

Б.Г. Агеев, Ю.Н. Пономарев, К.М. Фирсов

Оценка влияния загрязнения воздуха на дополнительную эмиссию CO_2 лесными массивами

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 20.11.2000 г.

Методом численного моделирования с использованием полученных экспериментальных данных по темновому дыханию растений проведена оценка увеличения количества атмосферного CO_2 , обусловленного дополнительной эмиссией CO_2 растительными массивами при различных уровнях интегрального загрязнения.

В последние годы одной из актуальнейших проблем геофизики и климатологии является увеличение содержания атмосферного CO_2 . В этой связи особую важность приобретает задача определения возможных источников и стоков углекислого газа и оценки их производительности. Необходимость таких оценок подчеркнута в материалах рабочей группы «Biogenic emission of greenhouse gases by arable and animal agriculture – measurement technologies and emission factors» (The Netherlands, 1997) [1].

Мощными поставщиками CO_2 в атмосферу являются биологические процессы – дыхание почв и дыхание наземной растительности [2], причем с течением времени эти источники становятся все более интенсивными. Например, зарегистрировано [3], что под пологом соснового леса рост усредненных за июнь–июль ночных максимумов концентрации CO_2 на уровне середины крон за 14 лет составил 54% (с 350 до 540 ppm).

В наших работах [4, 5] показано, что воздействие на травянистую и древесную растительность газовых загрязнителей (C_2H_4 , CO , O_3) приводит к изменению темнового дыхания, причем в большинстве ситуаций к его существенной интенсификации, что вызывает увеличение выделяемого растениями CO_2 .

Таким образом, можно предположить, что загрязнение воздуха, в том числе в результате антропогенной деятельности, может стимулировать дополнительную эмиссию CO_2 в результате жизнедеятельности загрязненных растений.

В данной статье методом численного моделирования проведены оценки возможного повышения концентрации атмосферного CO_2 растительными массивами при их антропогенном загрязнении. Даны рекомендации по локальному и дистанционному детектированию этого повышения.

Экспериментальные данные

Используемые для расчетов входные данные по скорости эмиссии CO_2 растениями были получены из проведенных нами измерений кинетики темнового дыхания хвои, выполненных в лабораторных условиях методом лазерного оптико-акустического газоанализа [4]. Объектом служила двухлетняя хвоя 20-летних деревьев сосны. Образцы отбирались на двух участках, различающихся по степени интегрального загрязнения воздуха. Опытный участок был выбран в растительном массиве Михайловской

рощи. Этот район находится в черте города и подвержен сильному загрязнению со стороны автотранспорта и промышленных предприятий. Контрольный участок находился в Тимирязевском лесном массиве в 15 км от города. На каждом участке выбиралось по 10 одновозрастных деревьев. Исследуемые опытный и контрольный образцы представляли собой одинаковые навески отделенной хвои, в каждую навеску входила хвоя 10 деревьев в равном количестве. Подготовленные образцы помещались в затемненные камеры. После необходимой экспозиции определялось содержание углекислого газа в пробах воздуха из камер. На рис. 1 представлена суточная кинетика эмиссии CO_2 опытным и контрольным образцами (результаты нормированы на вес образцов).

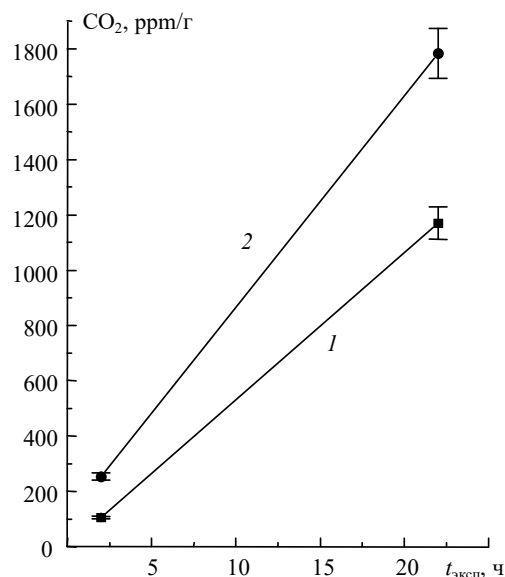


Рис. 1. Кинетика эмиссии CO_2 контрольным (1) и опытным (2) образцами хвои

Для определения скорости эмиссии CO_2 лесным массивом были использованы усредненные данные следующих параметров: численность лесообразующей породы деревьев определенного возраста [6], масса хвои дерева [7], доля хвои одного возраста в общей массе хвои [8]. С

учетом реальной ситуации брались следующие значения этих параметров (в порядке перечисления): 1500 шт./га, 2,5 кг, 34%. Полученные экспериментальные результаты и литературные данные позволили следующим образом оценить скорость эмиссии CO₂ двухлетней хвоей 20-летних деревьев сосны (над уровнем фонового содержания в атмосфере): а) контроль – $6,9 \cdot 10^3$ ppm/(м² · ч), б) опыт – $12,8 \cdot 10^3$ ppm/(м² · ч).

Используемая модель и результаты расчетов

Для расчета концентрации углекислого газа под пологом соснового леса использовалось уравнение турбулентной диффузии [9, 10], а для моделирования переноса углекислого газа над лесом применялась гауссовская модель [10]. Величина коэффициента турбулентного обмена зависит от скорости ветра, распределения температуры по высоте и ряда других параметров. Согласно Пэквилу выделено несколько классов устойчивости приземного воздуха [10]. Это позволяет выбрать типичные значения коэффициентов турбулентного обмена, а также горизонтальной и вертикальной составляющих скорости движения воздушной массы. При моделировании рассматривались условия, близкие к равновесным по классификации Пэквилла (4-й класс). Полагалось, что под пологом леса адвекцией можно пренебречь. В случае конвективных условий коэффициент турбулентного обмена принимает значения $k_1 = 0,1-0,2$ м/с на высоте 1 м и линейно возрастает с ростом высоты [10]. При моделировании мы полагали $k_1 = 0,1$ м/с. Вертикальная составляющая скорости ветра $w = 0,2$ м/с. Высота леса полагалась равной 10 м, а скорость поступления углекислого газа равной 2 либо 3,5 ppm/с и постоянной в диапазоне высот от 2 до 10 м. Скорость ветра на высоте 10 м согласно классификации Пэквилла полагалась равной 4 м/с. Размеры лесного массива 1×1 км.

При дыхании растений в ночное время происходит уменьшение выделения углекислого газа растениями, если его концентрация заметно возрастает. Так, например, при возрастании концентрации CO₂ в воздухе до 720 ppm происходит 50%-е уменьшение интенсивности темного дыхания [11]. В работе рассмотрена упрощенная модель, когда под воздействием стресса происходит постоянная дополнительная эмиссия углекислого газа. Поэтому была выбрана такая стратификация, когда наблюдаются конвективные условия и нет заметного накопления углекислого газа под пологом леса.

Результаты моделирования приведены на рис. 2. Кривая 1 соответствует контрольному образцу, когда наблюдается обычное темное дыхание, а кривая 2 – повышенной эмиссии под воздействием стресса.

Полученные оценки показывают, что даже при конвективных условиях наблюдается заметное превышение

содержания углекислого газа под пологом леса в сравнении с обычным темным дыханием растений.

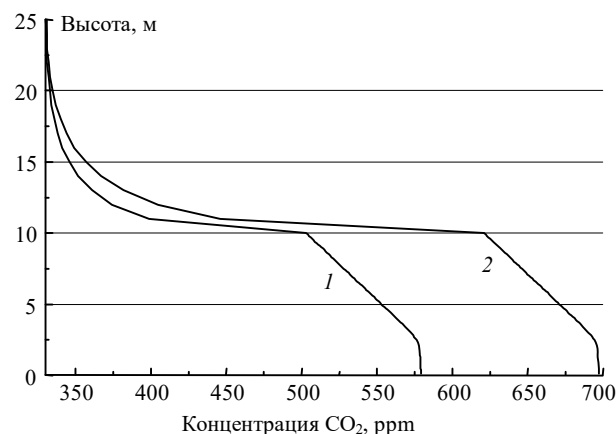


Рис. 2. Вертикальный профиль концентрации CO₂. Класс устойчивости по Пэквиллу – 4-й. Скорость ветра 4 м/с на высоте 10 м: 1 – 2 ppm/с; 2 – 3,5 ppm/с; $k_1 = 0,1$ м/с²; $w = 0,2$ м/с

Значения концентрации на малых высотах таковы, что их можно уверенно регистрировать с использованием оптико-акустического газоанализатора. Из рис. 2 видно также, что над лесным массивом концентрация углекислого газа быстро спадает до его фонового содержания.

Авторы благодарят Л.В. Хан за подготовку образцов хвои.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 98-05-64068, 99-04-49085).

1. Freibauer A., Damngen 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.
2. Добровольский Г.В., Куста Г.С. // Природа. 1996. № 10. С. 53–63.
3. Углекислотный газообмен хвойных Предбайкалья / А.С. Щербатюк, Л.В. Русакова, Г.Г. Суворова, Л.С. Янькова. Новосибирск: Наука, 1991. 135 с.
4. Агеев Б.Г., Астафурова Т.П., Пономарев Ю.Н., Сапожников В.А. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 4–5. С. 437–448.
5. Агеев Б.Г., Антипов А.Б., Астафурова Т.П. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 4. С. 355–358.
6. Корзухин М.Д., Седых В.Н. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 5. Л.: Гидрометеоздат, 1982. С. 91–102.
7. Усольцев В.А., Усольцев А.В., Кириллова В.В. // Лесоведение. 1998. № 2. С. 55–68.
8. Семенюк Н.В., Рудкова А.А. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 11. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С. 143–149.
9. Атмосфера: Справочник. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 510 с.
10. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнений атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 272 с.
11. Idso S.B., Kimball B.A. // J. Plant. Physiol. 1993. V. 141. P. 166–171.

B.G. Ageev, Yu.N. Ponomarev, K.M. Firsov. Estimate of influence of air pollution on additional CO₂ emission by forests.

The increase of the atmospheric CO₂ content conditioned by the additional emission of CO₂ by plants at different levels of the integral pollution was simulated using the experimental data on the plants dark respiration.