

**В.В. Зуев, В.Н. Маричев, С.И. Долгий, Е.В. Шарабарин**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ЛИДАРНОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ОЗОНА И ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ**

Приводятся результаты лидарного зондирования озона и температуры в тропосфере и стратосфере. Используя в одном лидарном комплексе каналы дифференциального поглощения, рэлеевского и рамановского рассеяния света, удалось одновременно получить профили озона в интервале высот 13–31 км и температуры в интервале высот 14–40 и 3–14 км. Обнаружено очень большое содержание озона в слое 13–24 км. В этой же области высот по температурному профилю наблюдалось значительное потепление на 8–10°C, что, по мнению авторов, объясняется нагревом за счет поглощения озоном солнечной радиации.

В нижней части температурного профиля 3–8 км наблюдается понижение температуры на 10–12°C, что согласуется с условием антициклона, когда температура на уровне Земли опускалась до –30°C. Проведенный эксперимент подтвердил серьезные основания в использовании лидарной техники для исследования связей географических параметров атмосферы.

Современное развитие лидарной техники привело к возможности одновременных измерений нескольких компонент и характеристик атмосферы. Так, используя эффекты аэрозольного, молекулярного, комбинационного рассеяния и дифференциального поглощения света, можно на едином лидарном комплексе получать вертикальные профили озона, температуры и аэрозольной стратификации. Такие лидарные комплексы функционируют в известных обсерваториях Столовая Гора (США), Верхний Провэнс (Франция), Хоэнпассенберг (Германия), Цукуба (Япония) [1] и широко представлены в сети обнаружения стратосферных измерений (NDSC) [2]. В настоящей статье описываются результаты эксперимента по одновременному зондированию озона и температуры в тропосфере и стратосфере, полученные на лидаре с приемным зеркалом диаметром 1 м, входящем в состав Сибирской лидарной станции (Томск, 57°N, 85°E) [3]. В лидаре в качестве передатчика использовался эксимерный ХеСl-лазер с длиной волны 308 нм и ВКР-преобразователем на H<sub>2</sub> с длиной волны 353 нм. Общая энергия импульса излучения лазера составляла 70–100 мДж, частота посылок 40–60 Гц, расходимость излучения на уровне 0,5 не превышала 0,2 мрад. Данный лидар был дополнен приемным каналом спонтанно-комбинационного рассеяния (СКР) света на первом колебательно-вращательном переходе молекул азота. Таким образом, по эхосигналам на длинах волн 308 и 353 нм, используя дифференциальную методику измерений и обработки данных, восстанавливались вертикальные профили озона, по рэлеевским эхосигналам на длине волны 353 нм восстанавливались температурные профили в стратосфере, и, наконец, по рамановским сигналам на 384 нм восстанавливались профили температуры в тропосфере. Кроме того, по эхосигналам на длине волны 353 нм рассчитывались профили отношения рассеяния для оценки и учета аэрозольного рассеяния.

В проводимом в ночное время эксперименте были получены профили озона в интервале высот 12–31 км, и два температурных в интервалах высот 3–14 и 14–40 км. Время накопления составляло 50, 25 и 25 мин соответственно. Пространственное разрешение при приеме эхосигналов было 100 м.

Результаты эксперимента приведены на рис. 1 и 2. Согласно рис. 1 наблюдается уникальная ситуация в распределении озона, которая выражается в значительном превышении концентрации озона в слое 12–24 км по сравнению с модельным распределением. Так, в максимуме слоя на высоте 18 км она доходит до отметки  $7,8 \cdot 10^{12}$  мол/см<sup>3</sup>, что значительно больше концентрации в максимуме слоя по модели Крюгера ( $H = 22$  км,  $4,9 \cdot 10^{12}$  мол/см<sup>3</sup>). Проведенные дневные измерения общего содержания озона сетевым прибором М-124 также показали очень высокое значение – 464 Д.е. Пересчитанное нами по измеренной оптической толщине в слое 15–30 км ОСО с учетом среднестатистического содержания озона в слоях для средних

высот северного полушария [4] дало величину 450 Д.е. С учетом некоторого временного раз-  
носа измерений ( $\approx 4-6$  ч) и вероятных статистических отклонений результаты лидарных и  
озонметрических данных находятся в хорошем соответствии.

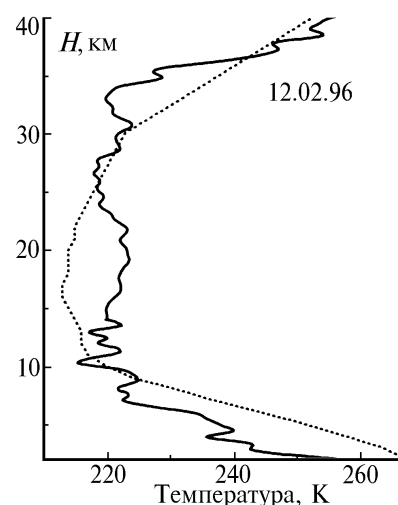
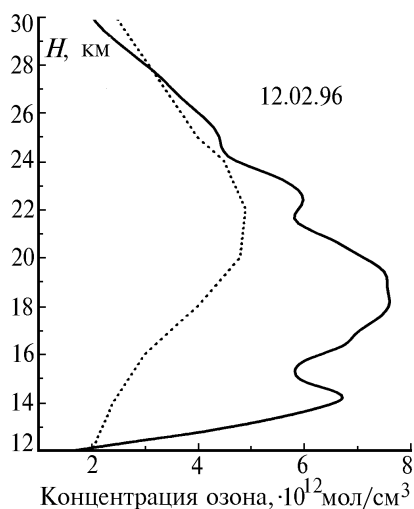


Рис. 1. Высотный профиль озона. Сплошная линия – лидарный, точечная – модельный профили

Рис. 2. Высотный профиль температуры. Сплошная линия – лидарный профиль, точечная – модельный

Отметим также, что для оценки погрешности измерений лидарных профилей концентрации озона нами ранее (июль 1996 г.) были проведены поверочные испытания. В них одновременно с серией лидарных наблюдений было совершено два запуска озонозондов. Сравнение лидарных и озонозондовых профилей в интервале высот 15–35 км показало, что максимальное расхождение между ними составляло  $0,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . В пересчете на приводимый в статье профиль озона за 12.02.96 г. для указанного интервала высот погрешность не превышала 12%.

Перейдем к рассмотрению температурных профилей (рис. 2). Следует отметить, что совпадение начала «рэлеевского» профиля температуры с вершиной «рамановского» профиля на высоте 14 км говорит о достаточном качестве измерений. Оценка максимальных среднеквадратичных ошибок измерений температуры составляла 2 К для верхнего профиля и 3 К для нижнего. В тропосфере (см. нижнюю часть рис. 2) заметно отклонение лидарного профиля температуры от модельного (обозначен точками) в сторону меньших значений температур на 10–12 К. Такое распределение температуры согласуется с общей синоптической ситуацией, когда в условиях антициклона произошло сильное понижение температуры, которая на уровне земли опускалась до  $-30^\circ\text{C}$ . Далее, существование устойчивого антициклона привело к условиям, в которых работала радиационная модель атмосферы. Так, обращает на себя внимание факт заметного повышения температуры на 10 К по сравнению с модельной в области высот 13–24 км. Здесь проявляется геофизический фактор потепления атмосферы. Если возвратиться к рис. 1, то заметим, что именно в этой области высот происходит накопление большого количества озона. Поэтому наиболее вероятная причина отмеченного потепления в стратосфере связана с нагревом, вносимым озоном за счет поглощения солнечной радиации. В целом проведенный эксперимент подтвердил большие возможности лидарной техники в исследовании связей геофизических параметров атмосферы одновременно в широком интервале высот.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант N 96-05-64282) и Министерства науки России (рег. N 01-64) на установке Сибирская лидарная станция.

1. Third International Lidar Researcher Director Compiled by M.P. McCormick. NASA, Hampton, Virginia 23681-0001, 1993.
2. Network for Detection of Stratospheric Change (NDSC). Informational brochure, June 1992.
3. Бурлаков В.Д., Ельников А.В., Зуев В.В., Маричев В.Н., Правдин В.Л. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N. 10. С. 1022–1027.
4. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 208 с.

V. V. Zuev, V. N. Marichev, S. I. Dolgii, E. V. Sharabarin. **Results of the Experimental Investigation of Ozone and Temperature in the Troposphere and Stratosphere Using Lidar Sounding.**

The paper presents the results of lidar sounding of ozone and temperature in the troposphere and stratosphere. Using the channels of differential absorption, Rayleigh and Raman light scattering in one lidar complex, we succeeded in simultaneous obtaining of ozone profiles in the altitude range from 13 to 31 km as well as the temperature profiles in the altitude ranges from 14 to 40 km and from 3 to 14 km. Very significant ozone content was observed in the layer from 13 to 24 km. At the same altitudes, based on the temperature profile, we observed a considerable temperature rise to 8–10°C, that, in the authors' opinion, is due to the heating caused by the solar radiation.

In the lower part of the temperature profile from 3 to 8 km we observed the 10°C to 12°C temperature decrease that agreed well with the anticyclone condition, when the temperature at the Earth's level decreased to –30°C. The experiment carried out clearly showed the use of lidar technique for investigation of the connection between the geophysical atmospheric parameters to be justified.