

Ю.А. Головацкий*, В.А. Сапожникова, В.Ф. Федоров, А.Б. Антипов

Экспериментальная установка для фумигации озоном биообъектов

Институт оптики атмосферы СО РАН,
*Институт оптического мониторинга СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 9.01.2001 г.

Приводится описание установки, в которой разработанный в ИОА СО РАН озоногенератор был использован для создания избыточных концентраций O_3 при исследовании его влияния на растения. Контроль за содержанием O_3 в озono-воздушном потоке осуществлялся спектрофотометрическим методом.

Известно, что повышенное содержание O_3 в воздухе или воде способно производить их дезинфекцию. С другой стороны, озон токсичен, негативно воздействует на органы дыхания человека и отрицательно влияет на продуктивность растений [1]. Предельно допустимое содержание озона в воздухе помещений, где работают люди, составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$ [2].

В ИОА разработана серия генераторов озона производительностью от 1 до 20 г озона в час, которые могут быть использованы как для санитарной обработки помещений, так и для дезинфекции питьевой воды и промышленных стоков. В схему озоногенератора входят преобразователь напряжения на тиристорах и разрядная камера на основе керамики. Генерация озона осуществляется в потоке воздуха, подаваемого с помощью вентилятора в разрядную камеру. Вся конструкция прибора отличается высокой надежностью. Энергозатраты на производство озона составляют $\sim 10 \text{ Вт}\cdot\text{ч/г}$. Для сравнения – у промышленных озоногенераторов энергозатраты составляют $16 - 40 \text{ Вт}\cdot\text{ч/г}$ [2].

При необходимости получения высоких концентраций озона производится модульное включение приборов, что позволяет создавать станции с высокой производительностью озона.

Точное содержание озона в озono-воздушном потоке на выходе озоногенератора можно определять с помощью спектрофотометрического метода.

В наших экспериментах по исследованию влияния повышенных концентраций O_3 на растения была создана установка (рис. 1), где использовался генератор «Озон-ИОА».

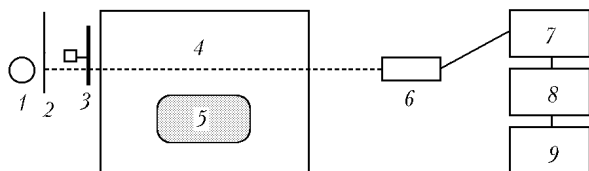


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – лампа ВСБ-1; 2 – УФ и интерференционный фильтры; 3 – механический модулятор; 4 – полиэтиленовая камера; 5 – озоногенератор; 6 – ФЭУ; 7 – селективный вольтметр; 8 – АЦП; 9 – компьютер

Генератор помещался в полиэтиленовую камеру объемом $V=0,25 \text{ м}^3$ (фумигационная камера) и включался на необходимое время воздействия озона на растения.

Известно, что озон самопроизвольно диссоциирует, причем скорость его распада зависит от влажности, температуры, загрязненности воздуха [3, 6], материала стенок камеры, а также от типа помещенных в камеру объектов исследования, поэтому мы предварительно исследовали изменение концентрации озона со временем в пустой фумигационной камере.

Непрерывный контроль содержания озона в камере осуществлялся спектрофотометрическим методом. В качестве источника излучения использовалась высокочастотная безэлектродная лампа типа ВСБ-1, заполненная естественной смесью изотопов ртути.

Два светофильтра – УФС-5 и интерференционный – выделяли из спектра излучения лампы излучение резонансной линии с длиной волны $\lambda = 254 \text{ нм}$, соответствующее максимуму полосы поглощения озона. Модулированное с частотой 900 Гц излучение, пройдя через фумигационную полиэтиленовую камеру, заполненную озono-воздушной смесью, попадало на солнечно-слепой ФЭУ. Сигнал с ФЭУ регистрировался селективным микровольтметром, настроенным на частоту модулятора, и затем выпрямленный сигнал подавался на АЦП компьютера.

Аналогичная схема использовалась для оценки производительности озоногенератора. В этом случае при определении концентрации O_3 источник и приемник располагались поперек потока получаемой от генератора озono-воздушной смеси. Для оценки скорости потока озono-воздушной смеси заполнялась специальная камера (объем которой предварительно определялся с помощью газового счетчика ГСБ-400) и фиксировалось время заполнения. Производительность используемой в эксперименте модели озоногенератора «Озон-ИОА» после определения скорости потока и концентрации озона в потоке при комнатной температуре $18 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности 60% была нами оценена как 2 г/ч .

Концентрация озона $n \text{ (см}^{-3}\text{)}$ определялась по закону Бугера из измеренного пропускания T озono-воздушной смесью излучения с $\lambda = 254 \text{ нм}$:

$$T = I/I_0, \quad I = I_0 \exp(-\sigma n l), \quad n = -(\ln T)/\sigma l,$$

где I_0 – интенсивность падающего, I – интенсивность прошедшего поглощающий слой l излучения; σ – сечение поглощения озона на длине волны $\lambda = 254 \text{ нм}$. По данным [4], $\sigma = 1,14 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$. Сечением поглощения других газов на этой длине волны можно пренебречь (сечения поглощения,

например, кислорода, бензола, диоксида серы на $\lambda = 254 \text{ нм}$ соответственно равны: $2 \cdot 10^{-24}$, $1,3 \cdot 10^{-18}$ и $3,4 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ [5]).

Результаты изменения концентрации озона в пустой камере, после включения озоногенератора на 60 с, приведены на рис. 2 и 3. Для учета возможного дополнительного распада O_3 на растениях, помещаемых в камеру, мы провели измерение концентрации озона в камере, в которую были помещены ветки кедра, занимавшие $\sim 1/5$ часть объема камеры. Озоногенератор включался на 10, 30 и 60 с, после чего камера проветривалась.

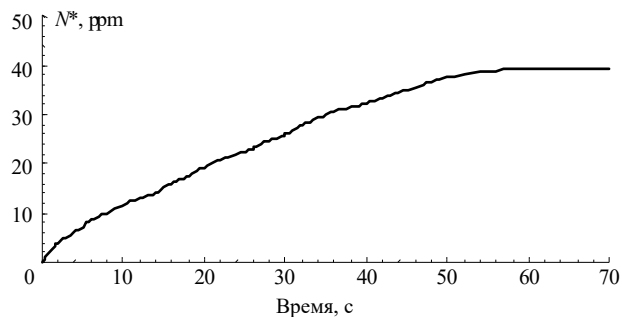


Рис. 2. Изменение концентрации озона в камере объемом $0,25 \text{ м}^3$ после включения озоногенератора

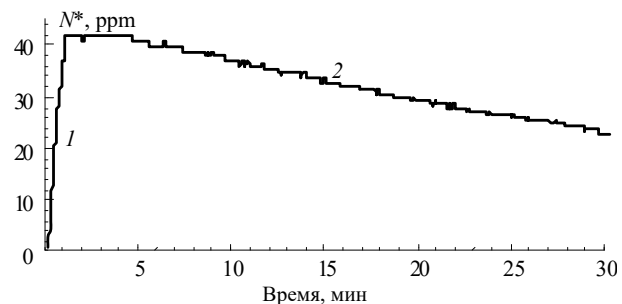


Рис. 3. Наполнение озоном полиэтиленовой камеры (1) и самораспад озона после выключения генератора (2). Объем камеры $0,25 \text{ м}^3$. Время работы генератора 1 мин

В табл. 1 представлены результаты измерения концентрации озона для пустой и заполненной ветками камер от длительности работы озоногенератора t , как среднее из трех реализаций (доверительная вероятность 0,8).

В таблице также приведены значения дозы воздействия O_3 на растения и средняя концентрация. Эти характеристики определяются как [1]:

- максимальная концентрация $N_{\text{max}}^* = \max \{n(t)\}$, $t \in [t_1, t_2]$;
- доза $D = \int n(t) dt$, где $n(t)$ – действующая концентрация озона за период воздействия (t_1, t_2);
- средняя концентрация $n = D/(t_1, t_2)$.

Таблица 1

$t, \text{ с}$	Максимальная концентрация O_3 в пустой камере, $N_{\text{max}}^*, \text{ ppm}$	Максимальная концентрация O_3 в камере с ветками кедра, $N_{\text{max}}^*, \text{ ppm}$	Доза D , $\text{ ppm} \cdot \text{ с}$	Средняя концентрация O_3 в камере с ветками кедра, $n, \text{ ppm}$
10	$13,3 \pm 1,1$	$13 \pm 1,6$	88	8,8
30	$25,8 \pm 2,1$	$27,4 \pm 2,4$	464	15,5
60	$38,0 \pm 2$	$41,6 \pm 1,5$	1044	17,4

Как видно из табл. 1, содержание озона в фумигационной камере с ветками и без веток остается постоянным в пределах ошибок измерения, т.е. за время фумигации дополнительного распада на хвое не наблюдалось.

На рис. 4 представлена динамика распада O_3 со временем в закрытых полиэтиленовых камерах разного объема. Очевидно, что увеличение объема камеры уменьшает самораспад озона на стенках. Поэтому при фумигации озоном биообъектов лучше использовать полиэтиленовые камеры большего объема.

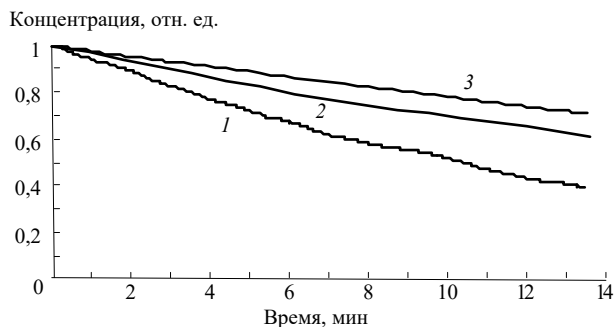


Рис. 4. Самораспад озона в закрытых фумигационных камерах разного объема: 1 – $0,01$; 2 – $0,25$; 3 – 1 м^3

Таблица 2

Величина	Давление p , гПа	Плотность ρ , г/м^3	Относительные единицы (относительно воздуха)					
			Массовая концентрация		Молярная концентрация		Объемная концентрация	
			$r = \rho/\rho_{\text{в}} [7]$	$r, \text{ ppm}$	$r^* = N_i/N_{\text{в}}$	$r^*, \text{ ppm}$	$N^* = p/P_{\text{в}}$	$N^*, \text{ ppm}$
$n, \text{ см}^{-3}$	$\frac{P_0 T}{T_0 N}$	$10^6 m_0 \mu$	$\frac{\mu_i}{\mu_{\text{в}}} \frac{P_0 T_{\text{в}}}{P_{\text{в}} T_0 N}$	$10^6 \frac{\mu_i}{\mu_{\text{в}}} \frac{P_0 T_{\text{в}}}{P_{\text{в}} T_0 N}$	$\frac{P_0 T_{\text{в}}}{P_{\text{в}} T_0 N}$	$10^6 \frac{P_0 T_{\text{в}}}{P_{\text{в}} T_0 N}$	$\frac{P_0 T_{\text{в}}}{P_{\text{в}} T_0 N}$	$10^6 \frac{P_0 T_{\text{в}}}{P_{\text{в}} T_0 N}$
Для O_3	$1,38 \cdot 10^{-19} T$	$7,97 \cdot 10^{-17}$	$2,28 \cdot 10^{-19} \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$	$2,28 \cdot 10^{-13} \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$	$1,38 \cdot 10^{-19} \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$	$1,38 \cdot 10^{-13} \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$	$1,38 \cdot 10^{-19} \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$	$1,38 \cdot 10^{-13} \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$
ρ , г/м^3	$\frac{1}{\mu_i} \frac{P_0 V_0 T}{T_0 P_{\text{в}}}$	–	$\frac{1}{\mu_{\text{в}}} \frac{P_0 V_0 T_{\text{в}}}{T_0 P_{\text{в}}}$	$106 \frac{1}{\mu_{\text{в}}} \frac{P_0 V_0 T_{\text{в}}}{T_0 P_{\text{в}}}$	$\frac{1}{\mu_i} \frac{P_0 V_0 T_{\text{в}}}{T_0 P_{\text{в}}}$	$106 \frac{1}{\mu_i} \frac{P_0 V_0 T_{\text{в}}}{T_0 P_{\text{в}}}$	$\frac{\mu_{\text{в}}}{\mu_i} \frac{1}{\rho_{\text{в}}}$	$\frac{\mu_{\text{в}}}{106 \mu_i} \frac{1}{\rho_{\text{в}}}$
Для O_3	$1,73 \cdot 10^{-3} T$	–	$\frac{T_{\text{в}}}{2,87 \cdot 10^{-3} P_{\text{в}}}$	$\frac{T_{\text{в}}}{2,87 \cdot 10^3 P_{\text{в}}}$	$\frac{T_{\text{в}}}{1,73 \cdot 10^{-3} P_{\text{в}}}$	$1,73 \cdot 10^3 \frac{T_{\text{в}}}{P_{\text{в}}}$	$0,47 \cdot 10^{-3}$	$0,47 \cdot 10^{-3}$

Примечание. $N = 2,687 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ – число Лoshмидта; μ – относительная молекулярная масса (безразмерная величина), $\mu_{\text{O}_2} = 48$, $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 29$; μ_i – молекулярный вес, г/моль ; m_0 – атомная единица массы, $1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}$; $P_0 = 1013,25 \text{ гПа}$; $T_0 = 273 \text{ К}$; $V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$; $R = P_0 V_0 / T_0 = 83,14 \cdot 10^{-3} \text{ гПа} \cdot \text{м}^3 / (\text{моль} \cdot \text{К})$; $PV = (M/\mu_i) RT$; $M_i/\mu_i = N_i$ – число молей, M_i – масса газа; $\rho_{\text{в}} = 1,29 \text{ кг/м}^3 = 1,29 \cdot 10^3 \text{ г/м}^3$.

Для справки в табл. 2 приводятся значения коэффициентов, на которые нужно умножить значения концентрации n (или плотности ρ), чтобы вычислить давление, плотность и относительные концентрации озона.

Авторы выражают признательность Л.И. Несмеловой за ценную консультацию.

1. Семенов С.М., Кунина И.М., Кухта Б.А.. Тропосферный озон и рост растений в Европе. М.: Метеорология и гидрология, 1999. 207 с.

2. Дедков В.С., Кухта В.Р., Лопатин В.В., Парцевич В.В. Генерирование озона на постоянном напряжении // Приборы и техника эксперимента. 1999. № 2. С. 116–120.
3. Кожин В.Ф., Кожин И.В. Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1974. 160 с.
4. Yoshino K., Esmond J.R., Freeman D.E. // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. № D3. P. 5205–5211.
5. Byer R.L. Remote air pollution measurement // Optical and Quantum Electronics. № 7. 1975. С. 147–177.
6. Филиппов Ю.В., Вобликов В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. М.: Изд-во МГУ, 1987. 237 с.
7. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности / Под ред. К.Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 564 с.

Yu.A. Golovatskii, V.A. Sapozhnikova, V.F. Fedorov, A.B. Antipov. An experimental setup for fumigation of biological objects by ozone.

An experimental setup is described including a generator of ozone for creating ozone excess concentrations to study their impact on plants. The monitoring of O₃ content in the ozone-air flow was made by the spectrophotometric method.