

Л.С. Ивлев, О.В. Максименко, А.В. Шашкин

О КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЯХ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА И ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Рассмотрены два внешних фактора, определяющие короткопериодические вариации содержания озона: квазипятиминутные вариации интенсивности солнечной радиации на уровне подстилающей поверхности и терминаторные внутренние гравитационные волны (ВГВ). Выдвинута гипотеза, объясняющая механизм возникновения короткопериодических вариаций содержания озона.

Изучение процессов, определяющих режим озона как сумму регулярных и случайных временных вариаций O_3 , позволяет более детально моделировать механизмы образования/разрушения динамики и переноса этого важнейшего компонента атмосферы. Определенный методологический интерес представляет проблема выделения регулярных вариаций содержания озона и факторов их вызывающих.

Согласно [1] факторы, определяющие режим озона, можно условно разделить на две группы:

- а) внутренние или географические факторы, определяющие формирование и режим озона процессами, присущими самой атмосфере;
- б) внешние, в первую очередь гелиофизические факторы.

В настоящей статье рассматриваются факторы, принадлежащие ко второй группе.

1. Летом 1988 г. в пос. Даймище были выполнены наблюдения вариаций общего содержания озона (ОСО). Измерения выполнялись при помощи автоматического спектрального комплекса (АСК), созданного на базе системы «КСВУ-6» (производство ЛОМО) и обладающего большой чувствительностью и стабильностью [2]. Наводка на Солнце осуществлялась фотоэлектрической следящей системой с точностью 1'. Угол зрения прибора составлял около 20', спектральное разрешение около 2 Å.

Для работы были выбраны четыре длины волн: $\lambda_1 = 3199$, $\lambda_2 = 3212$, $\lambda_3 = 3225$, $\lambda_4 = 3238$ Å (эти длины волн расположены в соседних максимумах и минимумах коэффициента поглощения озона). Выбор сравнительно узкого спектрального интервала позволяет уменьшить время его сканирования, которое в данном случае составляет около четырех секунд. Кроме того, на таком узком спектральном интервале аэрозольная и молекулярная составляющие спектральной оптической толщины могут с высокой точностью аппроксимироваться линейными зависимостями от λ .

Логарифмируя спектральные отсчеты (L_{ij}) и используя закон Бугера, запишем:

$$L_{ij} = L_{0i} - m_a \tau_{aij} - m_m \tau_{mij} - m_3 X_j \alpha_i, \quad i = \overline{1, 4}; \quad j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где i — одна из четырех длин волн; j — номер одного из измеренных спектров; L_{0j} — внеатмосферное значение; m , m_m , m_3 — спектральные оптические массы аэрозольной, молекулярной и озонной компонент соответственно; X_j — общее содержание озона; α_i — коэффициент поглощения озона.

Возьмем первую производную от (1) по λ . В силу линейности $\tau_{aij}(\lambda)$ и $\tau_{mij}(\lambda)$ на рассматриваемом интервале длин волн, второй и третий члены в правой части производной становятся пренебрежимо малы. Следовательно, вторая и третья производные от (1) по λ должны включать в себя в правой части лишь два члена: «озонный» и «внеатмосферный»:

$$\left. \begin{aligned} L_{ij}^{(2)} &= (L_{01} - 2L_{02} + L_{03}) - m_3 X_j (\alpha_1 - 2\alpha_2 + \alpha_3), \\ L_{ij}^{(3)} &= (L_{01} - 3L_{02} + 3L_{03}) - L_{04} - m_3 X_j (\alpha_1 - 3\alpha_2 + 3\alpha_3 - \alpha_4) \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Как видно из вышесказанного, изменчивость производных $L_{ij}^{(2)}$ и $L_{ij}^{(3)}$ связана линейной зависимостью с изменчивостью ОСО (X_j). В дальнейшем используем этот факт для анализа короткопериодических вариаций содержания озона.

2. Каждое наблюдение представляет собой временной ряд отсчетов ОСО протяженностью 1 ... 2 ч. По методике, описанной в [3], была произведена обработка наблюдений с целью выявления регулярных вариаций содержания озона. В таблице в качестве примера представлены результаты анализа рядов ОСО от 17 июня 1988 г., где T_1 и T_2 — периоды, A_1 и A_2 — амплитуды 1-й и 2-й гармоники соответственно.

Таблица

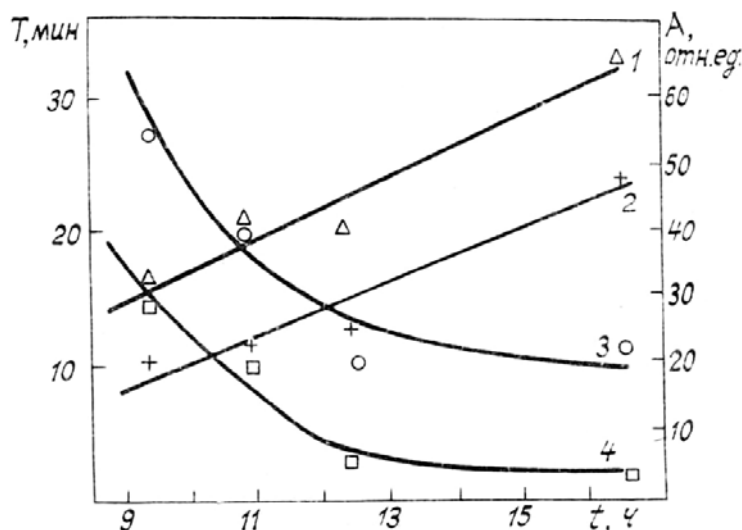
Время (ч, мин)	T_1 , мин	A_1 , отн. ед.	T_2 , мин	A_2 , отн. ед.
09.21	15,5	60,0	10,0	28,0
10.49	19,0	40,0	11,0	20,0
12.18	20,0	15,0	12,0	5,0
16.24	35,0	25,0	23,0	3,0

Из таблицы хорошо видно, что в течение дня происходит размывание волны ОСО, затухание ее. Об этом говорит увеличение периодов гармоник и уменьшение их амплитуд. Как видно из рисунка, в течение дня происходит практически линейное увеличение периодов T_1 и T_2 и монотонное уменьшение амплитуд A_1 и A_2 .

Это указывает на то, что причиной возникновения исследуемых колебаний должен быть какой-то разовый спусковой механизм. Таким спусковым механизмом может быть солнечный терминатор. В пользу этого свидетельствуют следующие факты. Согласно [4–7] при прохождении солнечного терминатора через атмосферу в ней генерируется пакет воли давления (внутренние гравитационные волны — ВГВ). Период основной гармоники этих ВГВ равен нескольким минутам. Амплитуда этой гармоники может превосходить амплитуды остальных волн пакета на порядок. Период и амплитуда основной гармоники зависят от соотношения скорости движения терминатора и скорости звука в атмосфере ВГВ, вызванные прохождением терминатора, генерируют колебания ОСО. Эти терминаторные волны (ВГВ и волна ОСО, вызванная ВГВ) в силу отсутствия притока энергии должны затухать к концу дня.

Именно такая картина (см. таблицу и рис. 1) наблюдается в реальной атмосфере. Озон в данном случае выступает как атмосферный трассер, прослеживающий развитие терминаторной ВГВ. Однако наблюдения такой волны могут быть реализованы преимущественно в равнинной местности. В горах эти наблюдения сильно затруднены, так как ВГВ, вызванные орографией местности, смазывают и заглушают терминаторные ВГВ.

3. В [2, 3, 8–10] анализировались наблюдения короткопериодических вариаций концентрации приземного озона (КПО) и интенсивности солнечной радиации (ИСР) на уровне подстилающей поверхности. Была выдвинута фотохимическая гипотеза происхождения вариаций КПО. Авторам настоящей статьи представляется возможность совместить фотохимическую гипотезу и гипотезу терминаторной ВГВ для объяснения короткопериодических вариаций КПО.



Результаты анализа рядов ОСО от 17 июня 1988 г.: 1—период T_1 ; 2—период T_2 ; 3—амплитуда A_1 ; 4 — амплитуда A_2

Терминаторная ВГВ в момент возникновения имеет период $T_0 \approx 2 \dots 3$ мин (согласно [4, 5]). ИСР в приземном слое в момент прохождения терминатора незначительна и поэтому возникшие колебания КПО имеют период, равный T_0 , и небольшую амплитуду. (Малая величина амплитуды обусловлена низким содержанием озона в приземном слое атмосферы в ночные и предрассветные часы).

Далее в действие вступает фотохимический механизм образования/разрушения озона. КПО возрастает, и одновременно увеличивается амплитуда колебаний КПО. Период терминаторной волны равен $\Gamma_0 \approx 5 \dots 7$ мин. В то же время один из основных «пиков мощности» колебаний солнечного фотосферного излучения в короткопериодической области лежит в пределах $2 \dots 4,5$ мГц, что соответствует диапазону периодов $3,7 \dots 8,3$ мин [11].

Как показано в [2, 8, 10], под воздействием колебаний ИСР возникают колебания КПО с периодами, равными периодам колебаний ИСР. В результате получается следующая картина. Колебания, вызванные терминаторной ВГВ, и колебания, индуцированные ИСР, складываются. Ввиду случайной разности фаз, случайного изменения разности фаз, изменения периодов складываемых колебаний эти колебания взаимодействуют таким образом, что образуются две значимых полосы колебаний с периодами, лежащими в пределах $3,7 \dots 8,3$ и $1,7 \dots 3,7$ мин [2], так называемые «пятиминутная» и «трехминутная» полосы [11]. Случайным характером взаимодействия колебаний, вызванных ИСР и ВГВ, можно объяснить также тот факт, что наблюдаемые КПО представляют собой волновые пакеты протяженностью $0,4 \dots 1,8$ часа. Кроме того, на протяженность волновых пакетов оказывает огромное влияние регулярность притока фотохимических реагентов, участвующих в образовании озона в приземном слое атмосферы (например, NO_x , CH_4 , OH и др).

Тот факт, что амплитуды наблюдаемых вариаций ИСР составляют $0,5 \dots 6\%$ от среднего уровня, а амплитуды вариаций КПО — $7 \dots 40\%$ от среднего уровня, может быть объяснен следующим образом. Во-первых, в зависимости от содержания в атмосфере окислов азота при окислении одной молекулы метана может образовываться до четырех молекул озона [12]. Во-вторых, возможно увеличение квантового выхода фотоллиза озона в присутствии некоторых примесных газов [13]. В-третьих, нужно учитывать возможные резонансные эффекты при сложении колебаний КПО, вызванных терминатором и ИСР.

1. Кузнецов Г. И. // Атмосферный озон/Труды VI Всесоюз. симпозиума (Ленинград, 15–17 мая 1985 г.). Л.: Гидрометеоздат, 1987. С. 209–217.
2. Ивлев Л. С., Кондратьев К. Я., Максименко О. В. и др. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 11. С. 81–88.
3. Ивлев Л. С., Максименко О. В., Сирота В. Г. // Доклады АН СССР. 1988. Т. 303. № 3. С. 589–591.
4. Васильев В. П. // Кинематика и физика небесных тел. 1987. Т. 3. № 6. С. 3–9.
5. Васильев В. П., Калинин А. И. // Проблемы ядерной физики и космических лучей. 1983. Вып. 19. С. 61–70.
6. Сомсиков В. М. Солнечный терминатор и динамика атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1983. 192 с.
7. Сомсиков В. М., Троицкий Б. В. // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. 15. № 5. С. 856–860.
8. Ивлев Л. С., Максименко О. В., Сирота В. Г. и др. // Всесоюз. конф. по атмосферному озону (2–6 октября 1988 г., г. Суздаль). (Тезисы докл.). Долгопрудный. 1988. С. 109.
9. Борисов В. В., Ивлев Л. С., Сирота В. Г. // Атмосферный озон. Труды VI Всесоюз. симпозиума (Ленинград, 15–17 мая 1985 г.). Л.: Гидрометеоздат, 1987. С. 143–146.
10. Ивлев Л. С., Максименко О. В., Сирота В. К. // Распространение оптических волн в атмосфере и аддитивная оптика. Томск: ТНЦ СО АН СССР, 1988. С. 85–89.
11. Thomas J. H., Lites B. W., Gurman J. B., Ladd E. F. // Astrophys. J. 1987. V. 312. № 1. P. 457–461.
12. Александров Э. Л., Кароль И. Л., Ракипова Л. Р. и др. // Атмосферный озон и изменения глобального климата. Л.: Гидрометеоздат, 1982.

Ленинградский госуниверситет

Поступила в редакцию
20 марта 1990 г.

L. S. Ivlev, O. V. Maksimenko, A. V. Shashkin. **Short-Term Ozone and Solar Irradiance Variations near the Ground.**

The authors consider two external factors that cause short-term ozone variations. The first factor is the five minute variation of solar irradiance, and the second one is the terminator's waves of pressure. The hypothesis is proposed which interprets the mechanism of the short-term ozone variations origin.