

УДК 551.510

ИЗМЕНЕНИЯ В ОЗОННОМ СЛОЕ НАД МОСКОВСКИМ РЕГИОНОМ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

С. В. Соломонов, Е. П. Кропоткина, А. Н. Лукин, С. Б. Розанов

Приведены результаты исследования вертикального распределения содержания озона над Московским регионом методами дистанционного зондирования с помощью наземной спектральной аппаратуры диапазона волн 2 мм. В результате регулярных наблюдений с декабря 1996 по май 1997 гг. обнаружена значительная изменчивость содержания озона и, в том числе, его значительное истощение выше 25 км в отдельные периоды.

Изучение озонного слоя является одной из важнейших задач дистанционного зондирования атмосферы на миллиметровых (ММ) волнах [1]. Накапливаемые экспериментальные данные об озоне, получаемые другими методами (контактными с помощью шаров озонозондов, с борта самолетов и ракет, бортовыми и наземными дистанционными оптическими методами), позволяют составить все более полное представление о глобальном состоянии озонного слоя, об общем содержании озона [2]. В то же время особенности высотно-временного распределения озона в стратосфере и мезосфере над отдельными областями, в том числе над Московским регионом, изучены хуже. С помощью созданного в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН и размещенного в Москве спектрорадиометра (озонметра) диапазона волн 2 мм [1, 3, 4] регистрируется вертикальное распределение озона в труднодоступных (для других методов) слоях стратосферы и мезосферы. Аппаратура ФИАН, с помощью которой проводятся регулярные наблюдения атмосферного озона над Московским регионом, была включена в состав глобальной озонметрической сети по Международным программам DYANA (1990 г.) и CRISTA-MAHRSI (1995, 1997 гг.). Ранее сообщалось [3] о явлении значительного уменьшения озона на высотах 30-45 км над Московским регионом, обнаруженном с помощью

этого спектрорадиометра в отдельные периоды первой половины 1996 г. В данной работе приведены результаты дальнейших наблюдений высотно-временного распределения озона, выполненных в ФИАН в период с декабря 1996 по май 1997 гг.

Наблюдения озона по его излучению проводились на частотах спектральной линии молекул этого газа с центром на $142,2 \text{ ГГц}$. Методика наблюдений и обработки спектров изложена в [1, 3, 4]. Эти наблюдения выполнялись в основном в дневное время, продолжительность измерения спектров излучения озона обычно составляла 2-3 часа в день.

В приведенных ниже вертикальных распределениях озона, зарегистрированных на ММ волнах, ошибки не превышают 5-7% на высотах 20-50 км и 15-20% в остальной области зондируемых высот.

При обработке и анализе результатов наблюдений на ММ волнах были использованы данные об общем содержании озона, полях температуры и геопотенциала (для уровней 10, 20, 30 и 50 мбар), вертикальных профилях температуры, давления в стратосфере, любезно предоставленные Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО) и Гидрометцентром (ГМЦ).

На рис. 1 (справа) представлены примеры зарегистрированных на ММ волнах вертикальных профилей озона (в единицах отношения смеси, 10^{-5}) на высоте от 20 до 60 км в отдельные периоды холодного полугодия 1996-97 гг. Для сопоставления на этом же рисунке слева приведены профили озона, зарегистрированные в январе и феврале 1996 г. На рис. 2 представлена временная зависимость содержания озона в слое на высоте 35 км (в соответствии с моделью здесь расположен максимум относительного содержания озона). В результате этих наблюдений зарегистрировано значительное истощение озона в слое выше 25 км (примеры на рис. 1б, кривые 1, 2, 4, 5, 7).

Уменьшение озона в этом слое достигало 1,8 раза по сравнению с моделью [5]. При сопоставлении этих результатов с данными, полученными на ММ волнах в январе 1996 г., обращает на себя внимание совпадение интервалов высот истощения в начале 1996 г. (рис. 1а, кривые 1-5) и зимой 1996-97 гг. (рис. 1б, кривые 1, 2, 4, 5, 7). В рассматриваемые периоды наблюдений зарегистрированы также близкие к норме и повышенные значения содержания озона (примеры на рис. 1а, кривые 6 и 7, рис. 1б, кривые 3 и 6 и рис. 2). Важно отметить, что эти изменения в озонном слое в холодный период 1996-97 гг. (также как и в феврале-марте 1996 г.) совпадали по времени с перемещениями основных барических систем стратосферы, в сфере действия которых оказывался озонный слой над Московским регионом. Например, значительное уменьшение озона в слое

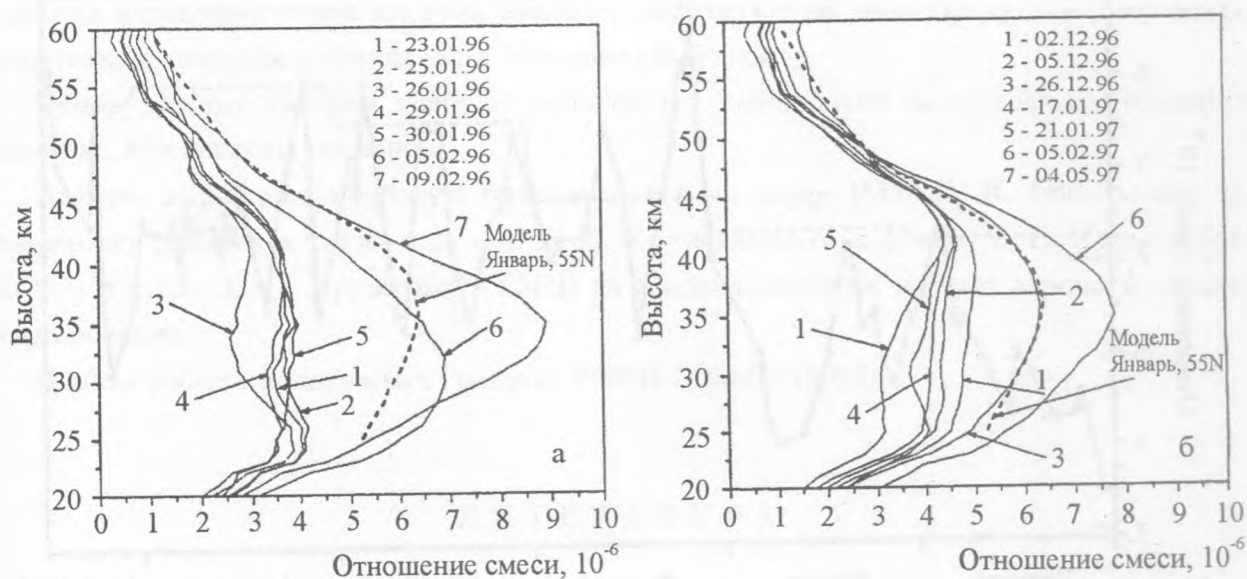


Рис. 1. Примеры вертикальных профилей озона над Московским регионом по наблюдениям на миллиметровых волнах в январе-феврале 1996 г. (а) и в декабре 1996 г., январе, феврале и мае 1997 г. (б). Для сравнения приведены данные модели [5] для января на широте 55 N.

25-40 км над Московским регионом зарегистрировано 4-5 мая 1997 г. (кривая 7 на рис. 1б). Это уменьшение озона совпало с появлением над Москвой воздуха, принадлежащего центральной части полярного вихря. Центр этого вихря (т.е. область наиболее низкого значения геопотенциала), судя по картам геопотенциала на поверхности 10 мбар, в это время располагался близко от Москвы: его координаты составили примерно 56N, 35E.

Возрастание содержания озона над Московским регионом происходило, как правило, при удалении полярного вихря (или его края) от Москвы, либо было связано с влиянием области высокого давления. Например, в начале февраля 1997 г. произошло резкое увеличение содержания озона в слое 25-40 км (рис. 1б, кривая 6, рис. 2), что совпало с образованием антициклона в стратосфере над Европой, вызвавшего появление воздушных масс с повышенным содержанием озона над Москвой. Подобное же увеличение содержания озона было зарегистрировано 5-12 февраля 1996 г. (кривые 6, 7 на рис. 1а) и было обусловлено влиянием на озонный слой приблизившейся к Москве области высокого давления (стратосферного антициклона) и связанным с ней поступлением воздушных масс с увеличенным содержанием озона [3].

Когда же в стратосфере установился летний тип циркуляции (к 9 мая 1997 г.) и ис-

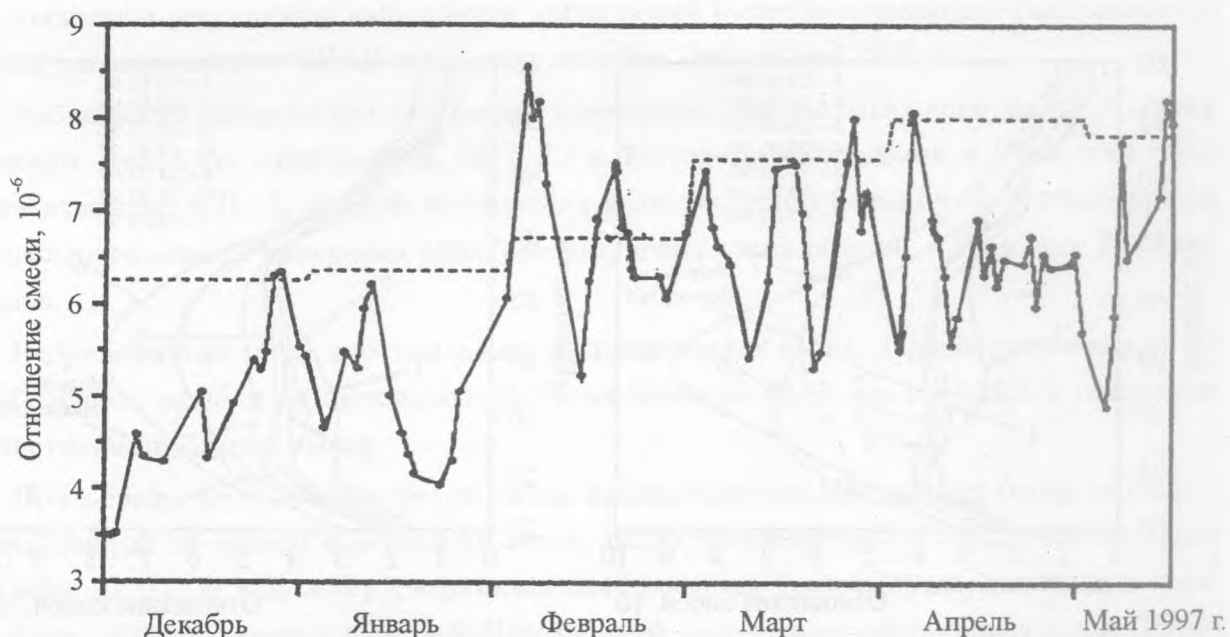


Рис. 2. Содержание озона на высоте 35 км над Московским регионом по результатам наблюдений в период с декабря 1996 г. по май 1997 г. Пунктиром обозначены данные модели [5].

чезли последние признаки существования полярного вихря, то над Московским регионом оказался обогащенный озоном воздух (рис. 2), и распределение озона приблизилось к модельному. Необходимо отметить, что наблюдавшиеся на ММ волнах изменения содержания озона, как правило, сопровождалось изменениями того же знака (хотя и менее значительными) общего содержания озона, измеренного оптическими методами.

Таким образом, результаты наблюдений озонного слоя в 1996-97 гг. подтверждают полученные ранее на ММ волнах данные [3] о влиянии динамических атмосферных процессов на вертикальный профиль озона. Вместе с тем, для объяснения наблюдаемых значительных изменений содержания озона, его сильного истощения в отдельные периоды, необходимо учитывать влияние и фотохимических процессов, роль которых, как известно [2], возрастает в слоях выше 25 км, где как раз и зарегистрированы эти изменения.

По-видимому, обнаруженное истощение озона является не только локальным явлением. Подобное описанному выше значительное истощение озона в слое 4 – 10 мбар (примерно между 30 и 40 км) было обнаружено ранее в субполярных областях обоих

полушарий с борта космических кораблей ATLAS 1, 2 и 3 в 1992, 1993 и 1994 гг. [6]. Наши результаты показывают, что в зимние периоды 1996 и 1997 гг. причины, вызывающие истощение озона на этих высотах, действуют на озоносферу и в умеренных широтах, к которым принадлежит Московский регион.

Обнаруженные явления требуют дальнейших наблюдений за состоянием озонового слоя над Московским регионом.

Авторы выражают глубокую благодарность чл.-корр. РАН И. И. Собельману за поддержку работы, а также к.ф.-м.н. Г. М. Крученицкому, к.ф.-м.н. Т. В. Кадыгровой (ЦАО) и к.г.н. Т. С. Кружковой (ГМЦ) за предоставленные данные аэрологического зондирования.

Данная работа поддержана грантом РФФИ N 96-02-19093.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Собельман И. И., Соломонов С. В., Сороченко Р. Л. Вестник РАН, **63**, 8, 721 (1993).
- [2] World Meteorological Organization. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. Report N 37.
- [3] Соломонов С. В., Кропоткина Е. П., Лукин А. Н., Розанов С. Б. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1-2, 75 (1997).
- [4] Логвиненко С. В., Соломонов С. В., Розанов С. Б. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 5-6, 40 (1997).
- [5] Keating G. M. and Pitts M. C. Adv. Space Res., **7**, N 9, 937 (1987).
- [6] Olivero J. J., Pauls T. A., et al. Geophysical Research Letters, **23**, N 17, 2309 (1996).

Поступила в редакцию 21 ноября 1997 г.