

А.С. Елохов, А.Н. Груздев

ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА И ДВУОКИСИ АЗОТА НА АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ МОЛОДЕЖНАЯ И МИРНЫЙ ВЕСНОЙ 1987—ОСЕНЬЮ 1988 гг.

Приводятся результаты измерений общего содержания (ОС) озона и NO_2 на антарктических станциях Молодежная и Мирный в ноябре—декабре 1987 г. (Молодежная) и феврале—апреле 1988 г. (Мирный). В течение ноября—декабря 1987 г. отмечен неравномерный рост ОС озона, характеризующий заполнение озоновой «дыры». Параллельно происходило потепление стратосферы и увеличение ОС NO_2 . В летне-осенний период ОС NO_2 постепенно уменьшалось. Вечерние значения ОС NO_2 систематически выше утренних значений, что отражает изменения содержания NO_2 от дня к ночи.

Изучение малых примесей в атмосфере Антарктики в настоящее время стало одной из самых злободневных задач антарктических исследований. Важной задачей является измерение общего содержания озона, двуокиси азота и исследование их временной изменчивости в специфических условиях антарктической атмосферы, изучение механизмов формирования озонового слоя и выявление причин весеннего дефицита в содержании озона над Антарктикой (эффект «озонной дыры» в сентябре—октябре).

В данной статье приводятся результаты измерений общего содержания (ОС) озона и NO_2 на прибрежных антарктических станциях Молодежная ($67^{\circ}40'$ ю.ш., $45^{\circ}50'$ в.д.) и Мирный ($66^{\circ}33'$ ю.ш., $93^{\circ}01'$ в.д.) в ноябре—декабре 1987 г. (Молодежная) и феврале—апреле 1988 г. (Мирный) во время работы 33 Советской антарктической экспедиции.

Для измерений ОС озона и NO_2 по прямому и рассеянному из зенита солнечному излучению использовались спектральные комплексы на основе монохроматора МДР-4 (для измерений по прямому солнцу) и монохроматора МДР-23 (для измерений по зениту). Спектральное разрешение МДР-4 составляло 0,4 нм, МДР-23—0,7 нм [1].

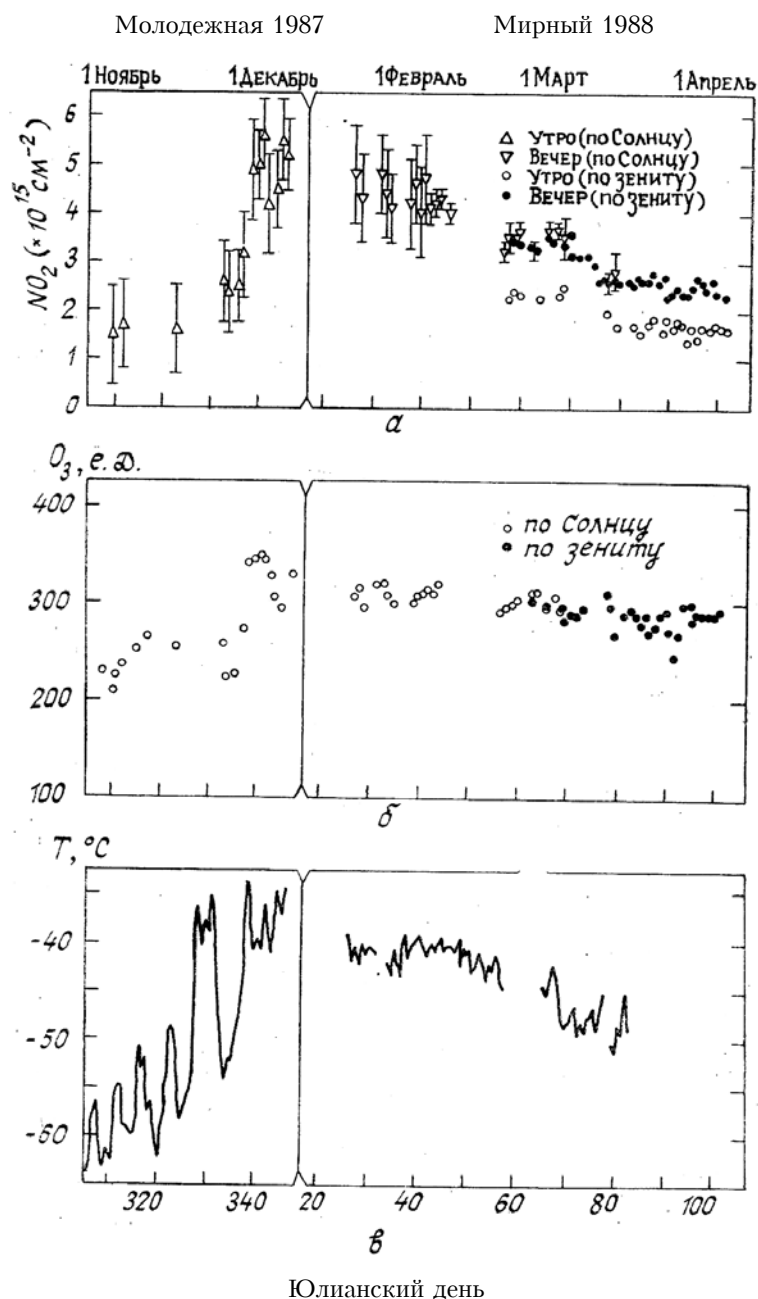
Зенитные измерения выполнялись под управлением ЭВМ. Измерения по прямому солнцу выполнялись в двух режимах:

- 1) с записью спектров на диаграммную ленту самописца;
- 2) с записью спектров на магнитную ленту под управлением ЭВМ.

ОС озона измерялось при зенитных углах солнца $\leq 70^{\circ}$. Для определения ОС озона по спектрам прямого солнечного излучения применялась многоволновая методика [2]. Для определения ОС озона по спектрам рассеянного из зенита солнечного излучения использовались рассчитанные в приближении однократного рассеяния номограммы. Сравнение значений ОС озона, полученных в одновременных измерениях по прямому солнцу и по зениту, показало их хорошее совпадение.

ОС NO_2 измерялось утром и (или) вечером при зенитных углах солнца 70 — 95° . Измерения по зениту выполнялись также в облачную погоду. Для расчета ОС NO_2 по спектрам прямого излучения, записанным в первом режиме, применялась аналогичная [3] методика с использованием дифференциального поглощения на длинах волн 434,9; 437,9; 439,0; 439,7; 441,2 и 442,0 нм. ОС NO_2 во втором режиме измерений по прямому солнцу, а также в случае сумеречных измерений по зениту рассчитывалось по методу, аналогичному [4]. Пересчетные коэффициенты (*enhancement factors*), необходимые для определения ОС NO_2 по зенитным измерениям, были рассчитаны с помощью модели сферической атмосферы в приближении однократного рассеяния с учетом рефракции. Модель охватывает интервал высот от 0 до 78 км с разрешением по высоте 1 км. Параметры стратификации модели рассчитаны по данным радиозондов, осредненным за соответствующий период, для больших высот использованы многолетние среднезональные среднемесячные данные [5], интерполированные к широте станции. Модельный вертикальный профиль NO_2 задавался в форме гауссовской кривой с полушириной 5 км (полуширина определялась как разность высот, для которых содержание NO_2 составляет половину максимального). Высота модельного слоя NO_2 варьировалась с дискретностью 4 км.

Результаты измерений ОС озона и NO_2 показаны на рис. 1, б, а. На рис. 1, в приведен временной ход температуры на уровне 50 мб по данным радиозондов. Вертикальная прямая в левой части рисунков разграничивает данные измерений в Молодежной (слева) и Мирном (справа). Вертикальными отрезками на рис. 1, а показаны случайные ошибки измерений ОС NO_2 по прямому солнцу. Соответствующие ошибки зенитных измерений не показаны, так как они меньше $1 \cdot 10^{14}$ мол/см (относительные ошибки меньше 5%). Случайные ошибки единичного измерения ОС озона меньше 3 е. Д. (единицы Добсона).



Общее содержание NO_2 (а), озона (б) и температура на уровне 50 мб (в) в Молодежной и Мирном. Вертикальными отрезками показаны случайные ошибки измерений общего содержания NO_2 по прямому солнечному излучению

Рис. 1 показывает, что в течение ноября—декабря 1987 г. над Молодежной отмечен нерегулярный рост ОС озона от 210 до 340 е. Д., который характеризует заполнение «озонной дыры». Одновременно происходило потепление стратосферы и увеличение ОС NO_2 от $1,5 \cdot 10^{15}$ в ноябре до $5,5 \cdot 10^{15}$ мол./ cm^2 в декабре. Наиболее резкое увеличение ОС озона и NO_2 произошло в начале декабря. Минимальное (за период измерений) ОС озона, равное 207 е. Д., отмечено 6 ноября, максимальное — 346 е. Д. — 7 декабря 1987 г. Максимальное значение ОС NO_2 также зарегистрировано 7 декабря.

Минимальные значения ОС озона обычно наблюдаются в сентябре—октябре и значительно варьируют как по абсолютной величине, так и по сроку, в зависимости от условий перестройки циркуляции антарктической стратосферы [6, 7]. Весенний рост ОС NO_2 , как и весенний рост ОС озона на рис. 1, обусловлен их притоком из более низких широт в результате ослабления циркулярного вихря [8]. Перестройка стратосферной циркуляции над Антарктикой и связанное с ней финальное потепление стратосферы весной 1987 г. происходили необычно поздно [9]. Этим объясняется факт позднего (в первой декаде декабря) заполнения «озонной дыры» на рис. 1.

В летне-осенний период 1988 г. (с февраля по апрель) ОС озона над станцией Мирный медленно уменьшается со временем, имея среднее значение около 295 е. Д. Вариации ОС озона в этот период

обусловлены в основном синоптическими процессами. Так, заметна отрицательная корреляция между ОС озона и высотой тропопаузы в течение февраля—марта 1988 г. Низкое (247 е. Д.) значение ОС озона отмечено 1 апреля. К сожалению, начиная с 23 марта, аэрологические данные отсутствуют. Отметим, что очень низкие (200 е. Д.) значения ОС озона в этот период наблюдались ранее на станции Сёва [10].

В этот же период (с февраля по апрель) над Мирным происходит уменьшение ОС NO₂, отражающее типичный для NO₂ годовой ход с максимумом в летнее (светлое) и минимумом в зимнее (темное) время [3, 11, 12]. ОС NO₂ имеет примерно постоянное значение $4,5 \cdot 10^{15}$ мол/см² с конца января по начало февраля, затем постепенно уменьшается со средней скоростью $1,3 \cdot 10^{15}$ мол/см² в месяц, а с конца марта по начало апреля опять принимает приблизительно постоянное значение $2,4 \cdot 10^{15}$ мол/см². На общий временной ход ОС NO₂ в летне-осенний период наложены междусуточные вариации, связанные с синоптическими процессами.

Сравнение утренних и вечерних значений ОС NO₂ показывает систематическое превышение вечерних значений над утренними примерно на 30%, отражая изменения NO₂ от дня к ночи за счет медленного превращения окислов азота в N₂O₅ в течение ночи с последующим дневным увеличением NO₂ в результате фотодиссоциации N₂O₅ [11, 12].

1. Elokho v A.S., Elansky N.F., Makarov O.V., Smirnov A.S. // *Quadr. Ozone Symp. Abstracts. Goettingen. 1988. P. 176.*
2. Хргиан А.Х., Кузнецов Г.И. Проблема наблюдений и исследований атмосферного озона. М.: Изд. МГУ, 1981. 216 с.
3. Noxon J.F., Whipple E.C., Jr., Hyde R.S. // *J. Geophys. Res. 1979. V. 84. № C8. P. 5047–5065.*
4. Solomon S., Schmelteko pf A.L., Sanders R.W. // *J. Geophys. Res. 1987. V. 97. № D7. P. 8311–8349.*
5. Barnett J.J., Corney M. // *Handbook for MAP. 1985. V. 16. P. 47–85.*
6. Newman P.A. // *Geophys. Res. Lett. 1986. V. 13. № 12. P. 1228–1231.*
7. Solomon S. // *Rev. Geophys. 1988. V. 26. № 1. P. 131–148.*
8. Mount J.H., Sanders R.W., Schmelteko pf A.L., Solomon S. // *J. Geophys. Res. 1987. V. 92. № D7. P. 8320–8328.*
9. Randel W.J. // *Geophys. Res. Lett. 1988. V. 15. № 8. P. 911–914.*
10. Chubachi S., Kajiwara R. // *Geophys. Res. Lett. 1988. V. 15. № 8. P. 905–906.*
11. Pommereau J.P., Goutail F. // *Geophys. Res. Lett. 1988. V. 15. № 8. P. 895–897.*
12. Solomon S., Garcia R.R. // *J. Geophys. Res. 1983. V. 88. № C9. P. 5229–5239.*

Институт физики атмосферы АН СССР,
Москва

Поступила в редакцию
5 июня 1991 г.

A.S. Elokho v, A.N. Gruzdev. Total Ozone and Nitrogen Dioxide Measurements at Molodezhnaya and Mirny Antarctic Stations in Spring 1987 – Autumn 1988.

The results are shown of measurements of total ozone and NO₂ content at Molodezhnaya and Mirny stations, Antarctica, in November–December 1987 (Molodezhnaya) and February–April 1988 (Mirny). During the November–December period the irregular total ozone increase was observed, which characterized the filling up of the ozone «hole». 4 he stratospheric warming and the total NO₂ increase took place simultaneously. During summer-autumn period the total NO₂ content decreased gradually. The evening total NO₂ contents were systematically larger than the morning ones, which were caused by change of the NO₂ abundance from day to night.