

А.Г. Ишов, С.П. Перов, В.К. Семенов

СИНХРОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В ТРОПИЧЕСКОЙ И СРЕДНЕШИРОТНОЙ ЗОНАХ В МАРТЕ—МАЕ 1990 Г.

В марте—мае 1990 г. были проведены синхронные измерения общего содержания озона высокоточной спектрометрической аппаратурой (спектрофотометр Брюера № 044 НПО «Тайфун» и озонометрическая установка СФСУ Кыргызского госуниверситета, прошедшие накануне эксперимента взаимную сверку и сверку с международным эталонным спектрофотометром Брюера № 017) на двух станциях (оз. Иссык-Куль и Тумба, Индия), расположенных на одной и той же долготе 77° в. д. и разнесенных по широте примерно на 34° , причем одна из них (Тумба) расположена в тропиках ($8,53^\circ$ с. ш.), а другая — в средних широтах ($42,62^\circ$ с. ш.). Между изменениями в среднедневных значениях общего содержания озона над оз. Иссык-Куль и в значениях потока солнечного излучения на частоте 2800 МГц обнаружена статистически значимая корреляционная связь. В случае тропиков признать такую связь статистически значимой нет оснований.

В марте—мае 1990 г. в рамках международной программы DYANA [1] были проведены синхронные измерения общего содержания озона высокоточной спектрометрической аппаратурой на двух станциях (оз. Иссык-Куль, Кыргызстан и Тумба, Индия), расположенных примерно на одной и той же долготе (соответственно $76,98$ и $76,87^\circ$ в.д.) и разнесенных по широте примерно на 34° , причем одна из них (Тумба) расположена в тропиках ($8,53^\circ$ с.ш.), а другая (оз. Иссык-Куль) — в средних широтах ($42,6^\circ$ с.ш.). Измерения общего содержания озона над Тумбой проводились по прямому солнцу (DS-измерения) с помощью спектрофотометра Брюера № 044, разработанного фирмой SCI—TEC (Канада) при постоянном участии Канадского центра атмосферных исследований (AES) и находящегося в постоянной эксплуатации в НПО «Тайфун» Госкомгидромета (г. Обнинск). Согласно [2] точность DS-измерений общего содержания озона составляет 1%. Накануне рассматриваемого синхронного эксперимента (тропики—средние широты) спектрофотометр Брюера № 044 прошел сверку с эталонным спектрофотометром Брюера № 017 в г. Алма-Ате, расположенном севернее оз. Иссык-Куль примерно на 70 км. Расхождения в показаниях озона двух приборов так же, как и расхождения в показаниях спектрофотометра Брюера № 017 и эталонного спектрофотометра Добсона № 093 (Боулдер, США), составляли не более 1% [3]. Измерения общего содержания озона над оз. Иссык-Куль проводились с помощью озонометрической установки СФСУ, созданной в Кыргызском госуниверситете. Сверка ее со спектрофотометром Брюера № 044 проводилась в октябре 1989 г. Расхождения в показаниях двух приборов составляли не более 1%, если отсутствовала сильная дымка [4]. Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что используемые в настоящей статье экспериментальные данные по общему содержанию озона хотя и получены с помощью различных измерительных систем, но имеют примерно одну и ту же точность и привязку к мировой озонометрической шкале.

На рис. 1, а, б, в представлены соответственно графики среднедневных значений общего содержания озона над Тумбой, над оз. Иссык-Куль и график потока солнечного излучения на частоте 2800 МГц. На оси абсцисс значение $n = 10$ соответствует 14 марта 1990 г., $n = 20$ — 24 марта 1990 г., $n = 30$ — 3 апреля 1990 г. и т.д. Значения потока солнечного излучения на частоте 2800 МГц за рассматриваемый период март—май 1990 г. имеют два максимума при $n_1 = 18$ и $n_2 = 47$ и три минимума при $n_3 = 7$, $n_4 = 36$ и $n_5 = 61$. Поскольку $n_2 - n_1 = 29$, $n_4 - n_3 = 29$, $n_5 - n_4 = 25$, $n_5 - n_3 = 54$, то можно предположить, что наличие указанных экстремумов обусловлено известными 27-дневными вариациями в солнечной активности.

Качественный анализ информации, представленной на рис. 1, дает основания полагать, что общее содержание озона в столбе атмосферы может синхронно изменяться вместе с изменением солнечной активности. В момент появления первого максимума в значениях потока солнечного излучения однозначно просматриваются максимумы в значениях общего содержания озона как в тропиках, так и в средних широтах. Синхронность появления максимумов во второй раз несколько нарушается, но сам факт их существования не вызывает сомнений. При этом не следует забывать, что вариации в значениях общего содержания озона, обусловленные вариациями солнечной активности, могут в значительной степени маскироваться динамическими процессами в нижних слоях атмосферы. Отметим, что устойчивость погодных условий в период около $n = 45$ была заметно слабее, чем в начале рассматриваемого эксперимента.

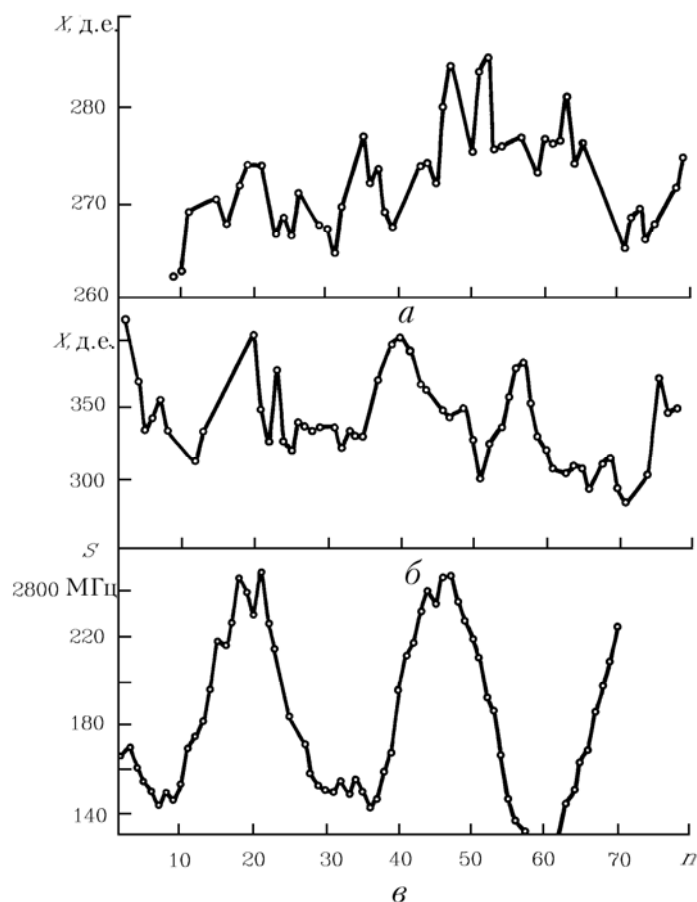


Рис. 1. Среднедневные значения общего содержания озона в единицах Добсона, полученные при измерениях по прямому Солнцу: *а* – с помощью спектрофотометра Брюера № 044, в тропиках над Тумбой (Индия, 8,53°с.ш., 76,87°в.д.); *б* – с помощью озонометрической установки СФСУ Кыргызского госуниверситета, в средних широтах над оз. Иссык-Куль (42,62°с.ш., 76,98°в.д.); *в* – поток солнечного излучения на частоте 2800 МГц

Перейдем к количественному анализу полученного экспериментального материала. В таблице представлены значения выборочной корреляции $r = \rho_{xy}(0)$ между рядами с данными по общему содержанию озона и солнечной активности, причем для каждой пары рядов рассмотрены 3 случая: первый – ряды начинаются с $n_H = 9$ и оканчиваются $n_K = 71$ (весь период эксперимента), второй – $n_H = 9$, $n_K = 30$ (первый период эксперимента при устойчивых погодных условиях) и третий – $n_H = 31$, $n_K = 71$ (второй период эксперимента – с менее устойчивыми условиями). Расчеты проводились по формулам:

$$\rho_{xy}(i) = \frac{s_{xy}(i)}{\sqrt{s_{xx}(0) s_{yy}(0)}}; s_{xy}(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{\kappa=1}^{N-i} [x(\kappa) - \bar{x}][y(\kappa+i) - \bar{y}], \quad (1)$$

где \bar{x}, \bar{y} – выборочные средние; N – длина ряда. Ответ на вопрос, имеется ли значимая корреляционная зависимость между рассматриваемыми рядами (отрезками рядов), будем давать по следующей приближенной схеме, основанной на z -преобразовании Фишера [5]. Гипотеза $r = 0$ (нет значимой корреляционной связи) принимается при 5%-м уровне значимости, если

$$z = \frac{\sqrt{N-3}}{2} \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right) \quad (2)$$

попадает в промежуток $[-1,96; +1,96]$, и отклоняется – в противном случае. Значения параметра z также даны в таблице.

Из таблицы видно, что между изменениями общего содержания озона над оз. Иссык-Куль и изменениями солнечной активности имеется значимая (при 5%-м уровне) корреляционная зависимость. Согласно принятой нами схеме аналогичную корреляционную зависимость в случае измерений над Тумбой в тропиках признать статистически значимой нет оснований. Напомним только при этом общеизвестный факт, что наблюдаемые вариации общего содержания озона в тропиках заметно слабее

аналогичных вариаций в средних широтах. Например (см. рис. 1), общее содержание озона над оз. Иссык-Куль изменяется от 275 до 397 Д. е. при среднем значении 340 Д. е., а над Тумбой — от 262 до 286 .е. при среднем значении 273 Д. е., т. е. в первом случае вариации составляли 37% от среднего значения, а во втором — 9%.

Значения выборочной корреляции r (1) и параметра Фишера z (2) для временных рядов, начало и конец которых определяется значениями соответственно n_n и n_k

Станция	n_n	n_k	r	z
	9	71	0,08	0,62
Тумба.	9	30	0,13	0,66
Индия	9	71	0,28	2,21
Оз. Иссык-	9	30	0,56	3,32
Куль	31	71	0,07	0,43

На рис. 2, *а* представлены графики автоковариационных и ковариационной функций для измерений над оз. Иссык-Куль. Расчеты проводились также по формулам (1), в которых индекс запаздывания i принимал значения от -30 до $+30$. Автоковариационная функция для ряда со значениями потока солнечного излучения имеет максимум при $i = 0$, два второстепенных максимума при $i = -26$ и $i = +26$ и два минимума при $i = -13$ и $i = +13$. Ее вид позволяет однозначно заключить, что наблюдаемые изменения в потоке солнечного излучения действительно обусловлены известными 27-дневными вариациями в солнечной активности. Автоковариационная функция для ряда со значениями общего содержания озона имеет главный максимум при $i = 0$ и два второстепенных максимума при $i = -19$ и $i = +19$. Ковариационная функция для двух рассматриваемых рядов имеет два ярко выраженных максимума при $i = +2$ и $i = +28$.

Таким образом, представленные графики говорят о том, что имеется связь между изменениями в значениях общего содержания озона над оз. Иссык-Куль и изменениями в потоке солнечного излучения на частоте 2800 МГц, обусловленными 27-дневными вариациями в солнечной активности. При этом, как уже говорилось, такая связь является статистически значимой.

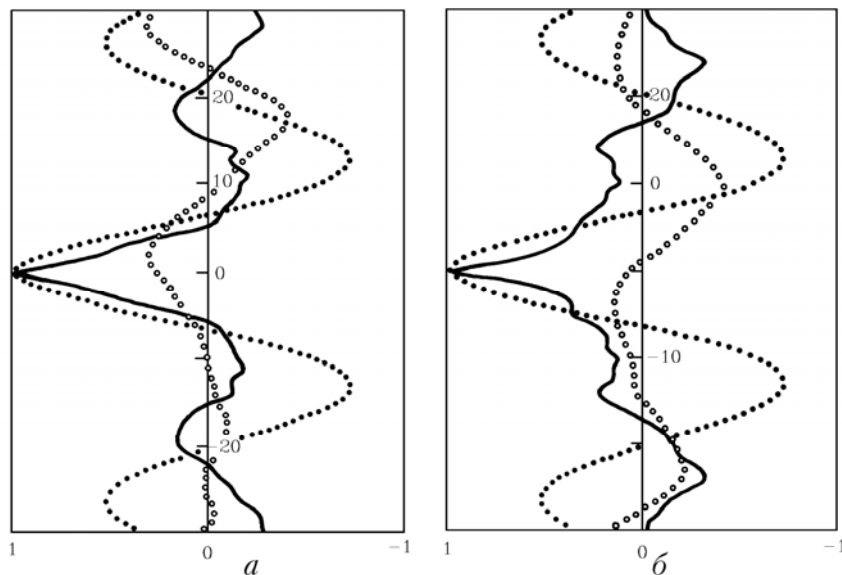


Рис. 2. Автоковариационная функция для ряда со значениями потока солнечного излучения на частоте 2800 МГц (точечная кривая), автоковариационная функция для ряда со значениями общего содержания озона (сплошная кривая), ковариационная функция для двух названных рядов (кружочки): *а* — над оз. Иссык-Куль, *б* — над Тумбой (тропики)

Аналогичные графики для измерений над Тумбой представлены на рис. 2, *б*. Литоковариационная функция для озонного ряда имеет главный максимум при $i = 0$ и два второстепенных при $i = -14$ и $i = +14$. Ковариационная функция имеет максимумы при $i = -4$ и $i = +24$ и минимумы при $i = -23$ и $i = +9$. Качественный вид последней кривой также указывает на наличие связи в увеличении общего содержания озона при увеличении потока солнечного излучения, хотя количественно про нее нельзя сказать, что она является статистически значимой. Это обусловлено, по-видимому,

более слабыми по сравнению со средними широтами изменениями в значениях общего содержания озона, что является характерным для тропиков. Отметим также, что в случае тропиков увеличение общего содержания озона отстает по времени от увеличения потока солнечного излучения на 4 суток.

1. D Y A N A . Dynamics Adapted Network for the Atmosphere. Campaign Handbook. Part III. December 1990. 232 p.
2. Brewer ozone spectrophotometer. Operator's manual. SCI-TEC Instrument Inc. Canada, 1985.
3. Geophysical Monitoring for climatic change. № 16. Summary report 1987. Boulder, 1988.
4. Ишов А.Г., Нехорошева О.М., Семенов В.К. Результаты сверточных испытаний озонметрических приборов на станции регулярных измерений общего содержания озона «Иссык-Куль». Труды ИЭМ, 1991. С. 59–66.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1. М.: Финансы и статистика, 1986.

НПО «Тайфун», Институт экспериментальной метеорологии,
Обнинск

Поступила в редакцию
12 февраля 1992 г.

A. G. I shov, S. P. P erov, V. K. S emenov. S ynchronous Measurements of the Ozone Content in the Tropical and Midlatitude Zones in March—May, 1990.

During the period from March to May of 1990 a series of synchronous measurements of the total ozone content have been conducted at the Lake of Issyk-Kul', Kurgyzstan and Tumba, India located at the same longitude of 77°W but at latitudes, respectively, 42.62° and 8.53°N. Measurements have been carried out using a highly precise instrumentation. The «Brewer No 044» spectrophotometer of the Scientific and Production Association «Taifun» and the ozonometric instrument SFSU of Kyrgyz State University used in these measurements were mutually verified and compared with the international etalon instrument «Brewer N 017». A statistically proved correlation between the variations of daily means total ozone content over the Lake of Issyk-Kul' and the solar radiation flux at 2800 MHz frequency has been revealed. In the case of measurement data obtained in tropics such a correlation can not be considered statistically proved.