

В.Н. Маричев, В.В. Зуев, М.В. Гришаев, С.В. Смирнов

ЛИДАРНЫЕ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЗОНА, ДИОКСИДА АЗОТА И ТЕМПЕРАТУРЫ В СТРАТОСФЕРЕ НАД ТОМСКОМ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

В настоящее время лидарные и спектрофотометрические измерения стратосферного озона, диоксида азота и температуры на Сибирской лидарной станции (СЛС) направлены на изучение атмосферных процессов, главным образом определяющих изменчивость вертикального распределения и общего содержания озона. Результаты таких комплексных измерений и синоптических анализов показывают, что высокая положительная корреляция между температурой и озоном и переменная корреляция между озоном и диоксидом азота в нижней и средней стратосфере наблюдаются в синоптических периодах с сильной динамической активностью стратосферных циркуляционных процессов. Достаточно высокая отрицательная корреляция между озоном и диоксидом азота наблюдается в периоды с однородной устойчивой циркуляцией с низкой динамической активностью. Наибольшая отрицательная корреляция между озоном и диоксидом азота в зимне-весенний период может наблюдаться при сезонной смене направления переноса во время перестройки стратосферной циркуляции.

1. Введение

Известно, что изменчивость озона обуславливается сочетанием трех основных факторов, а именно: атмосферной динамикой, химией и солнечной радиацией. Петзолдом и др. [1] уже проводились исследования, и была показана взаимосвязь между стратосферной температурой, общим содержанием озона и барическими образованиями в тропосфере. Спектрофотометрические измерения высотного распределения малых газовых составляющих стратосферы и исследования их взаимоотношений были выполнены Мак-Кензи и др. в [2].

Лидарные наблюдения за поведением стратосферного озонового слоя над Томском (56,5°с.ш., 85°в.д.) в Западной Сибири на Сибирской лидарной станции (СЛС) проводятся с 1988 г. [3]. Измерения вертикального распределения диоксида азота (NO_2) с помощью сумеречного спектрофотометра по методике, используемой в [2], начали выполняться с ноября 1995 г. [4].

Цель этой работы – показать роль и соответствующий вклад атмосферной химии и динамики в изменчивость стратосферного озона.

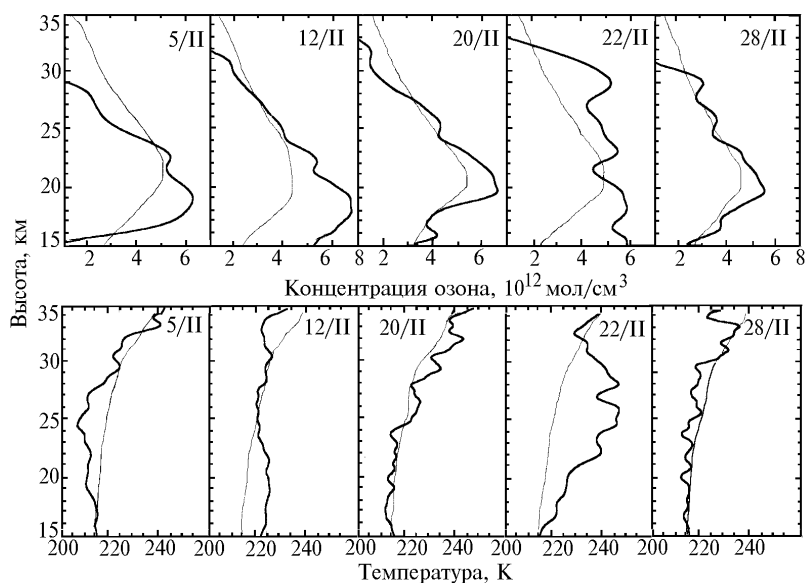


Рис. 1

2. Результаты измерений

Рис. 1 показывает одну из наблюдаемых ситуаций, характеризующих взаимосвязь вертикальных распределений озона (ВРО) и температуры (ВРТ) в стратосфере над Томском в феврале 1996 г. Хорошо видно, как 5 февраля профиль температуры соответствовал модельному ВРТ [5], а профиль озона – ВРО по модели Крюгера. Присутствию большого количества озона в слое 15–25 км, наблюдаемого 12 февраля, адекватны температуры, повышенные в этом слое примерно на 10 К. В дальнейшем (20 февраля) уменьшению содержания озона на высотах 15–25 км соразмерно падение температуры, что приводит к совпадению лидарных профилей с модельным распределением. Очень большое содержание озона в слое 15–30 км наблюдалось 22 февраля. Этой ситуации соответствует также значительное повышение температуры, составившее 10–30 К. 28 февраля ВРО и ВРТ вновь приблизились к модельным значениям.

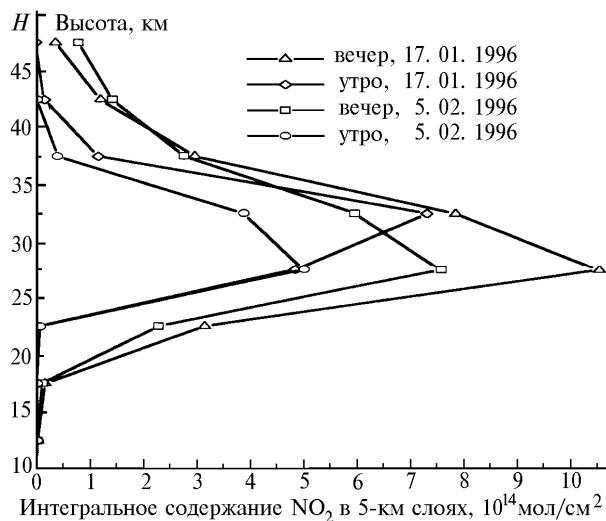


Рис. 2

Рис. 2 показывает типичное вертикальное распределение NO_2 в утренние и вечерние периоды. Как правило, высоты утренних и вечерних максимумов совпадают или утренний максимум располагается несколько выше. В большинстве случаев величина вечернего максимума больше утреннего, что согласуется с протеканием фотохимических реакций в стратосферном цикле семейства NO_x .

3. Обсуждение результатов измерений и синоптического анализа

Как известно, в стратосфере поведение NO_2 противоположно поведению озона (азотный каталитический цикл разрушения озона). Но это соотношение в реальных условиях сложно наблюдать и оценивать из-за преобладания в нижней и средней стратосфере динамических факторов в переносе и распределения как озона, так и NO_2 .

Синоптические ситуации в стратосфере с устойчивыми однородными циркуляционными процессами и низкой динамической активностью, когда временные колебания метеовеличин имеют минимальный разброс и нормальный закон их распределения не нарушается, наблюдаются, в основном, в теплом периоде. Однако наибольший интерес для исследований фотохимических связей озона с другими малыми газовыми составляющими атмосферы представляют такие ситуации в периоды с неустойчивой атмосферной циркуляцией и высокой динамической активностью, наблюдаемой в зимне-весеннее время.

В периоды сезонных стратосферных перестроек при смене направления переноса в средней и нижней стратосфере происходит ослабление до минимума скорости ветров и турбулентного переноса, т.е. динамических факторов. Тогда влияние в этих слоях фотохимических процессов на содержание и распределение фотохимических активных составляющих атмосферы должно быть максимальным.

Анализ синоптических данных за февраль–март 1996 г. показал следующее состояние и развитие термодинамических процессов в стратосфере над Томском.

Во второй половине февраля стратосферная циркуляция имела резко выраженную зональность с сильными западными ветрами во всей стратосфере; в тропосфере наблюдался теплый блокирующий антициклон с холодной высокой тропопаузой. В последней декаде февраля наблюдалось стратосферное потепление, которое предшествовало перестройке циркуляции на летний режим, проходившей в первой и второй декадах марта. Потепление и увеличение значения геопотенциала изобарических уровней в средней и нижней стратосфере вызвали нарушение зональности в циркуляции и усиление меридиональной составляющей, что отразилось в формировании высотного барического гребня в нижней стратосфере (до 50-гПа уровня) со сменой направления переноса на восточное.

Период с достаточно «спокойной» стратосферой, соответствующий периоду смены направления в весенней стратосферной перестройке над Томском весной 1996 г., отразился в поведении содержания озона и NO_2 по данным лидарных и спектрофотометрических измерений. Это отчетливо видно на рис. 3 в интервале с 55 по 73-й день, который показывает временную изменчивость интегрального содержания озона в слое 25–30 км, NO_2 в слое 20–35 км и температуры на 50-гПа уровне.

Из поведения кривых видно, что ослабление переноса озона, обусловленное снижением до минимума динамической активности стратосферной циркуляции в момент смены направления, вызвало, с одной стороны, уменьшение содержания озона за счет каталитического разрушения в азотном цикле, с другой стороны, это уменьшение озона привело к увеличению NO_2 , так как фотохимическое образование NO_2 продолжалось, а его сток на озон уменьшился. В целом же, как видно из рис. 3, величина общего содержания озона хотя и уменьшилась, но оставалась довольно высокой за счет интенсивного в этот период в верхней стратосфере фотохимического образования озона.

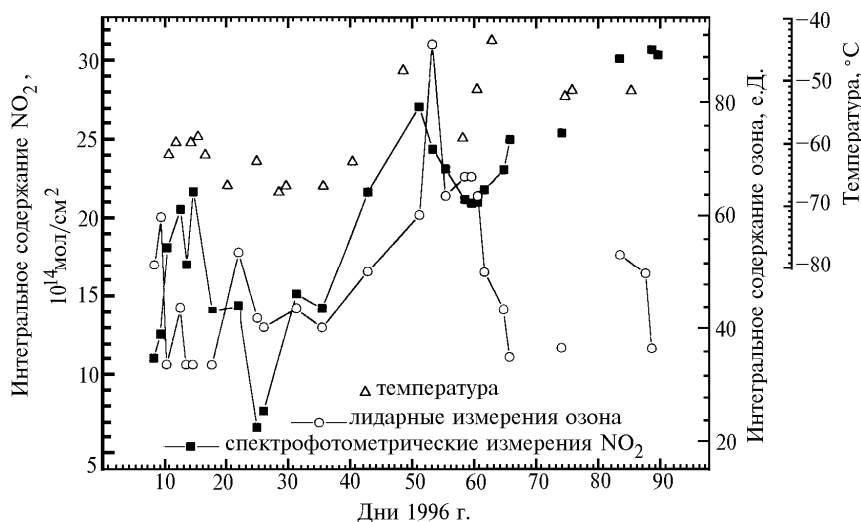


Рис. 3

4. Заключение

Общий анализ данных лидарных и спектрофотометрических измерений и синоптических данных показал, что высокая положительная корреляция между температурой и озоном и переменная корреляция между озоном и диоксидом азота в нижней и средней стратосфере наблюдаются в синоптических периодах с сильной динамической активностью стратосферных циркуляционных процессов.

Достаточно высокая отрицательная корреляция между озоном и диоксидом азота наблюдается в периоды с однородной устойчивой циркуляцией с низкой динамической активностью. Наибольшая отрицательная корреляция между озоном и диоксидом азота в зимне-весенний период может наблюдаться при сезонной смене направления переноса во время перестройки стратосферной циркуляции.

При этом четко выраженные интервалы в стратосферной циркуляции, когда влияние динамического фактора минимально, в зимне-весеннем периоде наблюдать довольно трудно.

Таким образом, подтверждается тот факт, что преобладающим фактором в изменчивости малых составляющих в нижней и средней стратосфере является динамика атмосферы.

Авторы выражают искреннюю благодарность своим коллегам из ЛДСА за профессиональное техническое обеспечение и проведение лидарных измерений и обработку данных, а также Г.М. Крученицкому за предоставленные метеоданные. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (N 96-05-64282).

1. Petzold P., Naujokat B., Neugeboren K. // *Geophys. Res. Lett.* 1994. V. 21. N 13. P. 1203–1206.
2. McKenzie R.L., Johnston P.V., McElroy C.T., Kerr J.B., and Solomon S. // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96. ND8. P. 15,499–15,511.
3. El'nikov A.V., Marichev V.N., Zuev V.V. // 15-th ILRC (Abst. of papers.) Tomsk: IOA, 1990. Part 1. P. 214–217.
3. Гришаев М.В., Зуев В.В. // *Оптика атмосферы и океана.* 1996. Т. 9. N 8. С. 1120–1122.
4. Статистические модели температуры и атмосферных газовых компонентов / В.Е. Зуев, В.С. Комаров. Л: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
16 сентября 1996 г.

V.N. Marichev, V.V. Zuev, M.V. grishaev, S.V. Smirnov. **Lidar and Spectrophotometric Measurements of Vertical Distributions of Ozone, Nitrogen Dioxide, and Temperature in the Stratosphere over Tomsk (Western Siberia).**

At present the lidar and spectrophotometric measurements of stratospheric ozone, nitrogen dioxide, and temperature at the Siberian Lidar Station (SLS) in Tomsk are used to study dominating atmospheric processes determining the variability of the vertical distribution and total content of ozone. The results of integrated measurements and synoptical analysis show that a good positive correlation between temperature and ozone and a variable correlation between ozone and nitrogen dioxide in the lower and middle stratosphere are observed for synoptical periods with strong dynamic activity of the stratospheric circulation processes. Sufficiently good negative correlation between ozone and nitrogen dioxide is observed in the period with homogeneous stable circulation and weak dynamic activity. A better negative correlation between ozone and nitrogen dioxide in winter and spring may be observed for a seasonal change of the stratospheric circulation transfer.