

## ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Чихладзе В.А.

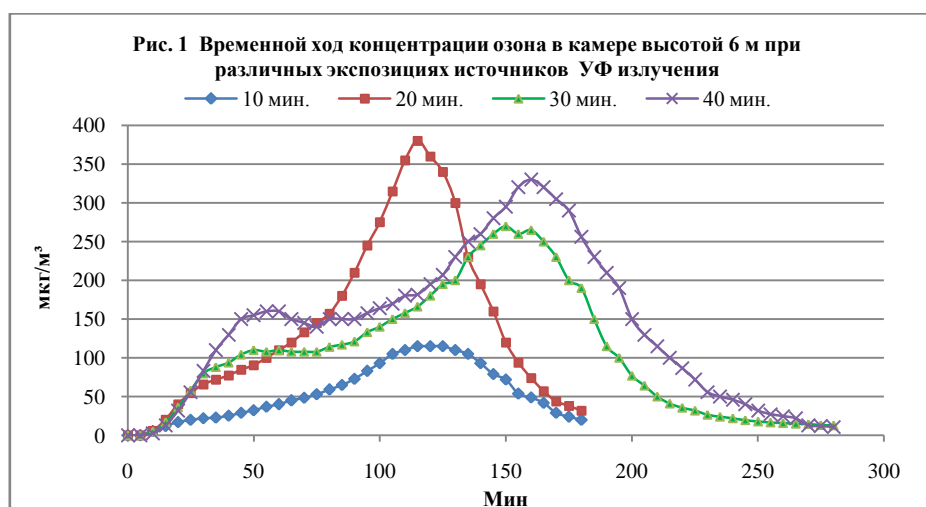
*Институт геофизики им. М.Нодиа Тбилисского государственного университета  
им. И. Джавахишвили, Грузия*

В настоящее время прямые методы воздействия на фотохимический смог (смесь газов и мелкодисперсных аэрозольных частиц) основаны на хорошо известных физических процессах - так называемом мокром вымывании (облака, туман, дождь) аэрозольно-газового загрязнения атмосферы [1-10]. Так к примеру, согласно [11], во время дождя концентрация частиц углерода уменьшается в 1,5-5,5 раза. Согласно данным за 2003-2005 годы [12], в Тбилиси во время дождя или тумана концентрация приземного озона низкая и изменяется в пределах 4-12 мкг/м<sup>3</sup>, тогда как в сухой период это значение может быть на порядок выше. Для проведения масштабных лабораторных экспериментов по созданию, ослаблению и очистке смоговой среды, была использована Термобарокамера Института геофизики [1-3, 8].

В силу ряда обстоятельств, термобарокамера в настоящее время может работать только в теплом режиме, что конечно существенно ограничивает её возможности. Однако в ряде случаев это не является определяющим фактором. Одной из задач являлось определение возможности создания в термобарокамере условий, характерных для городского фотохимического смога, в частности повышенной концентрации озона в определенном объеме воздуха с возможностью его подпитки, а также создания условий для продолжительной (в течении нескольких часов) его жизни. Для этого внутри корпуса термобарокамеры, который покрыт специальной краской на основе эпоксидных смол, препятствующих ржавлению, был создан отдельный выделенный объем, стенки, пол и крыша которого образованы инертной к озону полиэтиленовой пленкой высокого давления с каркасом также из полиэтиленовых труб. Выделенный объем представляет собой асимметрично подвешенный цилиндр с полужесткими верхним и нижним основаниями, который может относительно свободно перемещаться в вертикальном направлении, а при необходимости и в горизонтальном. Диаметр отсеченного объема превышает 2,5 метра, а максимальная высота 6 метров, объем порядка 30 м<sup>3</sup>. При необходимости объем можно уменьшать, опуская верхнее основание на необходимую (до 0,5 м) высоту или поднимать всю конструкцию без основания для очистки, проветривания или монтажа оборудования. Для создания необходимой герметичности и технологических швов при изготовлении выделенного объема было создано устройство для сварки большеразмерных кусков полиэтиленовой пленки. В оставленные открытые швы с нахлестом проходят кабели и технологические консоли для устройств ввода водного реагента или пара, приемники озона, температуры, влажности и т.п.

Для получения высокой концентрации озона в смоговой камере было сделано следующее: исходя из того, что озон тяжелее воздуха, источники ультрафиолетового излучения [13] были размещены в верхней части объема, примерно в 10-15 сантиметрах от потолка, симметрично относительно центра объема и параллельно несущей штанге были смонтированы две 20 ваттные бактерицидные лампы фирмы TUNGSRAM с электронным балластным устройством EB407 фирмы DEVARNA. На концах штанги, примерно на расстоянии в 30 сантиметров от стенок были смонтированы ртутные лампы ДРТ-240 от кварцевых осветителей ОКН-11-М, причем для безопасности, а также защиты от повышенной влажности и удобства запуска пусковые устройства размещались за пределами камеры. Измерение концентрации полученного в объеме озона производилось с помощью электрохимического озонметра типа OMG-200, расположенного вне камеры. Приемная фторопластовая трубка при этом располагалась примерно в центре отсеченного объема на высоте 2 метров от дна.

Опыты были проведены с экспозициями 10, 20, 30 и 40 минут, при этом были задействованы все источники ультрафиолетового излучения. Результаты показаны на рис.1.



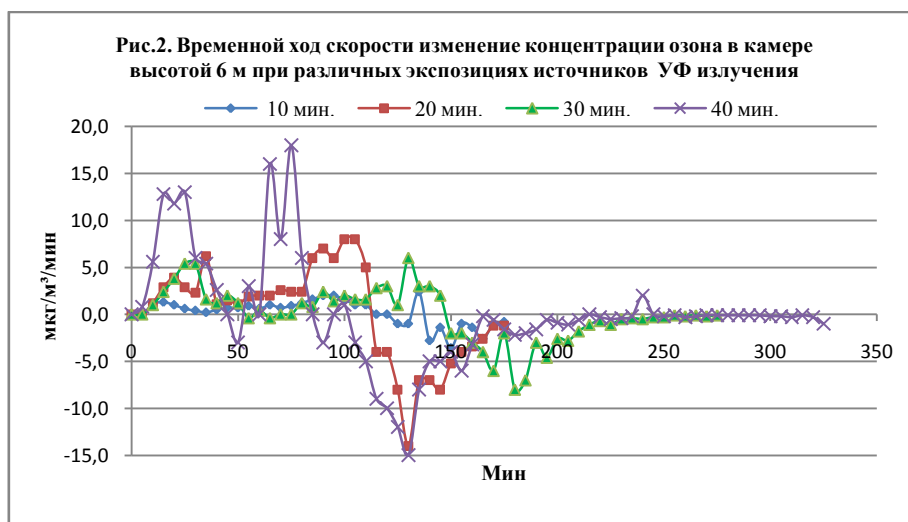
Надо отметить, что перед каждым экспериментом устанавливался такой режим, что концентрация озона внутри объема фактически равнялась нулю. Во всех случаях рост концентрации озона начинался уже после пятой минуты. Скорость роста во всех случаях и на конкретном участке различалась и составляла от 0,4 до 5,4 мкг/м<sup>3</sup> в минуту в течении первого часа.

Во время действия ультрафиолетового излучения максимальная концентрация озона в районе приемной трубки озонметра составила: при 10 минутной экспозиции – 5,5 мкг/м<sup>3</sup>; при 20 минутной экспозиции – 40 мкг/м<sup>3</sup>; при 30 минутной экспозиции – 80 мкг/м<sup>3</sup>; при 40 минутной экспозиции – 130 мкг/м<sup>3</sup>.

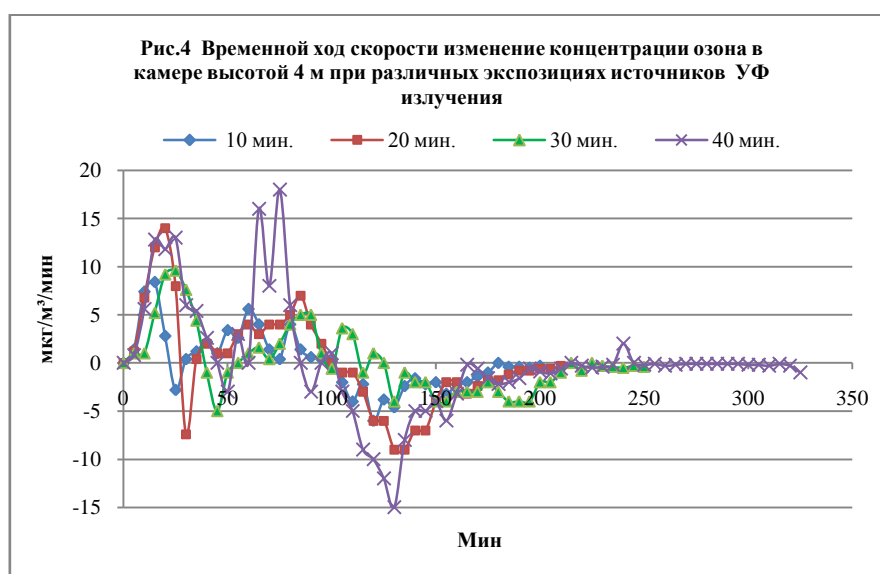
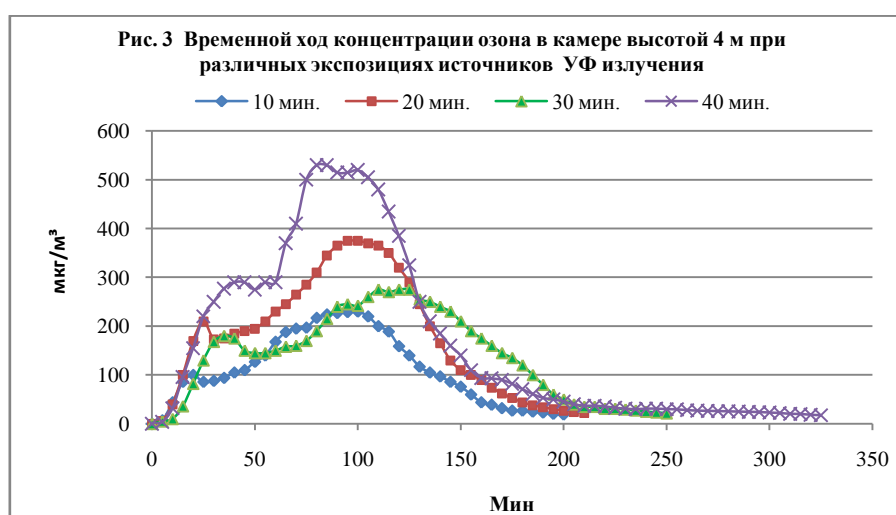
Концентрация в 100 мкг/м<sup>3</sup> достигалась: при 10 минутной экспозиции – через 102 минуты; при 20 минутной экспозиции – через 54 минуты; при 30 минутной экспозиции – через 42 минуты; при 40 минутной экспозиции – через 34 минуты.

Максимальная концентрация озона, достигнутая при 10 минутной экспозиции – 115 мкг/м<sup>3</sup> через 115 минут; при 20 минутной экспозиции – 380 мкг/м<sup>3</sup> через 115 минут; при 30 минутной экспозиции – 270 мкг/м<sup>3</sup> через 150 минут; при 40 минутной экспозиции – 330 мкг/м<sup>3</sup> через 160 минут после начала экспозиции.

Максимальная скорость изменения концентрации озона (рис.2) составила: при росте концентрации – 8 мкг/м<sup>3</sup> в минуту (при 20 минутной экспозиции), а при уменьшении концентрации - 14 мкг/м<sup>3</sup> в минуту (при 10 минутной экспозиции).



Были также проведены аналогичные эксперименты в сокращенном объеме – высота смоговой камеры в этом случае составляла четыре метра вместо шести, т.е. объем камеры уменьшился примерно до  $20 \text{ м}^3$ . Этим мы достигли того, что расстояние от источников ультрафиолетового излучения до приемной трубки озонметра уменьшилось ровно в два раза – с четырех метров до двух, что внесло определенные изменения в результаты экспериментов. Так например, во время действия ультрафиолетового излучения концентрация озона в смоговой камере (рис. 3) составила: при 10 минутной экспозиции –  $44 \text{ мкг/м}^3$ ; при 20 минутной экспозиции –  $170 \text{ мкг/м}^3$ ; при 30 минутной экспозиции –  $168 \text{ мкг/м}^3$ ; при 40 минутной экспозиции –  $290 \text{ мкг/м}^3$ .

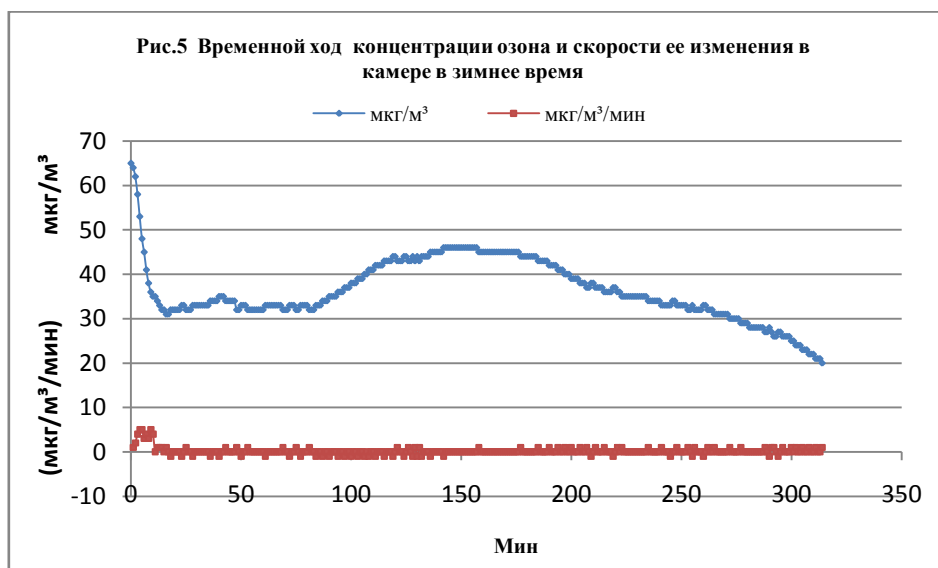


Значение концентрации озона в  $100 \text{ мкг/м}^3$  достигалось: при 10 минутной экспозиции – через 20 минут; при 20 минутной экспозиции – через 15 минут; при 30 минутной экспозиции – через 22 минуты; при 40 минутной экспозиции – через 15 минуты.

Максимальная концентрация озона, достигнутая во время эксперимента составляла: при 10 минутной экспозиции –  $230 \text{ мкг/м}^3$  через 100 минут; при 20 минутной экспозиции –  $375 \text{ мкг/м}^3$  через 95 минут; при 30 минутной экспозиции –  $275 \text{ мкг/м}^3$  через 110 минут; при 40 минутной экспозиции –  $530 \text{ мкг/м}^3$  через 80 минут после начала экспозиции. Таким образом, имеет место как резкое сокращения времени, так и достижение значительно более высоких концентраций озона, чем в шестиметровой камере.

Максимальная скорость изменения концентрации озона (рис. 4) составила: при росте концентрации:  $-42 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 10 минутной экспозиции);  $70 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 20 минутной экспозиции);  $48 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 30 минутной экспозиции), а при 40 минутной экспозиции достигла значения  $90 \text{ мкг/м}^3$  в минуту, а при уменьшении концентрации -  $30 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 10 минутной экспозиции);  $45 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 20 минутной экспозиции);  $30 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 30 минутной экспозиции);  $75 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (при 40 минутной экспозиции).

Основные эксперименты проводились в сравнительно теплое время года, что было обусловлено как предположением, что последующие работы будут проводиться только в теплое время года, так и наличием сравнительно комфортных условий для работы в неотапливаемой термобарокамере. Однако конец 2010 года можно было охарактеризовать как типичный для смоговой погоды – на протяжении почти полутора месяцев наблюдалась безветренная, безоблачная, спокойная погода. Примерно к полудню воздух был настолько насыщен смоговыми аэрозолями, что прозрачность воздуха резко уменьшалась и в нижнем 200-300 метровом слое, особенно в долине реки Куры, не превышала нескольких сотен метров. Поэтому стал актуальным вопрос проведения экспериментов по созданию озона высокой концентрации и его уменьшению и в зимнее время [14]. Проведение экспериментов в зимнее время наложило определённый отпечаток на ход экспериментов, так как температура внутри объема термобарокамеры колебалась в пределах  $1,4 - 1,5$  градуса. Были проведены фоновые эксперименты по определению времени жизни озона. Полученные результаты иллюстрируются графиком на рис.5. Начальная концентрация озона составляла  $60 \text{ мкг/м}^3$ , конечная –  $20 \text{ мкг/м}^3$ . Максимальная скорость снижения концентрации не превышала  $5 \text{ мкг/м}^3$  в минуту (только на начальном этапе). Общее время снижения концентрации превысило пять часов. При этом несколько раз наблюдались небольшие обратные волны, когда в результате флюктуационных процессов, расположенные в верхней части слои воздуха с относительно высокой концентрацией озона перемещались вниз. Как видно, несмотря на то, что удельный вес озона выше, чем у других составляющих воздуха, то тепло, которое выделяется при работе кварцевых ламп, наверно достаточно для того, чтобы теплый озон в течении довольно длительного промежутка времени не перетекал в более низкие слои воздуха.



Проведенные эксперименты показали, что выбранное направление полностью удовлетворяет намеченным задачам – достигнутые максимальные концентрации озона в смоговой камере в несколько раз превышают зафиксированные на территории Грузии максимальные значения концентрации приземного озона [1, 4, 9, 12, 15]. Имеется возможность в случае необходимости создавать значительно более высокие концентрации. Время жизни озона высокой концентрации в смоговой камере достигает нескольких (6-7) часов, что

свидетельствует о хорошем качестве как использованных материалов, так и всей камеры в целом. Проведение экспериментов возможно как во время создания озона (10-40 минут), так и во время переноса озона высоких концентраций от места расположения источников ультрафиолетового излучения в нижележащие слои (80-125 минут) и, самое главное, во время установившегося режима, в течении примерно двух-трех часов.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. - Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере, Тбилиси, Мецниереба, 1991, 113 с.
2. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. – Laboratory Modelling of the Transformation of Microphysical and Electrical Properties of Artificial Water Fogs, Proc. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, pp. 333-335.
3. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A.- Complex for Laboratory Modelling of Microphysical and Electrical Properties of Aerodisperse Formations, Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, p. 54-55.
4. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г. – Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии, Результаты исследований по международным геофизическим проектам, Москва, МГК, 1988, 114 с.
5. Плауде Н.О., Вычужанина М.В., Монахова Н.А., Гришина Н.П. – Микроструктура смога и его вымывание осадками в Московской области в сентябре 2002 года, Метеорология и гидрология, 2003, № 12.
6. Райст П. – Аэрозоли, М., Мир, 1987, 278 с.
7. Детри Ж. – Атмосфера должна быть чистой, М., 1973, 380 с.
8. ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., ჩიხლაძე ვ. - ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში, მონოგრაფია, ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტომი 63, თბილისი, 2012, 160 გვ.
9. Kharchilava J., Chikhladze V., Chochishvili K., Chkhaidze G. – Changeability of Surface Ozone Concentration in Tbilisi in 1984-2010, Proc. Of Int. Conf. “Environment and Global Warming”, Dedicated to the 100<sup>th</sup> Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, pp. 111-116.
10. Senik I.A., Elansky N.F.- Surface Ozone Concentration Measurements at the Kislovodsk High-Altitude Scientific Station: Temporal Variations and Trend. ФАО, 2001, Vol.17, Suppl.1, pp. S110-S119
11. Hwang K.-C., Ma C.-J. – Scavenging Properties of Atmospheric Carbon by Precipitation, Proc. 16<sup>th</sup> Int. Conf. on Nucleation & Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, pp. 702-705.
12. Харчилава Дж.Ф. – Изменчивость концентрации приземного озона в городских и сельских условиях в зависимости от сезона и погодных условий, Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 60, Тбилиси, 2008, с. 270-276.
13. Харчилава Д.Ф., Джинчарадзе А.Х. – Озоногенератор для градуировки озонометрических приборов. Тр. 6-го Всес. Симп., Ленинград, 15-17 мая 1985, Л., Гидрометеоиздат, 1987, с. 63-65.
14. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. - Air Pollution in Tbilisi in the Winter Fogs, Abstr. of the 6th Int. Conf. on Fog, Fog Collection and Dew, Yokohama, Japan, May 19-24, 2013.
15. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхаидзе Г.П. – Особенности изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2012 гг., Межд. научно-техн. конф. «Актуальные проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 100-103.

## მაღალი კონცენტრაციის მიწისპირა ოზონის ლაბორატორიული მოდელირება

ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., ჩიხლაძე ვ.

### რეზიუმე

მოცემულია ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი პროცესების საკვლევი სმოგური კამერის აღწერილობა. მოყვანილია მაღალი კონცენტრაციის ოზონური გარემოს შექმნის მეთოდის, წარმოდგენილია სხვადასხვა ტემპერატურის, გამოყოფილი მოცულობის სხვადასხვა სიმაღლის და სხვადასხვა ექსპოზიციის დროს კონცენტრაციის ზრდის და შემცირების გრაფიკები ზემოქმედების გარეშე. ნაჩვენებია ოზონის კონცენტრაციის შექმნის და შემცირების სიჩქარეები, კონცენტრაციის გარკვეული მნიშვნელობების მიღწევის დრო და აგრეთვე მაქსიმალური მიღებული მნიშვნელობები. ნაჩვენებია ფოტოქიმიურ სმოგზე აქტიური ზემოქმედებისათვის სმოგური კამერის გამოყენების შესაძლებლობა.

## Laboratory Modeling of Surface Ozone of High Concentration

Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V.

### Resume

Description of smog chamber for investigating the processes, which associate with photochemical smog is given. The procedure of obtaining the ozone medium of high concentration is given, the graphs of increase and decrease of concentration at different exposures without the action, different height of the chosen volume and different temperature are represented. The rates of growth and reduction in ozone concentration, the times of the establishment of the given values, and also the maximum concentrations reached are determined. The possibility of using the smog chamber for the experiments of the active action on the photochemical smog is shown.

## Лабораторное моделирование приземного озона высокой концентрации

Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Чихладзе В.А.

### Резюме

Дано описание смоговой камеры для исследования процессов, сопутствующих фотохимическому смогу. Приводится методика получения озонной среды высокой концентрации, представлены графики роста и уменьшения концентрации при различных экспозициях без воздействия, разной высоте выделенного объема и разной температуре. Определены скорости роста и снижения концентрации озона, времена установления заданных значений, а также максимальные достигнутые концентрации. Показана возможность использования смоговой камеры для экспериментов по активному воздействию на фотохимический смог.