

В.В. Зуев, С.И. Долгий, О.Е. Баженов

## Климатология и тренды стратосферного озона над Томском за период 1996–2002 гг.

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 22.01.2004 г.

Для периода фонового, невозмущенного вулканическим извержением состояния стратосферы в 1996–2002 гг. анализируются полученные в Томске (56,5° с.ш., 85,1° в.д.) данные лидарных измерений вертикального распределения озона и спектрофотометрических измерений его общего содержания. Рассматриваются внутригодовые и межгодовые изменения и тренды общего содержания и вертикального распределения озона в стратосфере. Показано, что состоящие и значимые изменения озоносферы в основном формируются в ее нижней части, где преобладающую роль играет динамический фактор.

### Введение

Состояние стратосферного озонового слоя (озоносферы) анализируется в основном по результатам измерений общего содержания озона (ОСО) на пунктах озонметрических сетей или из космоса. Измерения вертикального распределения озона (ВРО) в стратосфере проводятся значительно реже и на небольшом числе пунктов преимущественно контактным методом с помощью озонзондов или, еще реже, дистанционным методом с помощью лидаров. Лидарные измерения ВРО осуществляются на основе метода дифференциального поглощения рассеянной назад энергии лазерного излучения в УФ-диапазоне спектра, где расположены полосы поглощения озона Хартли–Хаггинса [1]. Лидарные сигналы, отраженные назад из стратосферы, настолько слабые, что могут быть зарегистрированы только в режиме счета отдельных фотонов при безоблачном небе в условиях минимума фоновых засветок, т.е. в темное время суток. Во второй половине 80-х гг. в единичных обсерваториях начались регулярные лидарные наблюдения озоносферы, что позволило уже к концу первой половины 90-х гг. впервые провести климатологические исследования сезонных вариаций и оценить тренды ВРО в стратосфере на основе лидарных данных [2–5]. В Томске (56,5° с.ш., 85,1° в.д.) регулярные лидарные измерения ВРО в стратосфере осуществляются на Сибирской лидарной станции (СЛС) ИОА СО РАН с 1989 г. [1]. Как известно, в течение довольно длительного периода 1991–1995 гг. глобальная стратосфера, включая озоносферу, находилась в возмущенном состоянии после мощнейшего извержения вулкана Пинатубо в июне 1991 г. Поэтому для анализа климатологии и трендов невозмущенного стратосферного озона необходимо ограничиваться началом рядов лидарных измерений ВРО с 1996 г.

В 1998 г. мы провели усовершенствование УФ-канала СЛС путем установки более мощного эксимерного лазера LPX-120i фирмы «Lambda Physik», а чуть позже более чувствительных фоторегистраторов лидарных сигналов на основе счетных ФЭУ и усилителей-дискриминаторов фирмы «Hamamatsu». Все это значительно упростило поддержание дежурного режима лазерного зондирования озоносферы. За период 1996–2002 гг. нам удалось накопить 299 репрезентативных профилей ВРО. Их распределение по месяцам за каждый год в этот период представлено на рис. 1.



Рис. 1. Распределение числа профилей ВРО, полученных на СЛС с 1996 по 2002 г. в каждом месяце

Несмотря на пропуски в лидарных наблюдениях 1996–2002 гг., связанные как с погодными условиями, так и с наложениями периодов экспедиционных работ и отпусков, в табл. 1 представлены данные лидарных наблюдений озоносферы за все месяцы рассматриваемого года.

Таблица 1

1996–2002 гг.	Количество профилей	1996–2002 гг.	Количество профилей
Январь	39	Июль	18
Февраль	48	Август	19
Март	40	Сентябрь	15
Апрель	27	Октябрь	18
Май	22	Ноябрь	14
Июнь	16	Декабрь	23

### Внутригодовая изменчивость стратосферного озона

На рис. 2, а приведены среднесезонные за период наблюдений профили ВРО над Томском, а на рис. 2, б – профили их среднеквадратических отклонений (СКО). Видно, что максимальная изменчивость ВРО регистрируется в нижней стратосфере, где озон играет роль пассивного трассера циркуляционных процессов. Она возрастает в весенне-зимние периоды, когда усиливается меридиональная

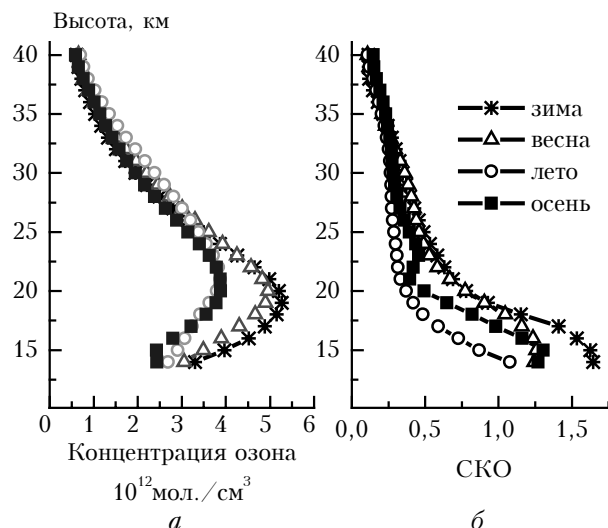


Рис. 2. Среднесезонные профили ВРО над Томском (1996–2002 гг.) (а) и профили их среднеквадратических отклонений (б)

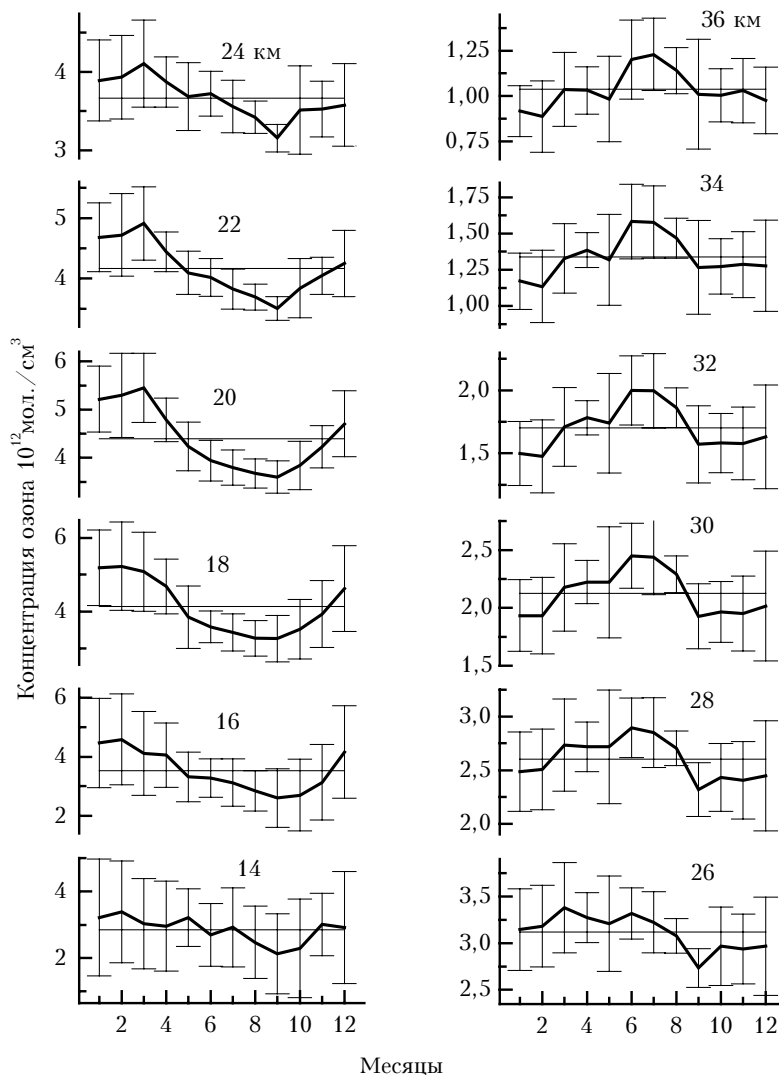


Рис. 3. Внутригодовая изменчивость стратосферного озонового слоя на разных высотах. Тонкая горизонтальная линия – среднее значение

циркуляция. Для детализации климатологии ВРО в стратосферном озоновом слое на рис. 3 приведены внутригодовые ходы концентраций озона на разных высотах. В целом видно, что в нижней стратосфере на высотах ниже 26 км внутригодовые изменения концентраций озона характеризуются максимумом весной и минимумом осенью, а на высотах более 26 км максимум смещается на лето, а минимум — на зиму. Такое поведение озоносферы над Томском в целом повторяет результаты, полученные на основе лидарных данных в Германии [4] и Японии [5]. Как отмечалось в [4], на высоте 26 км, в районе которой расположена велопауза, озонсфера разделяется на две части: внизу ее поведение определяется в основном динамическими процессами, а сверху — фотохимическими. Более детальное рассмотрение внутригодовых изменений ВРО, изображенных на рис. 3, позволяет выделить следующие моменты:

а) на высоте 14 км, где, по-видимому, еще значительно влияние колебаний высоты тропопаузы, не наблюдается локализованный максимум;

б) в диапазоне до 18 км включительно максимум сезонных колебаний приходится на февраль, а в диапазоне 20–26 км — на март.

На рис. 4 изображен годовой ход ОСО, обобщенный по результатам независимых измерений, проводимых на СЛС с помощью озонметра М-124 в рассматриваемый период 1996–2002 гг. Из сравнения рис. 3 и 4 видно, что наибольшее соответствие внутригодовых изменений ВРО с годовым ходом ОСО наблюдается в высотном диапазоне 20–24 км, особенно на высоте 22 км.

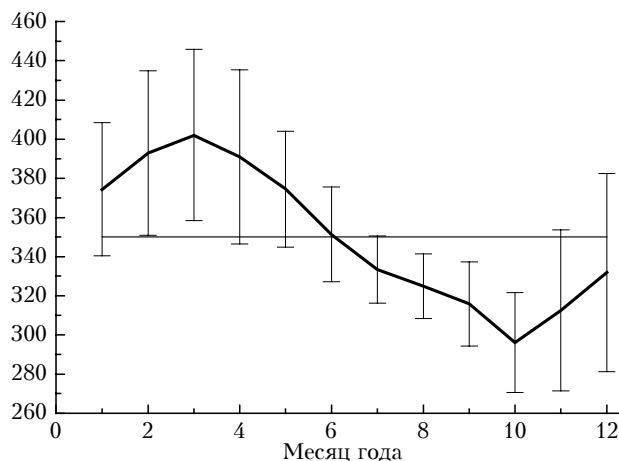


Рис. 4. Годовой ход ОСО по данным спектрофотометрических измерений. Тонкая горизонтальная линия — среднее значение

### Межгодовая изменчивость и тренды стратосферного озона

На рис. 5 изображены среднегодовые профили ВРО в стратосфере над Томском в сравнении со среднегодовым профилем ВРО по модели Крюгера [6], который используется как репер. Высота стратосферного озонового максимума над Томском ниже, чем у модели Крюгера, что обусловлено климатической предрасположенностью Томского региона к субарктическим областям [1]. На рис. 5 видно, что

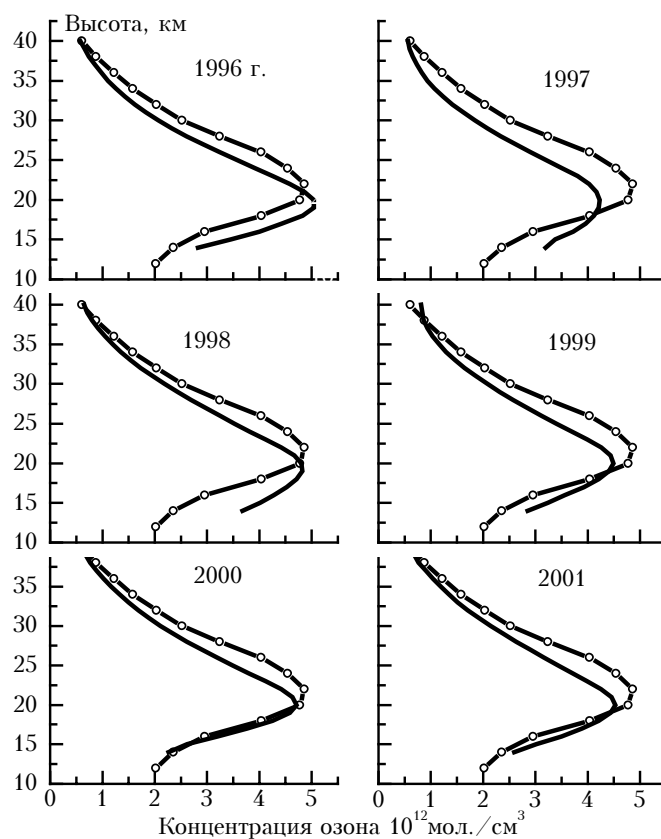


Рис. 5. Среднегодовые профили ВРО в сравнении с моделью Крюгера: — среднегодовой профиль; - ○ - модель Крюгера

межгодовое колебание максимума озоносферы происходит с чередованием максимальных значений концентраций в четные и минимальных — в нечетные годы. Это колебание отражает известный квазидвухлетний цикл (КДЦ) стратосферной циркуляции. Принимая во внимание КДЦ колебаний озоносферы, для оценки трендов стратосферного озона на разных высотах удобнее рассматривать ряды лидарных измерений ВРО, кратные двум годам.

На рис. 6, *a* изображен профиль трендов стратосферного озона над Томском, рассчитанный по среднегодовым значениям ВРО за шестилетний период (март 1996 — февраль 2002 гг.). На всех высотах тренды оказались статистически незначимыми. При этом в нижней части озоносферы они характеризуются отрицательными значениями, а в верхней — положительными. В районе локализации стратосферного озонового максимума (~ 20 км) значения отрицательных трендов невелики ( $-0,32\%$  в год). Эти результаты согласуются с незначительным статистически незначимым трендом ОСО [ $(0,01 \pm 0,026)\%$  в год] за этот же шестилетний период (рис. 6, *б*). Основной вклад в отрицательные значения трендов стратосферного озона в нижней озоносфере за рассматриваемый период вносит весенне-зимний период

в феврале—марте (рис. 6, *в*), что согласуется с более выраженным, но также статистически не значимым отрицательным трендом ОСО [ $(0,082 \pm 0,95)\%$  в год], оцененным по значениям за февраль—март периода наблюдений (рис. 6, *з*) (тонкая линия на рис. 6, *б* и *з*).

### Заключение

Результаты многолетних лидарных наблюдений озоносферы над Томском показывают, что ее состояние и поведение в основном формируются в нижней части, где преобладающую роль играет динамический фактор. Особое влияние вносит меридиональная циркуляция, которая усиливается в зимне-весенний период.

В табл. 2 приведено количество вторжений в среднеширотную стратосферу над Томском полярных или тропических воздушных масс, определенное по характерным искажениям форм среднеширотных профилей ВРО (регистрация заниженного по высоте полярного или завышенного — тропического озоновых максимумов) из общего числа зарегистрированных профилей в феврале—марте соответствующего года (значения в знаменателе).

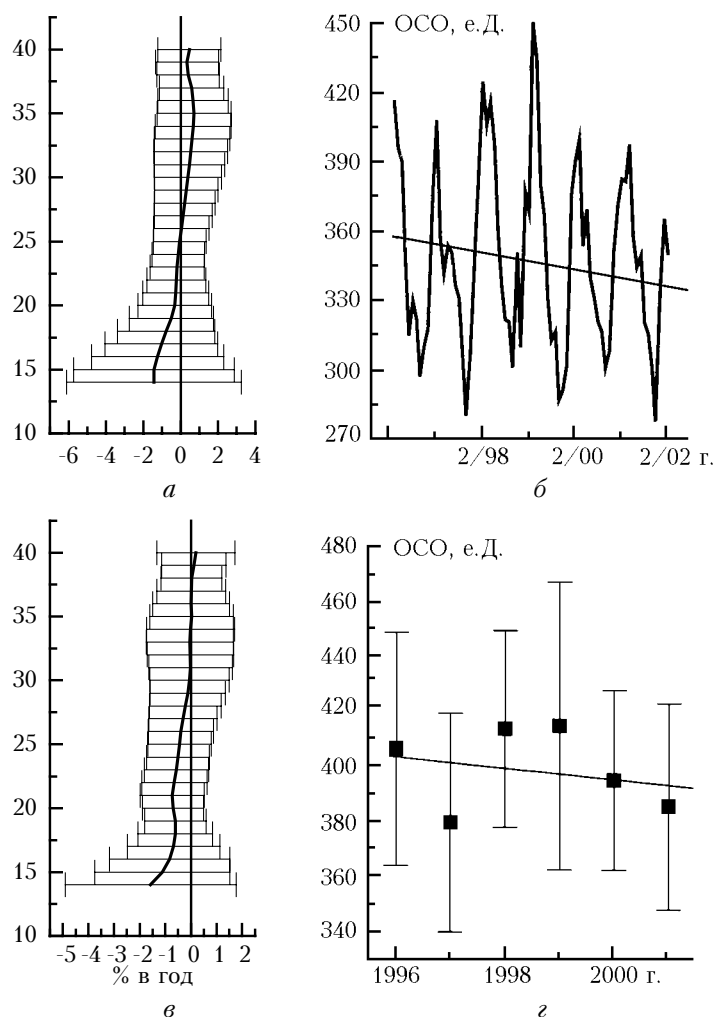


Рис. 6. Тренды вертикального и общего содержания озона

Т а б л и ц а 2

Год		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Воздушные массы	полярные	5/17	2/10	3/16	4/15	0/12	0/12	0/1
	тропические	1/17	2/10	0/16	6/15	4/12	1/12	0/1

Видно, что в начале анализируемого ряда лидарных наблюдений преобладающими были вторжения полярных воздушных масс, обогащенных озоном. В конце ряда, наоборот, преобладали вторжения тропических воздушных масс с низким содержанием озона. Эти процессы и обусловили в основном полученные тренды ВРО над Томском в период 1996–2002 гг. в нижней части озоносферы. Напомним, что на 2000 г. пришелся пик солнечной активности. Усиление коротковолновой радиации в пике солнечной активности стимулирует фотохимическую генерацию озона в верхней части озоносферы. Скорее всего, именно с этим связаны положительные значения трендов ВРО выше 26 км (рис. 6, а).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минпромнауки РФ на установке Сибирская лидарная станция (рег. номер 01-64) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 03-05-65105).

1. Зуев В.В. Дистанционный оптический контроль стратосферных изменений. Томск: МГП «Раско», 2000. 140 с.
2. McDermid I.S. A 4-year climatology of stratospheric ozone from lidar measurements at Table Mountain, 34.4 // J. Geophys. Res. D. 1993. V. 98. № 6. P. 10.509–10.515.
3. Godin S., David C. and Lacoste A.M. Systematic ozone and aerosol lidar measurements at OHP (44° N, 6° E) and Dumont d'Urville (66° S, 120° E) // Proc. 17-th ILRC: Abst. of papers. Sendai, Japan. 1994. P. 409–412.
4. Claude H., Scönenborn F., Streinbrecht W., Vandersee W. DIAL ozone measurements at the Met. Obs. Hohenpeißenberg: Climatology and trends // Proc. 17-th ILRC: Abst. of papers. Sendai, Japan. 1994. P. 413–415.
5. Nakane H., Sugimoto N., Hayashida S., Sagano Ya., and Matsui I. Five years lidar observation of vertical profiles of stratospheric ozone at NIES, Tsukuba (36° N, 140° E) // Proc. 17-th ILRC: Abst. of papers. Sendai, Japan. 1994. P. 416–419.
6. Krueger A.J., Minzner R.A. A mid-latitude ozone model for the 1976 US standart atmosphere // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. N 24. P. 4477–4487.

**V.V. Zuev, S.I. Dolgii, O.E. Bazhenov. Climatology and trends of stratospheric ozone over Tomsk for the period of 1996–2002.**

For the period of background stratospheric state of unperturbed by volcanic eruption 1996–2002, we analyze the data of lidar measurements of vertical ozone distribution and spectrophotometric measurements of total ozone content in Tomsk (56.1°N, 85.1°E). Of concern are the within-year and interannual variations and trends of variations of total ozone and vertical ozone distribution in the stratosphere. It is shown that the state and significant variations of the ozonosphere are mainly formed in its lower part, where a dominant role is played by the dynamical factor.