углеродного обмена в холодный период считали пренебрежимо малой. Работы последнего десятилетия [2, 7, 9, 11, 14] показали, что эмиссия углерода за холодный период может составлять существенную часть годичного бюджета углерода в арктических экосистемах. Однако суммарные оценки эмиссии холодного сезона в цитированных работах сильно различаются: от 1.3–10.9 [9] до 131 С г · м⁻² · сезон⁻¹ [14]. Невысока степень изученности сезонной динамики эмиссии и ее географической изменчивости (все выполненные работы относятся к тундрам либо низовьев Колымы, либо Аляски). Цель настоящей работы состояла в оценке сезонной динамики и суммарных сезонных величин эмиссии углерода южными тундрами Северо-Востока Европейской части России за холодный период года.

Исследования выполнялись с октября 1998 г. по май 1999 г. в географической подзоне южных тундр [1, 6]. Точка полевых работ располагалась вблизи станции Тальник (67°20'N, 63°44'E) в 20 км к югу от г. Воркуты. Объектами исследования были выбраны кустарничково-кустарниковая мохово-лишайниковая тундра на плоской вершине не-

большого увала и осоковое болото в межувальном понижении. В каждой экосистеме выбрали по 5 постоянных пробных площадок и отметили вешками их расположение. Измерения потока СО₂ проводили в цилиндрической камере из оргстекла диаметром 42 см и высотой 30 см, снабженной стальным основанием высотой 20 см. При установке камеры на пробную площадку основание погружали в снег. Регистрацию изменений концентрации СО₂ в камере осуществляли при помощи портативного инфракрасного газоанализатора "Li Cor-6200", время экспозиции составляло 2–3 мин. За день полевых работ проводили 4 (октябрь) либо 2 (остальные месяцы) измерения каждой пробной площадки. В качестве дополнительных параметров регистрировали температуры воздуха, поверхностей снега и почвы, высоту снежного покрова. Интервал между днями измерений составлял 21–64 дня.

В течение всего периода исследований были зарегистрированы отличные от нуля значения эмиссии углерода из экосистем в атмосферу. Найденные значения характеризовались выраженной сезонной динамикой (рис. 1). В кустарничково-кустарниковой тундре поток углерода был максимален в октябре, составляя 0.62 ± 0.06 С г · м⁻² · сут⁻¹. К началу декабря уровень эмиссии резко уменьшился до 0.030 ± 0.002 С г · м⁻² · сут⁻¹ и достиг минимума (0.014 ± 0.002) в январе. Мартовское и апрельское значения не отличались значимо от декабрьского ($P = 0.11–0.49$). В мае в кустарничково-кустарниковой тундре отмечено увеличение эмиссии до 0.10 ± 0.04 С г · м⁻² · сут⁻¹.

Сезонная динамика эмиссии углерода в осоковом болоте (рис. 1) несколько отличалась от рассмотренной выше. Декабрьский и январский потоки значимо не различались ($P = 0.38$), а значимое ($P = 0.02$) по сравнению с зимними месяцами увеличение уровня эмиссии имело место уже в марте. К апрелю величина потока в осоковом болоте достигла 0.11 ± 0.06 , а к маю 0.29 ± 0.11 С г · м⁻² · сут⁻¹.

Величина эмиссии углерода оказалась тесно связанной с температурой поверхности почвы, причем форма зависимости близка к экспоненци-

Центр по проблемам экологии
и продуктивности лесов

Российской Академии наук, Москва

Институт фундаментальных проблем биологии

Российской Академии наук,

Пушино Московской обл.

Московский государственный университет

им. М.В. Ломоносова

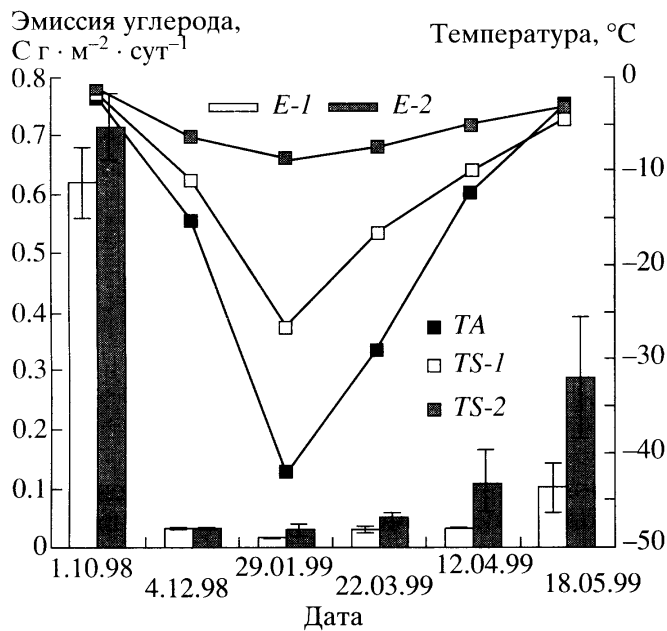


Рис. 1. Сезонная динамика суточных величин эмиссии углерода (E), температуры воздуха (TA) и температуры поверхности почвы (TS) в кустарничково-кустарниковой тундре (1) и осоковом болоте (2) за холодный сезон 1998–1999 гг. Для эмиссии приведены средние \pm стандартные ошибки ($n = 5$).



Рис. 2. Связь суточных величин эмиссии углерода и температуры поверхности почвы в исследованных экосистемах. 1 – результаты измерений (среднее \pm стандартная ошибка, $n = 5$), 2 – линия регрессионного уравнения $y = 0.018 + 1.52 \exp(0.573x)$.

альной (рис. 2) и хорошо аппроксимируется регрессионным уравнением

$$E = 0.018 + 1.52 \exp(0.573TS),$$

$$n = 12, \quad R^2 = 0.986, \quad S.E. = 0.028,$$

где E – величина потока углерода ($C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$), TS – температура поверхности почвы ($^{\circ}\text{C}$), n – число измерений, R^2 – коэффициент детерминации,

$S.E.$ – стандартная ошибка. Подобные уравнения часто используются для описания температурных зависимостей дыхания почвы [10]. Строгая зависимость величин эмиссии холодного периода от температуры поверхностных слоев почвы была выявлена и для эмиссии холодного периода в бореальных лесах Северной Америки [13].

В рамках найденной закономерности становятся понятными различия в величинах потоков углерода между исследованными экосистемами. В январе–мае средняя высота снежного покрова в кустарничково-кустарниковой тундре составляла 22–40 см, в то время как на находящемся в локальном понижении осоковом болоте 112–130 см. Эти различия привели к существенной разнице в сезонном ходе температур поверхности почвы (рис. 1) и, соответственно, в величинах эмиссии углерода.

В холодный период года для исследуемого региона мы включаем месяцы со средней температурой воздуха менее 1°C , т.е. с октября по май [5]. Оценки суммарных величин эмиссии углерода в этот период получены при помощи линейной интерполяции данных, значения для конца мая аппроксимированы по данным для 18 мая. За 243 дня холодного периода (1 октября–31 мая) эмиссия углерода составила $27.5 \pm 3.7 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сезон}^{-1}$ в кустарничково-кустарниковой тундре и $40.1 \pm 7.5 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сезон}^{-1}$ в осоковом болоте. На четыре наиболее холодных месяца (декабрь–март) в обеих экосистемах приходится лишь около 10% от суммарной эмиссии. Наибольший вклад в суммарную величину эмиссии вносит период октябрь–ноябрь (51% в кустарничково-кустарниковой тундре и 59% в осоковом болоте).

Добавив к полученным данным результаты измерений углеродных потоков в вегетационный период 1996 г. [3], можно оценить годовой бюджет углерода исследованных экосистем. Валовая первичная продукция кустарничково-кустарниковой тундры составляет $189 \pm 31 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, валовое дыхание $237 \pm 32 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, таким образом, за год с квадратного метра тундра теряет $48 \pm 21 C \text{ г}$. 57% годовых потерь углерода приходится на холодный период и лишь 43% на теплый. Валовая первичная продукция осокового болота равна $254 \pm 31 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, а валовое дыхание $241 \pm 31 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. За теплый период (июнь–сентябрь) болото депонирует $54 \pm 22 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, однако $40 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ выделяется в атмосферу в холодный период, в результате годовой сток углерода равен всего $14 C \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Эмиссия холодного периода является заметной частью годового валового дыхания (12% в кустарничково-кустарниковой тундре и 17% в осоковом болоте). Отметим, что приведенные оценки справедливы для погодных условий лета 1996 г. и холодного сезона 1998–1999 гг. По-

годные вариации могут существенно изменять параметры углеродного баланса экосистем южных тундр [4].

Полученные в настоящей работе сезонные оценки эмиссии холодного периода ($28-40 \text{ С г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сезон}^{-1}$) согласуются с величинами 19–69 для тундр Аляски [11], 41–48 [12] и 12–26 [8] $\text{С г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сезон}^{-1}$ для альпийских экосистем Северной Америки. Рассчитанные лишь на основе данных весенних измерений в тундрах Аляски величины 1.3–10.9 $\text{С г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сезон}^{-1}$ [9] представляются заниженными. Оценка эмиссии холодного периода 131 $\text{С г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сезон}^{-1}$ листовыми лесотундрами Колымской низменности [2] отражает ситуацию для пояса лесотундр и северных редколесий.

Работа осуществлена при поддержке гранта “Annual carbon budget of East European south tundra ecosystems” Национального географического общества США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арчегова И.Б., Котелина Н.С., Грунина Л.К. и др. Экологические основы управления продуктивностью агрофитоценозов в восточноевропейской тундре. Л.: Наука, 1991. 152 с.
2. Зимов С.А., Давыдов С.П., Просяников С.Ф. и др. // Вестн. АН СССР. 1991. № 8. С. 71–83.
3. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Углерод в биогеоценозах. XV Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М.: Наука, 1997. С. 99–121.
4. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. // ДАН. 1998. Т. 358. № 5. С. 708–709.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. В. 1. Кн. 1. 483 с.
6. Ребристая О.В. Растительность востока Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1977. 334 с.
7. Федоров-Давыдов Д.Г., Гуличинский Д.А. Дыхание почвы. Пушино, 1993. С. 76–100.
8. Brooks P.D., Schmidt S.K., Williams M.V. // Oecologia. 1997. V. 110. № 3. P. 403–413.
9. Fahnestock J.T., Jones M.H., Brooks P.D. et al. // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. № D22. P. 29023–29027.
10. Lloyd J., Taylor J.A. // Funct. Ecol. 1994. V. 8. P. 315–323.
11. Oechel W.C., Vourlitis G.L., Hastings S.J. // Global Biogeochem. Cycles. 1997. V. 11. № 2. P. 163–172.
12. Sommerfeld R.A., Mosier A.R., Musselman R.C. // Nature. 1993. V. 361. № 6408. P. 140–142.
13. Winston G.C., Sundquist E.T., Stephens B.B. et al. // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. № D24. P. 28795–28804.
14. Zimov S.A., Zimova G.M., Davidov S.P. et al. // Ibid. 1993. V. 98. P. 5017–5023.