

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ  
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 551 510 534

**НАБЛЮДЕНИЯ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ СТРАТОСФЕРНОГО  
ОЗОНА НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ**

*В. М. Демкин, Ю. Ю. Куликов, В. Г. Рыскин, В. М. Юрков*

Озон относится к таким составляющим земной атмосферы, влияние которых на распространение миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн на наклонных трассах сквозь всю ее толщу нельзя не учитывать. В ряде случаев ослабление, вносимое  $O_3$  вблизи резонансных частот его вращательного спектра, может превышать величину «фонового» поглощения кислорода и водяного пара [1, 2]. Как и водяной пар, озон является переменной компонентой атмосферы, поэтому для прогноза условий распространения радиоволн необходимо иметь сведения о вариациях интенсивности и контура его вращательных линий в зависимости от времени года и суток. Кроме того, интерес к вариациям озона обусловлен его важной ролью в энергетическом балансе стратосферы и восприимчивостью его к возмущениям естественного и антропогенного происхождения.

В данном сообщении представлены результаты наблюдений вращательных переходов озона с резонансными частотами  $\nu_{ij}=142175,10$  и  $101736,76$  МГц. Наблюдения выполнены в различных по широте географических районах СССР. В качестве измерительной аппаратуры использованы разработанные в ИПФ АН СССР многоканальные спектроанализаторы диапазонов частот 110—150 и 80—110 ГГц, имеющие разрешение по частоте 3 МГц в каждом канале и полосу анализа 100 МГц [3]. Спектрометры были оснащены системой автоматизации измерений, основанной на использовании аппаратуры КАМАК и малых ЭВМ типа «Электроника-60».

Исследования суточных вариаций излучения озона в стратосфере были начаты нами в апреле 1983 года в горах Заилийского Ала-Тау вблизи Алма-Аты ( $43^\circ$  с. ш., ВЭ ГАИШ, высота над уровнем моря 3000 метров). Для этого проводились наблюдения излучения атмосферы до и после захода Солнца в окрестностях вращательной линии  $O_3 Q_R(10_0)$ ,  $\nu_{ij}=142175,10$  МГц. Анализ усредненных за 1.04—3.04.83 спектров излучения озона показал, что дневное количество  $O_3$  в интервале высот 30—50 км превышает на ~16% ночное [2]. Возникает вопрос, как этот результат согласуется с расчетными и экспериментальными данными других работ.

Из модельных представлений [4, 5] следует, что в слое атмосферы от 30 до 50 км практически не существует суточного хода озона. Однако с этими расчетными моделями находятся в противоречии ракетные измерения суточных вариаций озона в стратосфере [6]. По данным этой работы дневная концентрация озона на высотах 40—50 км больше ночной на 6—17%. Кроме того, в пользу суточного хода стратосферного  $O_3$  с 5%-ным превышением дневной концентрации над ночной в области высот 30—40 км свидетельствуют данные спутникового эксперимента Нимбус [7]. Следует отметить, что выше уровня 50 км наблюдается устойчивый характер суточного хода озона с превышением ночной его концентрации над дневной [6, 8].

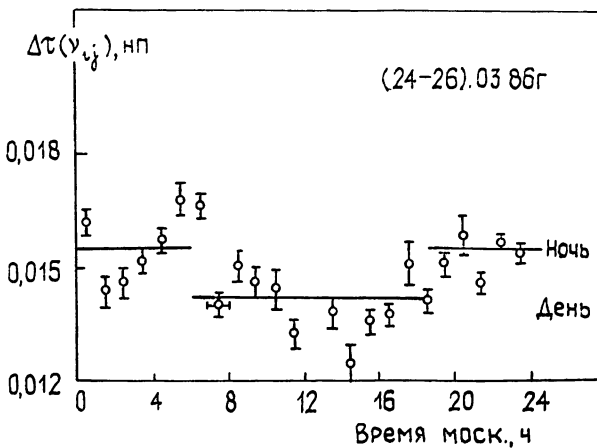


Рис. 1.

Следующий цикл наблюдений вариаций излучения озона был проведен в Горьком (56° с.ш.) 24—26 марта 1986 года. В измерениях излучения стратосферы был использован вращательный переход  $O_3 Q_R(4_0)$ ,  $\nu_{ij}=101736,76$  МГц. В этом цикле были организованы круглосуточные наблюдения за стратосферным озоном с временным разрешением один час. На рис. 1 показана зависимость осредненных за 24.03—26.03.86 часовых значений интенсивности линии  $\Delta\tau(\nu_{ij})$  от времени суток. Сплошными линиями (см. рис. 1) выделены средние дневные и ночные значения  $\Delta\tau(\nu_{ij})$ . В данном случае усреднение распространялось на интервал времени от восхода до захода Солнца. Отмечается повторение характера зависимости от дня ко дню с ярко выраженным минимумом в 12—16 часов московского времени. Расчет количества  $O_3$  в области высот 30—50 км показывает, что отличие ночных и дневных данных от среднесуточного значения составляет  $\pm 5\%$ . Таким образом, мы имеем здесь обратную картину суточному ходу, зарегистрированному в Алма-Ате. Суточный ход  $O_3$ , измеренный в Горьком, более близок предсказаниям модельных расчетов [4, 5]. На самом же деле вариации содержания  $O_3$  в течение суток превышают 5% (см. рис 1), если учесть полный размах  $\Delta\tau(\nu_{ij})$  от максимума к минимуму. Правда, такие вариации становится трудным связать с восходом и заходом Солнца, т.е. интерпретировать разницей ночь—день.

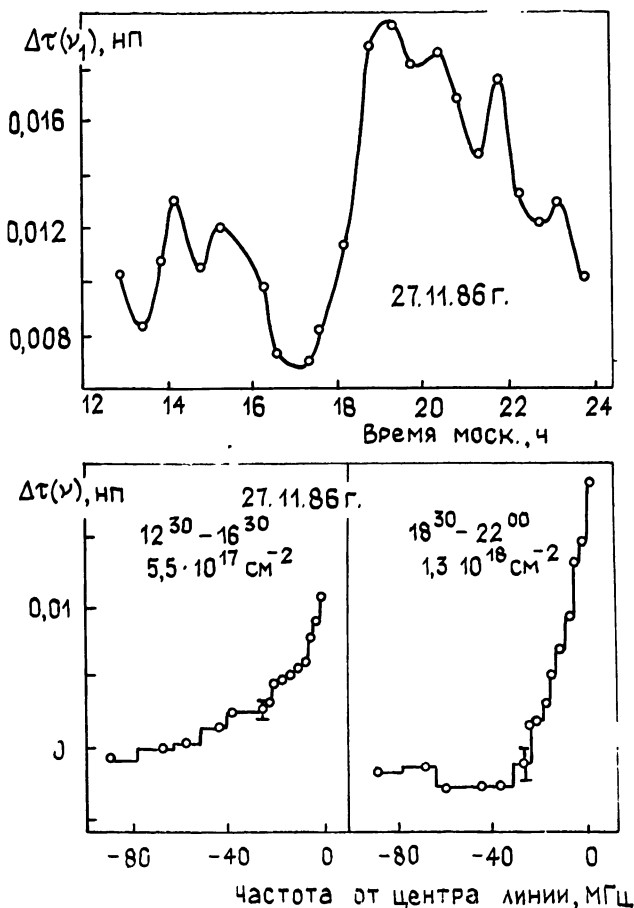


Рис. 2.

В сентябре—декабре 1986 года мы провели наблюдения вращательной линии  $O_3 Q_R(4_0)$ ,  $\nu_{ij}=101736,76$  МГц за Полярным кругом в Апатитах (67° с.ш.). Целью наблюдений по-прежнему было определение временных масштабов вариаций стратосферного озона. Дополнительный интерес к измерениям озона в полярных областях связан с важной проблемой возможного воздействия геомагнитных возмущений на озоносферу. До сих пор получена ограниченная информация о содержании  $O_3$  в высоких широтах, главным образом, из-за отсутствия непрерывных наблюдений в условиях полярной ночи. Во время круглосуточных наблюдений в Апатитах было отмечено, что в отличие от средних широт интенсивность и контур атмосферной линии озона изменялись значительно как в течение суток, так и в отдельные дни. Эта особенность, по-видимому, указывает на сильную изменчивость стратосферного озона в Арктике, которая не позволила выявить суточный ход, отмеченный ранее в умеренных широтах. Иллюстрацией сказанному могут служить результаты измерений

27 ноября 1986 года, приведенные на рис. 2. В верхней части рисунка изображено изменение интенсивности линии, а в нижней — усредненные спектры до и после возмущения, имевшего место около 18 часов московского времени. Расчет показывает, что в течение часа содержание озона выше 30 км увеличилось от  $5,5 \cdot 10^{17}$  мол/см<sup>2</sup> до  $1,3 \cdot 10^{18}$  мол/см<sup>2</sup>, а затем в течение 3—4 часов релаксировало к прежнему уровню. Сильные внутрисуточные вариации озона, отмеченные нами в течение большей части времени наблюдений, вероятно, могут быть связаны с некоторым особым режимом воздушных течений, характерным для арктической стратосферы.

В заключение еще раз подчеркнем, что нам не удалось обнаружить регулярный суточный ход излучения стратосферного озона на широте Полярного круга в длительных наблюдениях. Что касается средних широт, то серии коротких измерений, проведенных с интервалом два года в Алма-Ате и Горьком, указали на наличие регулярных суточных ходов разного знака.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кисляков А. Г., Куликов Ю. Ю., Рыскин В. Г. // Сб.: Спектральные исследования космического и атмосферного излучения. — Горький. ИПФ АН СССР, 1979. С. 84.
2. Куликов Ю. Ю., Рыскин В. Г. // Радиотехника. 1986. № 7. С. 92.
3. Воронов В. Н., Демкин В. М., Куликов Ю. Ю., Рыскин В. Г., Юрков В. М. // Изв. вузов. Радиофизика. 1986. Т. 29. № 12. С. 1403.
4. Herman J. R. // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. P. 3701.
5. Pollister R. C., Tuck A. F. // Q. J. R. Meteorol. Soc. 1983. V. 109. P. 271.
6. Lean J. L. // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. P. 4973.
7. Natarajan M., Callis L. B., Boughner R. E., Russell J. M., Lambeth J. D. // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. P. 1153.
8. Penfield H., Litvak M. M., Gottlieb C. A., Lilley A. E. // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. P. 6115.

Институт прикладной физики  
АН СССР

Поступила в редакцию  
26 июля 1988 г.

УДК 535.233:537.871.5

### ПОЛЯРИЗАЦИЯ УХОДЯЩЕГО СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ДОЖДЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНО НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ИНТЕНСИВНОСТИ

А. Н. Резник

Одной из актуальных задач радиотеплоложации является обнаружение осадков по измерениям уходящего радиоизлучения системы «земная поверхность — атмосфера». Известные методы, использующие пространственно-временные контрасты радиояркостности [1] или особенности спектральных характеристик теплового излучения дождя [2, 3], недостаточно точны из-за больших ошибок при разделении вкладов облачности и дождя в оптическую толщу атмосферы. В связи с этим большой интерес представляет исследованная в работах [4–7] поляризация теплового излучения среды (в частности дождливой атмосферы), в которой наряду с поглощением существенно рассеяние. Измерение поляризации радиоизлучения дождя на см- и мм-волнах позволит различить осадки на фоне облачности. По данным работ [4–7] отмеченный эффект имеет место только при наблюдении под углом от нормали к поверхности земли. Последнее затрудняет обнаружение осадков по уходящему СВЧ излучению, поскольку в этом случае поляризация радиоизлучения дождя должна быть измерена на фоне сильно поляризованного излучения земной поверхности. Отсутствие поляризации у теплового излучения осадков в вертикальном направлении связано с тем, что в работах [4–7] дождь моделировался плоским однородным в горизонтальном направлении слоем. В данной работе исследована поляризация ортогонального по поверхности радиоизлучения, возникающая при учете горизонтальной неоднородности дождя.

Будем считать, что слой дождя толщины  $H$  расположен над плоской водной поверхностью  $z=0$ , а интенсивность дождя  $J$  неоднородна вдоль горизонтальной оси  $y$ , причем  $J = \begin{cases} \text{const}, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases}$ . В области дождя считаем показатели поглощения  $\kappa$  и рассеяния  $\alpha$  постоянными, а вне этой области  $\kappa = \alpha = 0$ . Полагаем, что капли дождя имеют сферическую форму. Перенос теплового излучения в поглощающей и рассеивающей средах со сферическими частицами описывается уравнением [8, 9]

$$n \nabla_R T(n, R) + (\kappa + \alpha) T(n, R) - \alpha \int_{4\pi} d\Omega' \hat{p}(n, n') T(n', R) = \kappa I^0 T_0. \quad (1)$$