

С.П. Перов, Г.М. Крученицкий

## КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОЗОнового СЛОЯ В ТРОПИКАХ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Проанализированы данные по общему содержанию озона (ОСО), полученные с помощью прибора Брюера, который использовался на Тумбе (Южная Индия),  $8^\circ$  с. ш.,  $76^\circ$  в. д. С марта по май 1990 г. исследование спектра мощности ОСО показало наличие нескольких периодов, лежащих в интервале от 5 мин до 8 ч и выполнение «закона  $-5/3$ », который обычно демонстрируется при анализе спектра флуктуаций ветра. Этот факт, по-видимому, подтверждает динамическую природу зарегистрированных колебаний ОСО и их возможную связь с колебаниями вертикальных движений, вызванных гравитационными волнами. Амплитуды и периоды колебаний ОСО показывают 29-дневную периодичность. С помощью специального статистического анализа определены коэффициенты взаимной корреляции между соответствующими периодами, амплитудами и индексами солнечной активности (10,7 см). Максимальная величина этого коэффициента составляет около 0,8 для периода 6–8 ч.

В январе–мае 1990 г. в ходе выполнения международной программы DYANA были проведены синхронные измерения различными методами многих динамических характеристик и химического состава средней атмосферы, в том числе и озона [1]. Измерения ОСО над ракетным полигоном TERLS (Thumba Equatorial Rocket Launching Station) проводились с помощью автоматического спектрофотометра Брюера N 44.

Первые результаты анализа поведения ОСО в тропической и среднеширотной зонах опубликованы в [2]. При этом были использованы среднедневные значения ОСО. Ниже мы приводим результаты анализа поведения ОСО внутри каждого суточного (дневное время) интервала из 47 успешных дней наблюдений. Насколько нам известно, это было первое применение прибора Брюера в жестких тропических условиях. Для уменьшения влияния влажности и создания благоприятного температурного режима прибор продувался сухим аргоном или азотом.

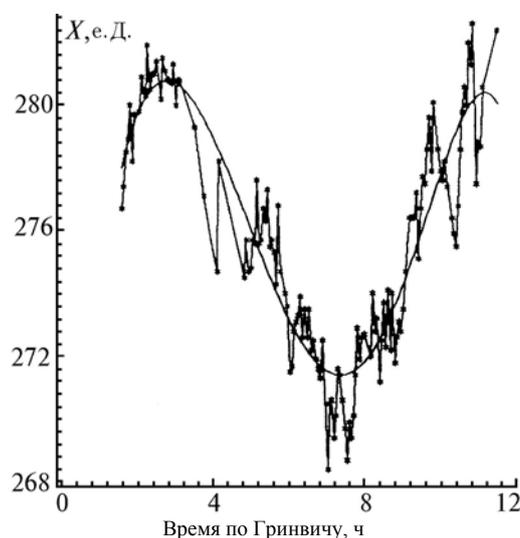


Рис. 1. Дневной ход ОСО 26 апреля 1990 г., гринвичское время, указанное на шкале, меньше среднеиндийского на 5,5 ч

Согласно [3] точность измерений ОСО по прямому Солнцу составляет 1%. До транспортировки прибора в Индию он прошел сверку с эталонным с/ф Брюера N 017, а после наблюдений в Индии — с тем же прибором в сентябре 1991 г. В первом случае разница составляла менее

1%, во втором – менее 1,5% [4]. Здесь речь идет об абсолютной точности измерений, привязанной к мировой шкале. Относительная точность, что важно для регистрации короткопериодных колебаний ОСО с амплитудой менее 1 е.Д. (1 единица Добсона = 0,001 атмосферы-см), существенно выше, в чем легко убедиться из рис. 1, на котором изображен дневной ход ОСО в один из дней наблюдений. Помимо 8-часовой гармоник здесь отчетливо прослеживаются 80-минутная и более короткопериодные гармоник. Каждая из 120 экспериментальных точек на этом графике представляет среднее значение из 5 последовательных измерений с шагом менее 1 мин.

К сожалению, в некоторые дни из-за плохой погоды или по другим причинам однородность ряда в течение дня нарушалась, что не позволяло надежно определять амплитуду и период колебаний ОСО, и поэтому в анализе использованы только выборочные, наиболее надежные данные.

В таблице приведены диапазоны периодов  $T$  и амплитуд колебаний ОСО  $dX$  для трех групп экспериментальных значений  $N$ . Отметим, что практически отсутствует информация в следующих интервалах: 20–70 и 140–250 мин.

$N$	$T$ , мин	$dX$ , е. Д.
16	7–30	0,7–1,4
21	70–140	1,2–3,0
33	200–650	2,0–6,0

Прибор Брюера может использоваться и для определения ОСО по Луне в период полнолуния, обычно 5–6 дней. В этом случае большую роль играет высота Луны над горизонтом из-за ослабления и без того слабого потока УФ-радиации от Луны. Это иллюстрируется ходом нижней кривой на рис. 2, где хорошо видно это ослабление по мере опускания Луны к горизонту во второй половине ночи.

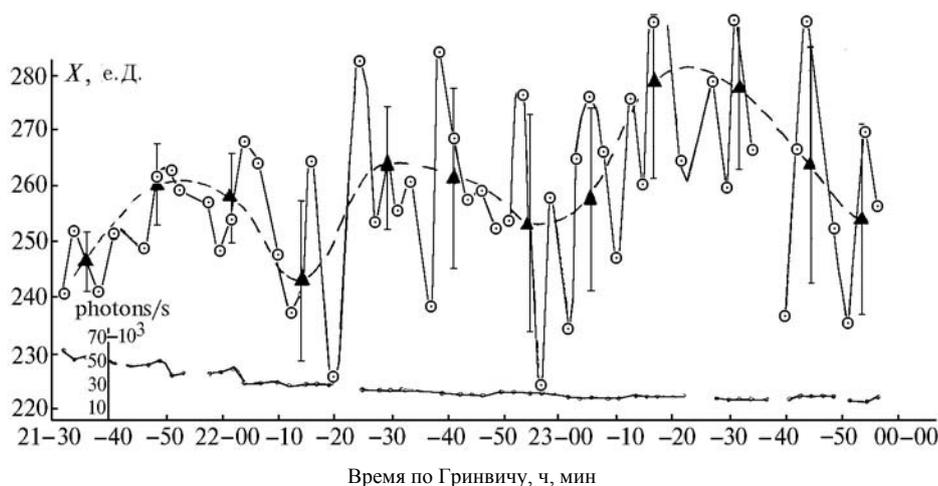


Рис. 2. Ночной ход ОСО при измерениях прибором Брюера по полной Луне. В нижней части рисунка приведен ход интенсивности УФ-излучения в одном из спектральных каналов

Отметим две особенности достаточно типичного для этой экспедиции ночного поведения ОСО. Во-первых, замечен период 45–50 мин, отсутствующий в дневных измерениях, с довольно большой амплитудой – около 10 е.Д. Во-вторых, замечен общий положительный тренд (около 20 е.Д. за 2,5 ч) ОСО, который можно интерпретировать как «след» от более низкочастотной, например 8-часовой гармоник (в другие периоды полнолуния наблюдался отрицательный тренд ОСО в первой половине ночи). Отметим также, что дисперсия отдельных измерений ОСО (по 5 точкам с интервалом 2,5 мин), как видно из рис. 2, возрастает от 5 е.Д. при интенсивности в одном из выбранных для этого прибора спектральных интервалов –  $50 \cdot 10^3$  квант/с до 15 е.Д. при уменьшении этой интенсивности в 2,5 раза. Таким образом, идентификация самых короткопериодных колебаний ОСО ночью становится ненадежной.

На рис. 3 представлена зависимость спектральной мощности колебания ОСО только для дневных условий в  $(dx)^2/F$  от частоты  $F = 1/T$ , а также результаты из [5]. Все данные удовлетворительно аппроксимируются известной зависимостью « $-5/3$ », описывающей обычно изменчивость характеристик трех составляющих ветра в атмосфере при анализе наблюдений внутренних гравитационных волн (ВГВ). В то же время надо отметить некоторое расхождение настоящих данных с данными работы [5] в области частот  $10^{-4}$ – $3 \cdot 10^{-4}$  1/с: амплитуды колебания ОСО меньше в тропиках, чем в умеренных широтах, что можно объяснить различием в профилях температуры, озона и характеристик ВГВ. Спектр ВГВ, например, богаче в средних широтах (см. рис. 3).

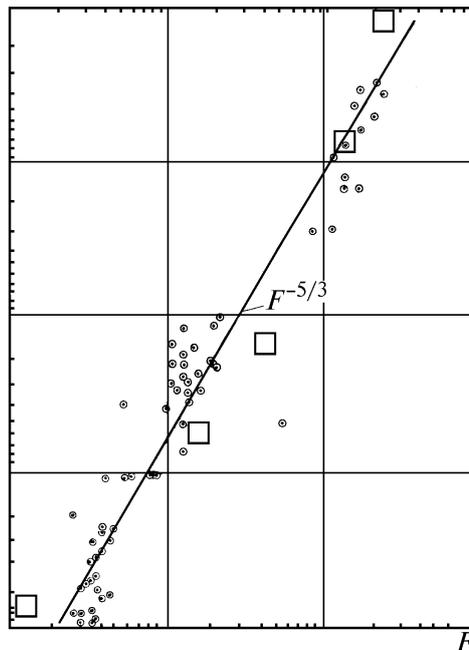


Рис. 3. Зависимость спектральной мощности колебаний ОСО от частоты колебаний. Данные для умеренных широт (квадраты) взяты из [5]

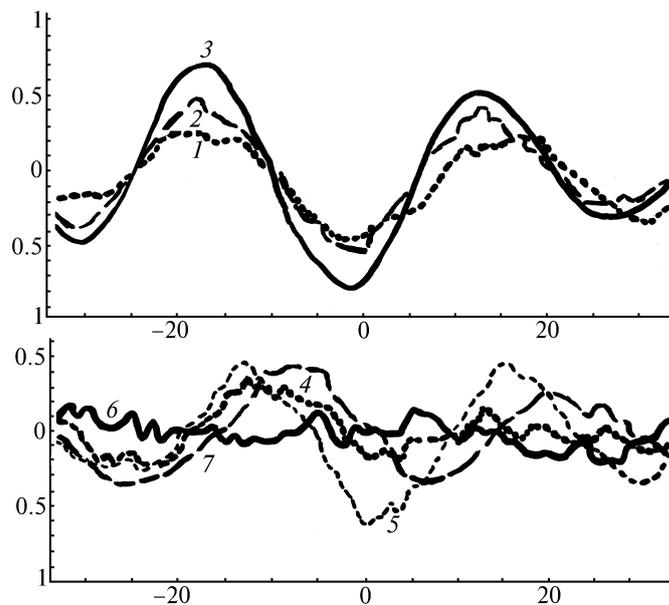


Рис. 4. Интеркорреляционные функции, характеризующие связь между индексом солнечной активности, периодом и амплитудой колебаний ОСО для трех диапазонов частот этих колебаний. Кривые 1–3; 4 и 5; 6 и 7 характеризуют 3 диапазона периодов, соответственно 200–650, 70–140, 7–30 мин. При этом кривые

1, 4, 6 относятся к амплитудам, а 2, 3, 5, 7 – к периодам колебаний ОСО; 3 – использованы отфильтрованные данные. По горизонтальным осям – лаги в днях

Наиболее интересный результат анализа наших данных представлен на рис. 4, где изображены кросскорреляционные функции, описывающие поведение периодов и амплитуд колебаний ОСО в трех диапазонах (указанных выше) в связи с так называемой 27-дневной солнечной активностью, три полных периода которой были сопоставлены с общей длительностью наших наблюдений. Наиболее отчетливо высокая антикорреляция индекса активности Солнца на частоте 2800 МГц появляется для периодов в диапазоне 200–650 мин колебаний и с тем бóльшим коэффициентом корреляции, чем больший период или амплитуда колебаний ОСО анализируются. Хорошо видно, что для самых высоких частот – 7÷30 мин – еще заметна корреляционная связь периода с солнечным индексом, в то время как для амплитуд этих колебаний она практически отсутствует.

Причины столь значительного суточного хода ОСО следует искать в суточном ходе динамических характеристик ветра и особенно его вертикальной составляющей. В период проведения кампании DYANA в экваториальной части Индийского океана были проведены три суточные серии запусков метеорокетов М-100Б с аппаратурой для измерения температуры, плотности воздуха и скорости и направления ветра в страто-мезосфере и учащенные запуски радиозондов. Анализ полученных данных показал значительные отклонения в бóльшую сторону (на 1–2 порядка) от теоретических значений суточных и полусуточных колебаний ветра [6] и наличие 8-часовой гармоник [7].

Суточный ход концентрации озона выше 25–30 км подтверждается также данными ракетных экспериментов на полигоне TERLS, проведенных в ходе выполнения трех советско-индийских озонных кампаний 1983, 1987 и 1990 гг. и независимыми данными японских исследователей по наблюдению суточного хода концентрации озона радиометодом с Земли на различных уровнях стратосферы и мезосферы [8]. Причем в последнем случае в силу существенно более высокой статистической обеспеченности наблюдений надежно зарегистрирована 8-часовая гармоника изменений озона в верхней стратосфере.

Значительно труднее объяснить влияние солнечной активности. Спутниковые наблюдения показывают хорошую корреляцию озона и температуры с 27-дневной изменчивостью УФ-радиации в фотохимической области тропической озоносферы, однако величины этих измерений составляют несколько градусов по температуре и до 10% в озоне [9], и этим, по-видимому, трудно объяснить возможное влияние изменений термодинамических характеристик атмосферы на изменение спектра ее колебаний. Более физичным может выглядеть механизм влияния солнечной активности на изменчивость галактических космических лучей, ионизирующих нижнюю стратосферу и создающих некоторую модулирующую ядра конденсации. Имеются свидетельства связи изменений ГКЛ и осадкообразования в тропиках [10]. В этом случае появляется мощный модулированный источник тропосферных колебаний, могущий воздействовать на спектр колебаний и в стратосфере, куда проникают ВГВ.

В заключение следует сказать, что с появлением на станциях мировой озонметрической сети приборов Брюера (сейчас их насчитывается уже более 100) открываются новые возможности исследования спектра колебаний атмосферы не только в локальном, но и в более широком пространственном масштабе, например при изучении такого важного для физики атмосферы глобального и регионального явления, как атмосферный термический прилив, характеристики которого оказались существенно отличными от предсказываемых ранее [6, 7, 11].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект N 96-05-66003.

1. Offerman D. Int. Symp. On Middle Atm. Sciences (Abstr.). Kyoto. 1992. P. 135.
2. Ишов А.Г., Перов С.П., Семенов В.К. Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 7. С. 739–743.
3. Brewer Ozone Spectrophotometer Operator Manual, Canada, 1987.
4. Ishov A. G. Ozone in the Troposphere and Stratosphere, Part 2. NASA Conf. Publ. 3266. 1994. P. 667–670.
5. Кузнецов Г.И. //Труды Всес. Собрания по атм. озону. 1977. М.: Гидрометеоздат, 1980. С. 16–24.
6. Krishna Murthy B.V. et al. //Atm. Ter. Phys. 1992. V. 54. N 7/8. P. 881–891.
7. Perov S. P. et al. Int. Symp. On Middle Atm. Science. (Abstracts). Kyoto, 1992. P. 60.
8. Kavabata K. et al. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. 1992. V. 44. N 11. P. 1085–1096.
9. Keating G. M. et al. Ozone in the Atmosphere. Proc. Quadr. Ozone Symp. 1988. A Deepak Publ. 1989. P. 375–379.
10. Stozhkov Yu. I. //Nuovochimento. 1995. V. 18F. N 3. P. 335–341.
11. Dudhia A. et al. //Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. N 12. P. 1251–1254.

Центральная аэрологическая обсерватория,  
г. Долгопрудный Московской обл.

Поступила в редакцию  
8 апреля 1996 г.

S. P. Perov, G. M. Kruchenitsky. **Ozone Layer Short-Term Oscillations in Tropics and the Solar Activity.**

Total ozone data (TO), obtained with the help of Brewer instrument, which was operated on Thumba in Southern India (8 N, 76 W) from March to May of 1990 are analyzed. Power spectrum studies of the TO show a number of periods ranging from 5 min to 8 hour and the “ $-5/3$  law” fulfilment. This law is often demonstrated when the wind fluctuations are analyzed. This fact seems to confirm the dynamical nature of TO oscillations and their possible connections with vertical wind oscillations caused by gravity waves. Amplitudes and periods of the TO oscillations show the 29-day periodicity. With the help of special statistical analysis, the coefficients of the intercorrelations between the corresponding periods and amplitudes and the solar activity (10,7 cm) indexes are estimated. The highest value of this coefficient is  $-0,8$  for the period of 6–8 hours.