

**Г.А. Жеребцов, Э.С. Казимировский, В.Д. Кокоуров, В.В. Кошелев**

## **ИЗУЧЕНИЕ ОЗОННОЙ ПРОБЛЕМЫ В ИНСТИТУТЕ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ СО РАН**

Представлены первые результаты изучения озонной проблемы в ИСЗФ СО РАН (Иркутск). Описаны вариации общего содержания озона над Восточной Сибирью по данным сети озонметрических станций и по спутниковым измерениям (<NIMBUS-7>, TOMS, NASA – США). Обсуждаются орографические эффекты в распределении озона и возможная связь озона с параметрами нижней ионосферы. Перспективы исследований связываются с организацией спутникового мониторинга и расширением экспериментальной базы для наземных измерений озона.

В процессах передачи и трансформации энергии от Солнца к Земле активным и важным звеном является средняя атмосфера (область атмосферы, лежащая между тропопаузой и турбопаузой, т.е. примерно в интервале высот 10–100 км), представляющая собой слой озона, сосредоточенный главным образом в стратосфере, с максимумом содержания на высотах 20–25 км. При изучении физики верхней и средней атмосферы и в ряду глобальных экологических проблем исследование атмосферного озона занимает особое место. Интерес к озонной проблеме обусловлен необходимостью иметь надежную модель верхней и средней атмосферы на основе ясного понимания всей совокупности сложных физико-химических процессов, протекающих в ней, а также серьезными последствиями возможных антропогенных воздействий на слой озона.

Стратосфера вообще и стратосферный озон в частности играют существенную роль в формировании климата планеты, озон может рассматриваться как возможный связующий механизм между солнечной активностью и погодно-климатическими изменениями. Вариации распределения или концентрации озона становятся причиной изменения количества солнечной радиации (прежде всего ультрафиолетовой), степени нагрева стратосферы и последующих вариаций атмосферной циркуляции. Важная роль стратосферного озона состоит в том, что этот слой является буферной зоной, где приток энергии от внешних источников моделируется, фильтруется, а затем передается в тропосферу (или отражается от нее).

В настоящее время общепризнано, что динамика слоя озона чувствительна и к природным (космическим, метеорологическим, орографическим, тектоническим и т.п.), и к антропогенным воздействиям. В целом ситуация с изучением озона может служить наглядной иллюстрацией сохраняющегося несовершенства глобальной системы наблюдений окружающей среды и серьезных пробелов в теоретических и экспериментальных исследованиях процессов, происходящих в атмосфере.

Главная трудность, конечно, заключается в сложности взаимодействующих динамических, радиационных, фотохимических процессов (рис. 1). Кроме этого, создание адекватных глобальных моделей тормозится отсутствием надежных экспериментальных данных для многих регионов планеты, что постоянно отмечается в решениях международных научных организаций и конференций. К таким регионам относятся и обширные территории Восточной Сибири. А между тем этот регион во многих отношениях представляет особый интерес, например как область стационарного антициклона в центре азиатского материка. Именно в этом регионе недавно, зимой – весной 1995 года, наблюдались рекордно низкие значения общего содержания озона (на 30–25% ниже многолетней нормы) [1].

Институт солнечно-земной физики СО РАН, расположенный в Восточной Сибири, обладает уникальным комплексом приборов для изучения солнечной и геомагнитной активности, физики ионосферы и средней атмосферы и базой данных многолетних однородных наблюдений. Дополнение этого комплекса измерениями озона, наземными и спутниковыми, а также анализ пространственно-временных вариаций озона с учетом воздействия внешних факторов, получение новой информации о региональных особенностях этих вариаций, о взаимосвязи процессов



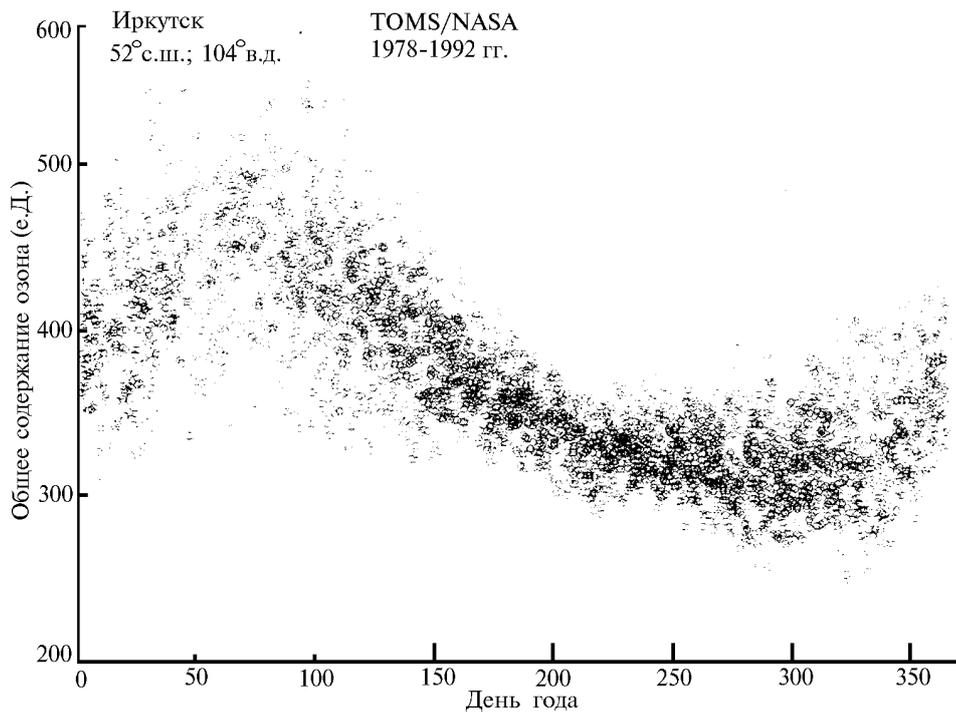


Рис. 2. Усредненный годовой ход общего содержания озона над Иркутском

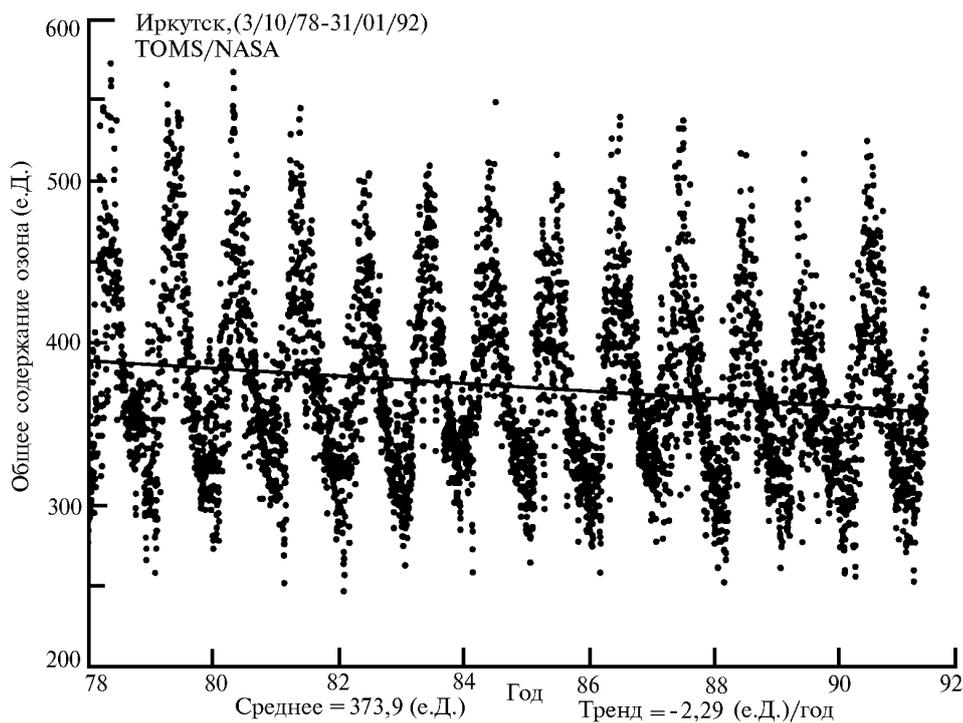


Рис. 3. Вариации среднемесячных значений общего содержания озона над Иркутском

На рис. 3 тот же массив представлен по годам с оценкой тренда ( $-2,29$  е.Д. в год) при среднем значении  $373,9$  е.Д.

## 2. Орографические эффекты

В ряде работ отмечено, что величина ОСО над горами систематически ниже, чем над окружающими их равнинными районами, причем эта разница значительно выше, чем та, которая

может быть связана с содержанием озона в тропосфере, часть которой занята горными массивами. Мы проверили эту ситуацию по вариациям среднемесячных значений ОСО в период 1979 – 1992 гг. для горных массивов: Памир в восточном полушарии и Анды в западном полушарии [5]. Использовалась при этом база данных, полученных спектрометром TOMS [4]. Действительно, систематическое уменьшение ОСО над горными массивами по сравнению с лежащими к западу от них равнинными районами наблюдается для Памира и особенно четко для меридионально вытянутой горной цепи Анды. На рис. 4 показан усредненный за весь период наблюдений годовой ход ОСО для трех точек: 16,5°ю.ш.; 68,1°з.д. – горы; 16,5°ю.ш.; 78,1°з.д. – океан к западу; 16,5°ю.ш.; 58,1°з.д. – равнина к востоку. Эффект очевиден.

Наблюдаемые эффекты могут быть связаны с вертикальным распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ), возникающих при взаимодействии горизонтального воздушного потока (общая циркуляция, направленная с запада на восток) с препятствием в виде горного массива. Тот факт, что при восходящих движениях общее содержание озона уменьшается, хорошо известен. ВГВ могут переносить энергию в стратосферу и даже в мезосферу и диссипировать на этих высотах, нагревая атмосферу. Изменения температуры могут стать, в свою очередь, причиной изменения скорости реакции озонного цикла. Известно также, что ВГВ, возникающие в стабильно стратифицированной атмосфере, когда ветер ортогонален орографии, могут распространяться в среднюю атмосферу и даже влиять на образование так называемых полярных стратосферных облаков, играющих существенную роль в химии и динамике высокоширотного озона.

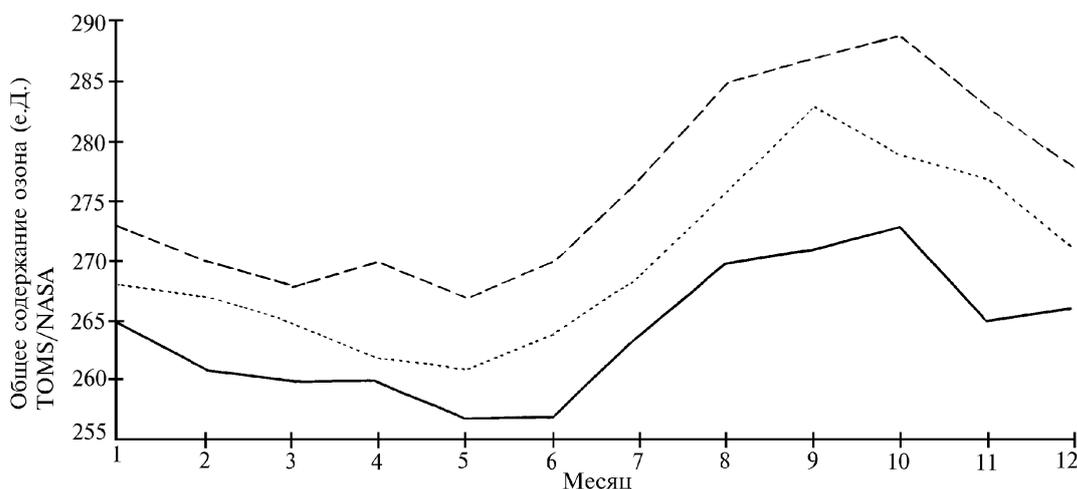


Рис. 4. Усредненный годовой ход общего содержания озона над горной системой Анды и прилегающими равнинными районами. Штриховая линия – 16,5°ю.ш., 78,1°з.д.; сплошная линия – Анды, 16,5°ю.ш. 68,1°з.д.; точки – 16,5°ю.ш., 58,1°з.д.

Ясно, однако, что делать однозначные выводы пока рано. Для более полного анализа необходимо тщательное изучение метеорологической обстановки в исследуемых районах и сопоставление высотных профилей ветра, температуры и концентрации озона, измеренных одновременно. Необходим и анализ для большего числа различных регионов.

### 3. О возможной связи стратосферы с нижней ионосферой

В настоящее время ведутся интенсивные исследования взаимодействия различных слоев земной атмосферы, в том числе взаимодействия ее ионизованных областей (ионосферы) с нижележащей нейтральной атмосферой. Метеорологическим эффектам в ионосферных процессах посвящена обширная литература [6, 7]. Одним из методов оценки физических параметров самой нижней части ионосферы, области Д (60–100 км), является измерение поглощения коротких и средних радиоволн при ионосферном распространении. Была замечена корреляция между квазипериодическими вариациями поглощения радиоволн и ОСО в средних широтах и рост ОСО в периоды аномального повышения поглощения радиоволн. В нашем распоряжении оказался массив данных по поглощению радиоволн и ОСО для нескольких среднеширотных радиотрасс в центральной, восточной и юго-западной Европе. Используя среднемесячные

значения обоих параметров за 27 месяцев в период минимума солнечной активности (январь 1984 – март 1986), мы обнаружили статистически значимую корреляцию между вариациями ОСО как индикатора стратосферных процессов и поглощения радиоволн как индикатора ионосферных процессов (прежде всего электронной концентрации), причем изменения в ионосфере опережают изменения в озоне на 20–40 суток [8]. Мы пытались интерпретировать наблюдаемую корреляцию как следствие вертикального распространения долгоживущих малых газовых составляющих и прежде всего  $\text{NO}_x$  из нижней ионосферы вниз в стратосферу. Эти соединения играют существенную роль и в химии области Д, и в химии стратосферного озона. Временной сдвиг хорошо согласуется с известными скоростями вертикального ветра (несколько см/с). Конечно, и эти результаты следует рассматривать как предварительные, требующие проверки на более обширном материале и дальнейших исследований.

#### 4. Спутниковый мониторинг

В ИСЗФ СО РАН недавно создан аппаратно-программный комплекс приема и обработки данных дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли от ИСЗ серии NOAA (США) [9]. Спутники обращаются на почти круговых орбитах с высотой 850 км, наклонение орбиты  $98^\circ$ . Поскольку в настоящее время на орбите находится два спутника, это позволяет получать информацию в Иркутске в различных спектральных диапазонах с периодичностью 4 раза в сутки.

Аппаратура, установленная на спутниках AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и TOVS (TIROS Operation Vertical Sounder), дает данные об альбедо, температуре поверхности Земли, воды и облаков, вертикальных профилях температуры и влажности от поверхности до высоты 50 км, полях атмосферного давления, скорости и направлениях геострофического ветра, а также о полном содержании озона.

Использование системы мониторинга в совокупности с уже имеющимися приборами открывает перспективу комплексного изучения физики нижней и верхней атмосферы.

Авторы благодарны Национальному центру данных по космическим исследованиям, NASA, США за возможность использования данных NIMBUS – TOMS, а также сотрудникам ИСЗФ СО РАН Н.Н. Колпакиди, Г.В. Вергасовой, Г.К. Матафонову за помощь в подготовке рукописи к печати.

1. Божков Р.Д., Фиолетов В.Э., Кадыгрова Т.В. и др. // Метеорология и гидрология. 1995. № 9. С.30–39.
2. Колпакиди Н.Н., Кошелев В.В., Матафонов Г.К. и др. Вариации общего содержания озона над Восточной Сибирью по данным сети озонметрических станций. Иркутск, 1995. 28 с. (Препринт/Ин-т солн.-земн. физ. СО РАН, № 3–95).
3. Holton J. R. An Introduction to Dynamic Meteorology. N.Y.: Acad. Press. 1972. 319 p.
4. The NIMBUS 7 user's guide // NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA, 1991. P. 35.
5. Данилов А.Д., Казимировский Э.С. де ла Морена Б.А. и др. // Геомагн. и аэрон. 1995. Т. 35. № 3. С. 108–115.
6. Kazimirovsky E.S., Vergasova G.V., Khachikijan G.Ya. et al. // J. Atmos. Terr. Phys. 1982. V.44. N 11. P. 913–925.
7. Казимировский Э.С., Кокоуров В.Д. // Геомагн. и аэрон. 1995. Т. 35. № 3. С. 1–23.
8. Alberca L., Gil M., Kazimirovsky E. et al. // Adv. Space Res. 1996. V. 18. N 3. P. 141–144.
9. Жеребцов Г.А., Кокоуров В.Д., Кошелев В.В., Минько Н.П. // Исследование Земли из космоса. 1995. № 5. С. 74–77.

Институт солнечно-земной физики СО РАН,  
Иркутск

Поступила в редакцию  
27 марта 1996 г.

G.A. Zherebtsov, E.S. Kazimirovsky, V.D. Kokourov, V.V. Koshelev. **The Investigation of Ozone Problem at the Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Department, Russian Academy of Science.**

The preliminary results of ozone problem investigation at ISTP, Irkutsk, are presented. The variations of the total ozone content over East Siberia are described on the base of network of the groundbased ozonometer stations data and the satellite measurements (NIMBUS-7, TOMS, NASA-USA). The orographical effects in the ozone distribution and the possible relationship with the lower ionosphere parameters are considered. The perspectives of the investigations are connected with the organization of satellite monitoring and the improvement of the ozone measurements.