

**К. Вароцос, К.Я. Кондратьев**

## ТРОПОСФЕРНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И СОЛНЕЧНОЕ УФ-ИЗЛУЧЕНИЕ

Проведено сравнение поверхностной концентрации озона в прошлом и в наше время в трех точках Европы. Сделан вывод о том, что возрастающее фотохимическое загрязнение атмосферы ослабляет УФ-излучение на поверхности земли.

### 1. Введение

Хорошо известно, что на прохождение УФ-излучения Солнца через атмосферу в основном влияет рассеяние Рэлея, поглощение атмосферным озоном, рассеяние и поглощение аэрозолями и облаками. Если предположить, что высота Солнца, облачность и прозрачность воздуха постоянны, то интенсивность света в диапазоне 280–315 нм (полоса УФ-В) сильно зависит от концентрации озона. Как правило, тренды стратосферного и тропосферного озона противоположны [1,2]. Если увеличение концентрации тропосферного озона приводит к снижению солнечного ультрафиолета в сельских и городских районах, то в тех же пропорциях снижение стратосферного озона приводит к возрастанию УФ-радиации [3, 4].

В данной статье представлен детальный анализ снижения интенсивности света в полосе УФ из-за сильного возрастания концентрации тропосферного озона в Южной Европе начиная с прошлого века.

### 2. Обсуждение и результаты

#### *А. Увеличение поверхностной концентрации озона во времени*

Основываясь на данных нескольких европейских станций второй половины XIX века, Бойков [5] обнаружил, что дневной максимум концентрации озона в среднем составлял от 17 до 23 млрд<sup>-1</sup>, что равно примерно половине от значений, полученных в последние годы в тех же географических районах.

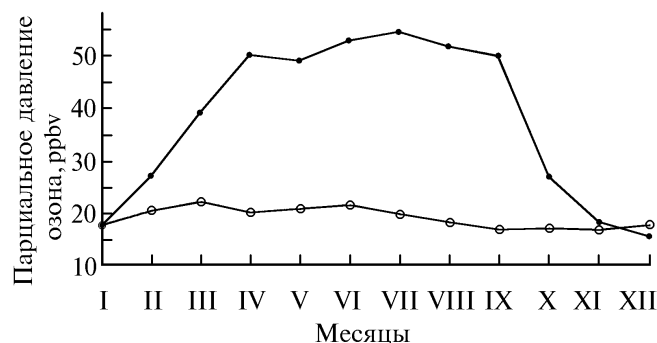


Рис. 1. Усредненные за месяц дневные значения парциального давления озона в Буда (1865–1888) и К-Пуште (1990–1992): Буда (○—○), К-Пушта (●—●)

Бозо и Вейдингер [6] недавно проанализировали измерения поверхностной концентрация озона, проведенные двумя метеорологическими обсерваториями в Венгрии (Буда и Шегед) во второй половине прошлого века. Они обнаружили, что в Шегеде концентрация озона была

выше (средняя за 1853–1861 гг. составила 26,4 млрд<sup>-1</sup> в дневное время и 25,7 млрд<sup>-1</sup> ночью), чем в Буде (средние за 1865–1873 гг. и 1877–1887 гг. 182 млрд<sup>-1</sup> в дневное время и 16,8 млрд<sup>-1</sup> ночью). Они также сравнили предыдущие данные по концентрации озона и полученные в настоящее время на станции экологического мониторинга К-Пушта, начиная с 1990 г. Согласно данным, полученным в последнее время, содержание озона в Венгрии в дневное время достигает 38 млрд<sup>-1</sup>, а в ночное – 24,3 млрд<sup>-1</sup>. На рис. 1 представлены среднемесячные данные для дневной концентрации озона в Буде в 1865–1888 и К-Пуште в 1990–1992 гг. Из рис. 1 видно, что данные, полученные в К-Пуште в 1990–1992 гг. дают значения поверхностной концентрации озона выше, чем измеренные в Буде в 1865–1888 гг. Например, в июле наблюдается секулярное увеличение содержания озона с 20 до 55 млрд<sup>-1</sup>. Такое сильное изменение может быть связано с увеличением концентрации газов, стимулирующих образование тропосферного озона.

Анфосси и др. [7] проанализировали 26-летний ряд (1868–1893 гг.) по дневному содержанию озона в Монкалиери, близ Турина, в Северной Италии. Согласно их результатам, концентрация озона выросла более чем вдвое по сравнению с прошлым веком не только на поверхности, но и в свободной тропосфере. На рис. 2 приведены данные по среднемесячной поверхностной концентрации озона в Монкалиери (1868–1893 гг.) и в долине По, Испре (1986–1989 гг.).

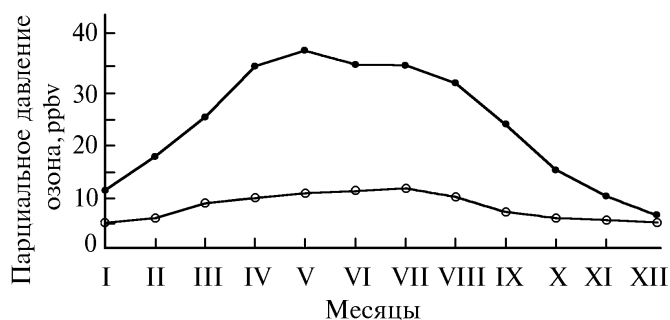


Рис. 2. Среднемесячные значения поверхностной концентрации озона в Монкалиери (1868–1893) и Испре (1986–1989). Монкалиери (o—o), Испра (●—●)

Из рис. 2 видно, что июльский уровень озона, наблюдаемый столетие назад (12 млрд<sup>-1</sup>), резко отличается от значений, зарегистрированных в последние годы (35 млрд<sup>-1</sup>). Такое увеличение следует скорее всего связать с фотохимическим образованием озона (из-за увеличения концентрации таких газов, как NO<sub>x</sub>) и углеводорода.

Вароцос и Картели [8] рассмотрели изменение парциального давления озона в Афинах на основе 40-летнего ряда измерений, проведенных в Национальной обсерватории в Афинах (1901–1940 гг.). Они установили, что средняя концентрация поверхностного озона была примерно 20 млрд<sup>-1</sup> или в два раза меньше той, что наблюдается в последние годы.

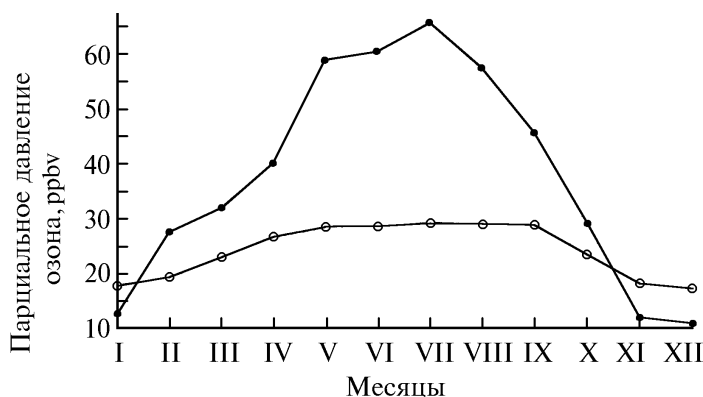


Рис. 3. Усредненные за месяц средние дневные значения содержания поверхностного озона в Афинах (1901–1940). 1901–1940 (o—o), 1987–1990 (●—●)

На рис. 3 представлены усредненные по месяцу средние дневные значения поверхностной концентрации озона в Афинах 1901–1941 и 1987–1990 гг. (Вароцос и др. [9]). Ближайшее рассмотрение этих данных показывает, что июльские значения за период 1901–1940 гг. примерно в три раза меньше, чем в 1987–1990 гг. В связи с этим следует отметить, что Вароцос и др. [10] предложили физико-химическое объяснение такого резкого роста содержания тропосферного озона в Афинах.

#### Б. Оценка снижения интенсивности полосы УФ

Брюлл и Крутцен [11] подчеркивали, что рассеяние света в полосе УФ, достигающего нижних слоев тропосферы, значительно изменяет среднюю длину прохождения излучения через тропосферный озон. При значении зенитного угла меньше  $60^\circ$  глубина проникновения диффузного света обычно больше, чем прямого солнечного излучения. Следовательно, для точек наблюдения и сезонов, когда солнечные углы меньше  $60^\circ$ , тропосферный озон поглощает ультрафиолет более эффективно, чем стратосферный озон.

Принимая во внимание резкое увеличение концентрации озона во многих частях Европы (см. п. <A>), представляется важным оценить соответствующее снижение интенсивности биологически активной УФ-радиации, достигающей земли. При этом можно считать парциальное давление озона постоянным от поверхности земли до высоты 10 км, по крайней мере для средних широт (Вароцос и др.) [12]. Так, на рис. 4 представлена зависимость дневной дозы воздействия ДНК от концентрации тропосферного озона в предположении, что парциальное давление озона постоянно между 0 и 10 км для  $40^\circ$  северной широты (Сетлоу, 1974; UNEP, [13, 3]).

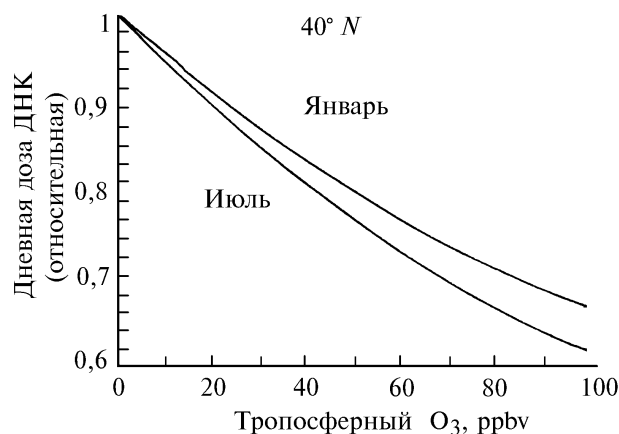


Рис. 4. Влияние тропосферного озона на дозу ультрафиолета в полосе УФ, необходимую для разрешения ДНК, рассчитанную исходя из предположения, что парциальное давление озона постоянно от уровня моря до высоты 10 км

В табл. 1 обобщаются результаты, полученные при сравнении поверхностной концентрации озона в трех точках Европы в прошлом и в наши дни в соответствии с обсуждением, проведенным в п. <A>.

Таблица 1

Среднее дневное парциальное давление озона в июле в прошлом и в наши дни

Местоположение	Период	O <sub>3</sub> , ppbv	Период	O <sub>3</sub> , ppbv	
Монкалиери	1868 – 1893	12	1986 – 1989	35	10,6
Афины	1901 – 1940	28	1987 – 1990	65	19,1
Буда (К-Пушта) Венгрия	1865 – 1888	20	1990 – 1992	55	17,5

Используя информацию табл. 1, чтобы определить дозу воздействия на ДНК в соответствии с рис. 4, можно получить процент снижения этой дозы.

Анализ табл. 2 показывает, что солнечная УФ-радиация на поверхности в городском районе Афин снижается быстрее, чем в полугородской местности Монкалиери и Буды. Таким

образом, гипотеза о том, что повышающийся уровень фотохимического загрязнения приводит к фильтрации солнечного ультрафиолета и к ослаблению его интенсивности на поверхности земли, вновь подтвердилась.

Т а б л и ц а 2

Сравнение снижения дневного воздействия дозы ДНК

Местоположение	Снижения дозы ДНК, %	
	за весь период	за декаду
Монкалиери (Италия)	10,6	0,9
Буда (Венгрия)	17,2	1,4
Афины (Греция)	19,1	2

1. Kondratyev K. Ya. Global Ozone Dynamics. Moscow, VINITI. 1989. 212 p.
2. Varotsos C. and Cracknell A. P. // Int. J. Rem. Sens., 1993. V. 14. P. 2053–2059.
3. UNEP. Environment Effects of Ozone Depletion: 1991 Update, J.C. van der Leun, M. Terini and R.C., Worrerst (eds). United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1991.
4. Varotsos C. Solar ultraviolet radiation and total ozone, as derived from satellite and ground-based Instrumentation // Geophys. Res. Lett., in press (1994).
5. Bojkov R. D. // J. Clim. Met. 1986. V. 25. P. 343–352.
6. Bozo L., Weidinger T. Tropospheric ozone measurements over Hungary in the 19th century. Atm. Environment, submitted. 1993.
7. Anfossi D., Sandroni S., and Variengo S. // J. Geophys. Res., 1991. V. 96. N 17. P. 349–17, 352.
8. Varotsos C. and Cartalis C. // Atmos. Res. 1991. V. 26. P. 303–310.
9. Varotsos C., Asimakopoulos D.N., Katsambas A. and Stratigos J. On the ozone-related changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface. Tox. Env. Chem., in press (1994a).
10. Varotsos C., Kalabokas P., Vlasi A., Katsambas A., Stratigos J. and Antoniou C. The biologically active solar ultraviolet radiation in relation to the tropospheric ozone and the wind field. Tox. Env. Chem., submitted (1994b).
11. Bruhl C. and Crutzen P. J. // Geophys. Res. Lett. 1989. V. 16. P. 703–706.
12. Varotsos C., Kalabokas P., and Chronopoulos G. // Atmos. Res. 1993. V. 30. P. 151–155.
13. Setlow R. B. The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: A Theoretical analysis, in Proceedings of the U.S.A. National Academy of Science. 71. 1974. P. 3363–3366.

Афинский университет, отдел прикладной физики  
НИИ Центр экологической безопасности, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию  
1 апреля 1994 г.

C. Varotsos, K. Ya. Kondratyev. **The Tropospheric Pollution and the Solar Ultraviolet Radiation.**

A comparison between the historic and present records of the surface ozone concentration at three European locations has been performed. The conclusion that increased photochemical pollution acts as a filter to deplete the solar ultraviolet radiation at the surface has been substantiated.