

В.С. Сафонов, Ю.С. Соболевская*, Н.А. Иванова*

ВЫДЕЛЕНИЕ CO₂ ХВОЙНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ O₃ И CO₂*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск
Филиал Института леса им. В.М. Сукачева СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 2.11.99 г.

Представлены результаты экспериментов по изучению выделения CO₂ саженцами кедра при повышенной концентрации CO₂ и O₃. Наблюдалось увеличение интенсивности как светового, так и темнового дыхания у саженцев при фумигации озоном.

Прогноз состояния растительности при повышении концентрации атмосферного озона и углекислого газа является актуальной и весьма сложной задачей в проблеме охраны окружающей среды и уже многие годы привлекает внимание исследователей. Озон является вторичным загрязнителем, образующимся в результате сложных атмосферных реакций с участием солнечной радиации. Концентрация озона в приземном слое воздуха зависит от интенсивности УФ-излучения. Фоновая концентрация O₃ составляет 20–40 ppb [1]. Увеличение концентрации O₃ в приземном слое в различных регионах происходит по разным причинам. В промышленных зонах, например, где существует повышенное содержание углеводородов и оксидов азота, концентрация O₃ в 2–3 раза превышает фоновую (40–80 мкг/м для средних широт) и увеличивается приблизительно на 1–2% в год. Для районов, окруженных лесными массивами, рост концентрации O₃ может наблюдаться за счет биогенных углеводородов (изопрен, терпены и т.д.), выделяемых древесными растениями. CO₂ постоянно находится в воздухе и является продуктом обмена веществ. Он выделяется при дыхании животных и растений, разложении органических веществ и играет существенную роль в развитии парникового эффекта [1].

При воздействии озона на растения отмечаются уменьшение скорости фотосинтеза, увеличение интенсивности дыхания, снижение скорости роста в высоту и прироста биомассы, уменьшение урожая, а также ускорение процессов старения листьев и преждевременное их опадение (как у травянистых, так и у хвойных растений) [2]. В результате фумигации растений озоном на листьях развиваются некрозы и хлоротичные зоны, подавляется активность целого ряда ферментов [3]. Существующая тенденция накопления в тропосфере как O₃, так и CO₂ может сказаться на кинетике процессов газообмена растительных систем с атмосферой и дополнительном выделении CO₂ при возрастании содержания O₃ и CO₂, как это показано в лабораторных экспериментах [4].

В настоящей статье представлены результаты экспериментов по исследованию выделения CO₂ саженцами кедра после воздействия повышенных концентраций O₃ и CO₂.

Экспериментальная техника

В эксперименте использовались газоанализатор ГИАМ-15, генератор озона «ОЗОН-5» и четыре экспозиционные камеры (рис. 1). Газоанализатор ГИАМ-15 предназначен для контроля в технологических процессах и окружающей среде различных газовых компонентов, в том

числе и двуокиси углерода (CO₂), и представляет собой стационарный автоматический прибор непрерывного действия. В газоанализаторе использован спектрофотометрический метод анализа газа. Для измерения мощности источника излучения используется оптико-акустический приемник. Диапазон измеряемых концентраций CO₂: 0–500 ppm. Пределы допускаемой основной приведенной погрешности для CO₂ не превышают 10% [5].



Рис. 1. Экспериментальная установка

Для исследования влияния O₃ и CO₂ саженцы кедра располагались внутри четырех полиэтиленовых камер, каждая объемом 1 м³ с закрытым дном, для избежания вклада CO₂, выделяемого из почвы.

Для фумигации O₃ использовался генератор озона «ОЗОН-5» с производительностью ~ 5 г/ч. Доза O₃ регулировалась изменением времени работы генератора.

Методика и результаты эксперимента

Объектами исследования служили саженцы кедр томской и алтайской популяций. Алтайские образцы были взяты двух типов: растущих на высоте примерно 1500 м (тип А) и 2000 м (тип Б). Эксперимент был разбит на 3 этапа:

1. Изучение выделения CO₂ саженцами кедр в нормальных условиях (рис. 2);
2. Контроль выделения CO₂ саженцами кедр при стрессовых условиях, связанных с повышенной концентрацией CO₂ (рис. 3);
3. Контроль выделения CO₂ саженцами кедр при фумигации озоном (рис. 4–6).

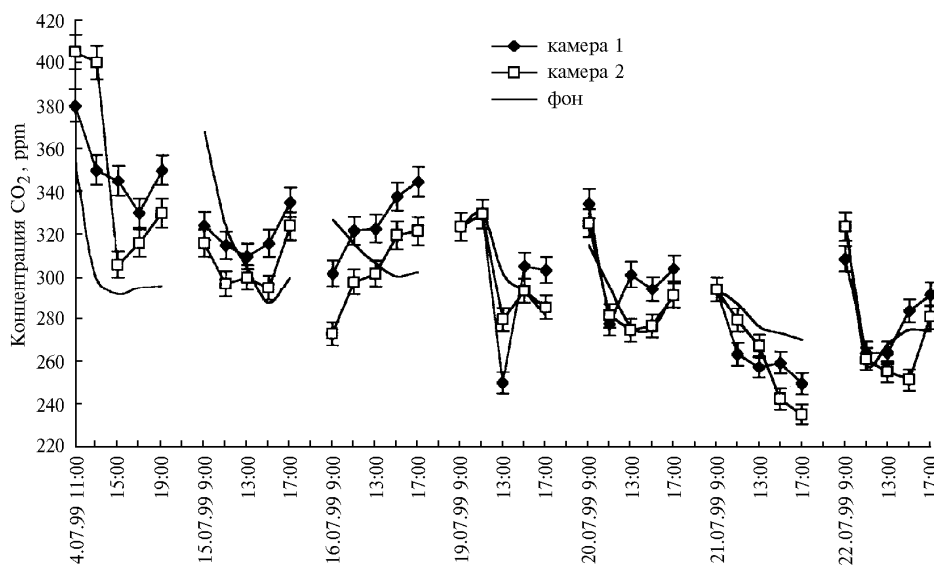


Рис. 2. Динамика выделения CO_2 , ppm, саженцами кедр томской популяции (п. Курлек) при нормальных условиях

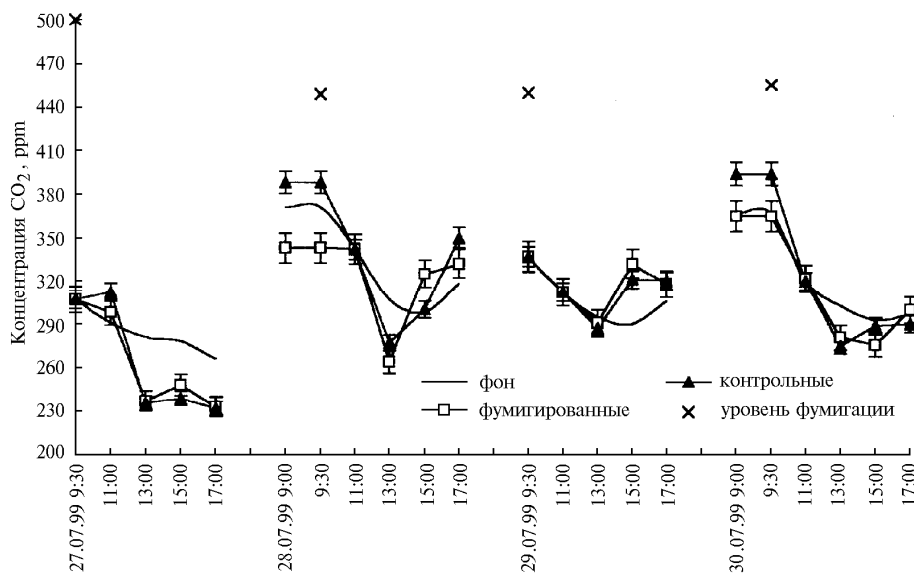


Рис. 3. Динамика выделения CO_2 , ppm, саженцами кедр томской популяции (п. Курлек) при повышенной концентрации CO_2

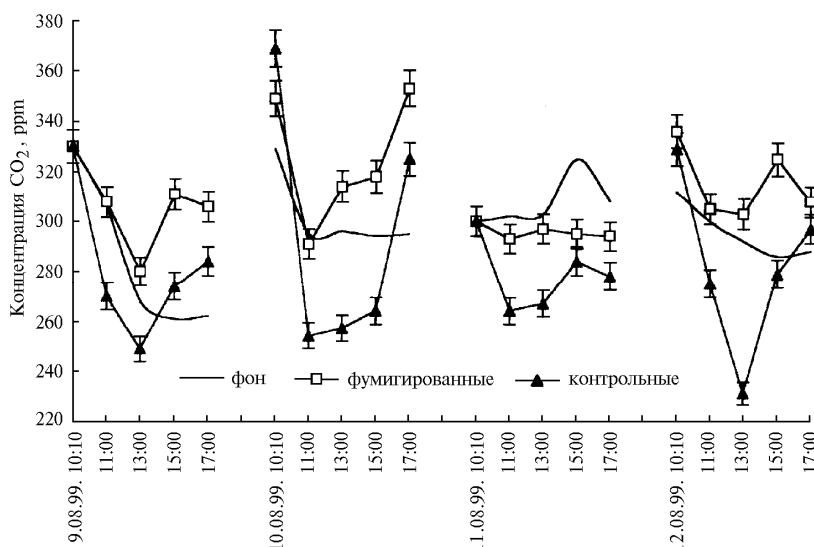


Рис. 4. Динамика выделения CO_2 , ppm, саженцами кедр томской популяции (п. Курлек) при фумигации O_3

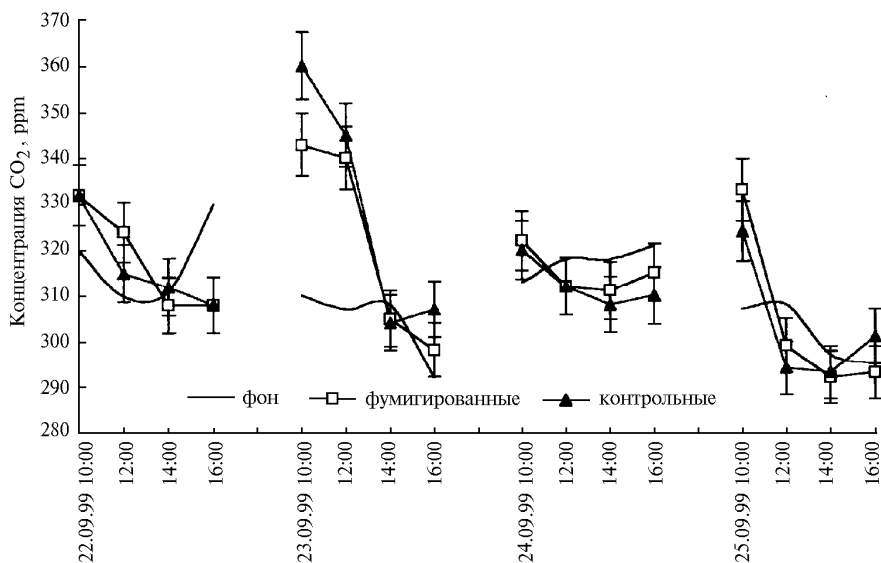


Рис. 5. Динамика выделения CO_2 , ppm, саженцами кедр алтайской популяции высокогорного морфотипа (А) при фумигации O_3

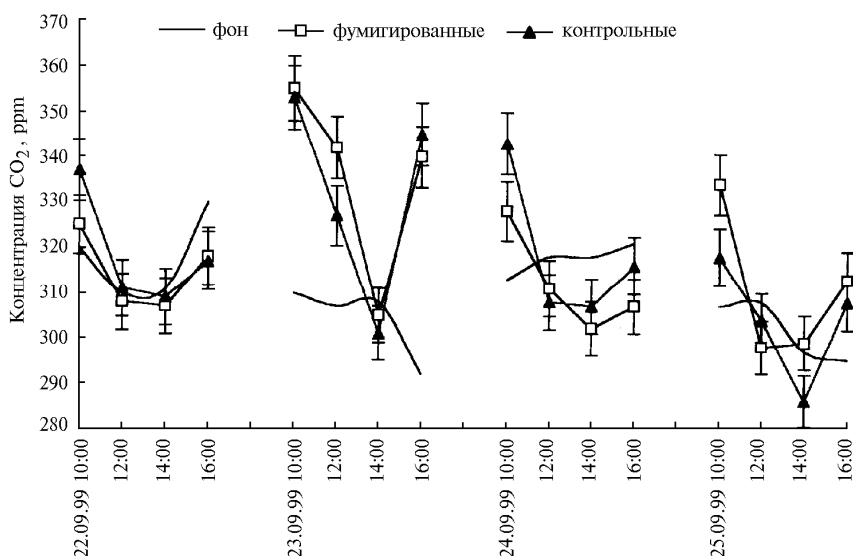


Рис. 6. Динамика выделения CO_2 , ppm, саженцами кедр алтайской популяции высокогорного морфотипа (Б) при фумигации O_3

Первые два этапа эксперимента проводились с использованием одних и тех же саженцев томской репродукции для изучения кинетики светового и темнового дыхания образцов. На третьем этапе использовались как томские (измерения в августе), так и алтайские образцы (измерения в сентябре).

Образцы были высажены в четыре камеры, две из которых были контрольными, а две фумигационными. В фумигационные камеры компрессором закачивался CO_2 , на втором этапе, до достижения концентрации CO_2 в камере 450–500 ppm, образцы выдерживались при таких условиях 60 мин, затем камера проветривалась и закрывалась, после чего в течение определенного промежутка времени (до 2 ч) в каждой из камер проводились замеры CO_2 . На третьем этапе эксперимента фумигация O_3 производилась с помощью генератора озона, который помещался в камеру и включался на время до 60 с (в случае с томскими образцами) и до 10 с (с алтайскими). При этом мы оценили превышение концентрации O_3 над стандартным фоновым уровнем примерно в 30 и 5 раз.

При обработке результатов измерений вычислялись следующие характеристики [6]:

1. Выборочное среднее арифметическое значение

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где X_i – результат отдельного измерения; n – объем выборки.
Среднеквадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}.$$

3. Выборочный коэффициент вариации, в процентах:

$$V = S/\bar{X} \cdot 100.$$

4. Полуширина доверительного интервала

$$\delta = t S/\sqrt{n},$$

где t – коэффициент Стьюдента.

На графиках показаны выборочные средние значения для концентраций CO₂ и доверительные интервалы для них.

Обсуждение и выводы

Результаты измерений показали, что выделение CO₂ саженцами кедра усиливается при повышении концентрации CO₂ и O₃. Наиболее высокая интенсивность как светового, так и темного дыхания у саженцев наблюдалась при фумигации озоном с экспозицией 60 с. В этом случае отличия в кинетике выделения CO₂ для контрольных саженцев и саженцев, обработанных озоном, составляют ~ 20%, что превышает приборную погрешность определения концентрации CO₂ газоанализатором (10%), а также имело место снижение уровня хлоропластов в хвое (хлороз). Это можно объяснить следующим образом. Озон нарушает целостность мембран и их проницаемость – происходит изменение пассивной проницаемости, избирательное ингибирование активного транспорта, изменяется мембранный потенциал, вследствие чего нарушается транспорт органических соединений и свободных ионов [7]. Однако и при умеренном (до 5 раз) превышении концентрации озона над фоновым уровнем отличия в кинетике выделения CO₂ для контрольных саженцев и саженцев, подвергнутых кратковременной обработке озоном, составляют 7%.

V.S. Safonov, Yu.S. Sobolevskaya, N.A. Ivanova. CO₂ Emission by Conifers at Hyperconcentration of O₃ and CO₂.

The experimental results on study of CO₂ emission by cedar seedlings at hyperconcentration of CO₂ and O₃ are presented. An increase of both light and dark breath of the seedlings was observed at fumigation by O₃.

Авторы выражают глубокую признательность Ю.Н. Пономареву, Н.А. Воробьевой, В.А. Капитанову, А.П. Зотиковой, В.А. Сапожниковой за оказанную помощь в работе.

Эксперименты выполнены при поддержке РФФИ (проект 98-05-64068).

1. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. М.: Изд-во стандартов, 1992.
2. Семенов С.М., Кунина И.М., Кухта Б.А. Тропосферный озон и рост растений в Европе // М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 1999. 207 с.
3. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Физиология растений. 1989. Т. 6. 168 с.
4. Агеев Б.Г., Антипов А.Б., Астафурова Т.П., Воробьева Н.А. и др. Кинетика выделения CO₂ травянистыми и хвойными растениями при воздействии O₃ // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 4. С. 355–358.
5. Газоанализатор ГИАМ-15. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АПИ 2.840.065
6. Леонов В.П. Обработка экспериментальных данных на программируемых микрокалькуляторах. Томск, 1990.
7. Mehlhorn H., O'Shea J.M., Wellburn A.R. Atmospheric ozone interacts with stress ethylene formation by plants to cause visible plant injury // J. Exp. Bot. 1991. V. 42. P. 17–24.