

УДК 574.4(470.1)

ПОРОГОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА
ЮЖНЫХ ТУНДР

© 1998 г. Д. Г. Замолодчиков, Д. В. Карелин, А. И. Иващенко

Представлено академиком А.С. Исаевым 13.10.97 г.

Поступило 14.10.97 г.

Концепция глобального потепления утверждает, что продолжающийся техногенный рост атмосферной концентрации углекислого и других парниковых газов ведет к повышению температуры атмосферы и глобальным изменениям климата. В качестве одного из важных выводов обсуждается гипотеза о положительной обратной связи между потеплением климата и превращением тундр в источник углерода для атмосферы [7]. Учитывая, что запасы углерода в вечно мерзлых грунтах, почве и растительном покрове тундровых экосистем весьма значительны [5, 8, 9, 12], его выделение в атмосферу может существенно усилить парниковый эффект. Существующие свидетельства о возможности реализации этого процесса относятся к тундрам Аляски [11–14] и лесотундре Колымской низменности [4]. В настоящей работе приведены результаты проверки указанной гипотезы для тундр Северо-Востока Европейской части России.

Исследования выполнены в июле–августе 1995 г. и июне–августе 1996 г. в географической подзоне южных тундр [1, 6]. Точки полевых работ располагались вблизи поселка Хальмер-Ю ($67^{\circ}57'N$, $64^{\circ}40'E$) в 70 км к северу от г. Воркуты (1995 г.) и станции Тальник ($67^{\circ}20'N$, $63^{\circ}44'E$) в 20 км к югу от г. Воркуты (1996 г.).

Измерения потоков CO_2 проводили с помощью полевого инфракрасного газоанализатора LiCor-6200. Значения потоков CO_2 служили на свету оценкой чистого потока (NF), в затемненной камере – валового дыхания (GR) или экспорта углерода, а их разность – валовой первичной продукции (GPP) или импорта углерода. Суммарные суточные величины углеродных потоков рассчитывались путем интегрирования кривых суточной динамики для различных экосистем южной тундры.

Летом 1995 г. погодные условия отличались большой изменчивостью, среднесуточная температура воздуха менялась от 5.9 до $20.2^{\circ}C$. Валовое дыхание кустарниковой мелкоерниковой тундры варьировало при этом от 1.9 до $7.3 \text{ гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, валовая первичная продукция от -2.7 до $-5.3 \text{ гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, чистый поток изменялся от

-2.0 до $+2.0 \text{ гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$. При низких температурах тундра функционировала как сток, при наиболее высоких – как источник углерода (рис. 1). Температура, при которой происходила смена знака углеродного баланса, оказалась близкой к $14^{\circ}C$. Связь между величиной чистого потока (NF, $\text{гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) и среднесуточной температурой воздуха (T , $^{\circ}C$) была статистически значима,

$$NF = -3.46 + 0.265 \cdot T,$$

$$N = 8, R^2 = 0.769, P = 0.004.$$

Вариации чистого потока определялись в первую очередь изменениями валового дыхания биогеоценоза (GR, $\text{гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$), в то время как связь валовой первичной продукции (GPP, $\text{гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) с температурой отсутствовала:

$$GR = 0.244 + 0.317 \cdot T,$$

$$N = 8, R^2 = 0.927, P < 0.001;$$

$$GPP = -3.16 - 0.063 \cdot T,$$

$$N = 8, R^2 = 0.104, P = 0.437.$$

Изменение характера углеродного баланса южных тундр под действием повышенных температур было обратимым, т.е. при снижении температуры тундровые экосистемы вновь становились стоком углерода (рис. 1).

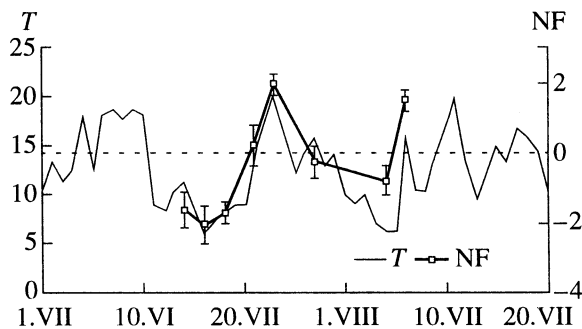


Рис. 1. Чистый суточный поток углерода (NF, $\text{гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) и среднесуточная температура воздуха (T , $^{\circ}C$) в южной кустарниковой тундре (пос. Хальмер-Ю, июль–август 1995 г.). Отрицательные значения NF соответствуют стоку, положительные – источнику углерода. Для NF приведены среднее $\pm$ стандартная ошибка.

Выявленные особенности динамики потоков CO_2 были подтверждены в 1996 г., когда были расширены период измерений и спектр исследованных экосистем. Во всех случаях превышение среднесуточной температуры воздуха более 14°C сопровождалось эмиссией CO_2 в атмосферу (рис. 2). Такие экологические параметры, как поток ФАР, глубина оттаивания почвы, влажности почвы и воздуха, скорость ветра и др., не влияли на это пороговое значение температуры.

Эмиссия CO_2 в атмосферу может иметь место и при низких среднесуточных температурах (рис. 2). Это происходит в начале теплого сезона до периода активной вегетации. Способность депонировать углерод тундра обретает только после распускания листьев сосудистых растений. Таким образом, для теплого периода в целом (июнь–сентябрь) южные тундры при температурах ниже 14°C могут быть как стоком, так и источником углерода. В период активной вегетации (конец июня–середина августа) при температурах ниже 14°C тундра является стоком углерода, а выше 14°C – его источником. Это значение температуры воздуха следует рассматривать как пороговое для углеродного баланса тундровых экосистем.

Объяснение обнаруженного феномена связано с низкими температурными оптимумами наблюдаемого фотосинтеза у многих арктических растений [2]. При отсутствии лимитирования по ФАР максимальные значения фотосинтеза обнаруживаются при температурах $7\text{--}12^\circ\text{C}$. Дальнейшее повышение температуры уже не стимулирует фотосинтез или даже подавляет его [15]. В то же время суммарное дыхание растений и микроорганизмов возрастает при повышении температуры, что приводит к трансформации углеродного баланса в сторону преобладания эмиссии.

Сходное обращение суточного углеродного баланса при повышении температуры отмечено для тундровых растений [10]. На экосистемном уровне наличие постоянной (для времени года и типа тундры) критической температуры установлено впервые. Представляет интерес близость критической температуры к температурному порогу развития микробных сообществ в тундровых почвах. При понижении температуры ниже 15°C в этих сообществах происходит переключение анаэробных процессов с метаногенеза на водородный ацетогенез [3].

Постоянство порогового значения температуры для тундр других географических подзон и регионов является предметом будущих исследований.

Авторы благодарны И.Б. Арчеговой (Сыктывкар) и В.П. Крылову (Воркута) за помощь в организации и проведении полевых работ.

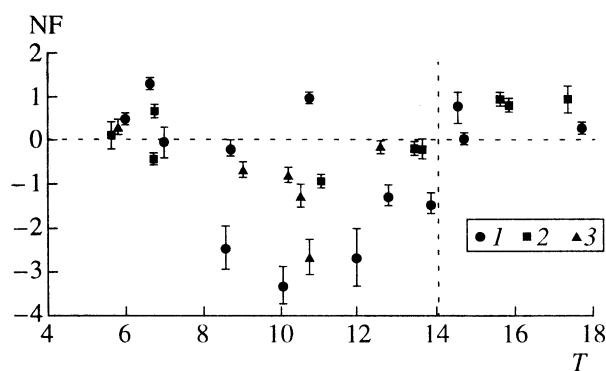


Рис. 2. Связь чистого суточного потока углерода (NF , $\text{гC} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) и среднесуточной температуры воздуха (T , $^\circ\text{C}$) в различных экосистемах южной тундры (ст. Тальник, июнь–август 1996 г.). 1 – кустарниково-кустарничковая тундра, 2 – кустарничково-кустарничковая тундра, 3 – осоковое болото.

Работа осуществлена при поддержке проекта 4.3.3 программы ГНТП 18 “Глобальные изменения природной среды и климата” Министерства науки и технической политики Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арчегова И.Б., Котелина Н.С., Грунина Л.К. и др. Экологические основы управления продуктивностью агрофитоценозов в восточноевропейской тундре. Л.: Наука, 1991. 152 с.
- Герасименко Т.В., Швецова В.М. В сб.: Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и дыхания растений. Л.: Наука, 1989. С. 65–114.
- Заварзин Г.А., Коцюрбенко О.Р., Соловьева Т.И. и др. // ДАН. 1993. Т. 329. № 6. С. 792–794.
- Зимов С.А., Давыдов С.П., Просяников С.Ф. и др. // Вест. АН СССР. 1991. № 8. С. 71–83.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
- Ребристая О.В. Растительность Востока Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1977. 334 с.
- Billings W.D., Luken J.O., Mortensen D.A. et al. // Oecologia. 1982. V. 53. № 1. P. 7–11.
- Billings W.D. // Quatern. Sci. Rev. 1987. V. 6. P. 165–177.
- Melillo J.M., McGuire A.D., Kicklighter D.W. et al. // Nature. 1993. V. 363. P. 234–240.
- Nazarov S.K., Sivkov M.D. In: Global Change and Arctic Terrestrial Ecosystems. Brussels; Luxembourg: ECSC-EC-EAEC, 1995. P. 221–226.
- Oechel W.C., Hastings S.J., Jenkins M. et al. // Nature. 1993. V. 361. P. 520–523.
- Oechel W.C., Vourlitis G.L. // Trends Ecol. and Evolut. 1994. V. 9. P. 324–329.
- Oechel W.C., Vourlitis G.L., Hastings S.J. et al. // Ecol. Appl. 1995. V. 5. P. 846–855.
- Oechel W.C., Vourlitis G.L., Hastings S.J. // Global Biogeochem. Cycles. 1997. V. 11. № 2. P. 163–172.
- Tieszen L.L. // Arctic and Alpine Res. 1973. V. 5. № 3. P. 239–251.