

11-летняя цикличность в общем содержании озона

К.Н. Вишератин, В.И. Васильев, Н.И. Сизов

ГУ НПО "Тайфун"

Россия, г. Обнинск, ул. Ленина, 82

E-mails: kvisher@typhoon.obninsk.ru

Проведен анализ вариаций полей общего содержания озона (ОСО) на основе спутниковых данных TOMS и данных «Merged TOMS-SBUV Total Ozone Data Revision 03», а также индексов солнечной активности в области периодов от 8 до 12 лет. Анализ спектральных структур временных рядов проводился с помощью Фурье-преобразования Скаржла и методом максимальной энтропии Берга. Максимальные амплитуды 11-летних колебаний наблюдаются в области 11-11.5 лет на широтах 60-65° ю.ш. и с.ш. Максимумы колебаний с периодами 9.5 и 10.5 лет расположены почти симметрично на 20° ю.ш. и с.ш. Фаза максимума 11-летних колебаний в поле ОСО может как опережать фазу максимума 11-летних вариаций солнечной активности (умеренные и высокие северные широты) так и совпадать или отставать.

1. Введение

Индексы солнечной активности, отражающие 11-летнюю цикличность вариаций числа солнечных пятен, радио и УФ-излучения, часто используются в качестве основных предикторов временных вариаций общего содержания озона. Обычно при использовании мультирегрессионных моделей предполагается линейная зависимость между предиктором и предиктантом, и в таких моделях вклад вариаций солнечной активности в изменчивость ОСО оценивается в 1-2% [1]. Однако в [2] было отмечено, что глобальное распределение квазидесятилетних гармоник общего содержания озона (ОСО) имеет достаточно сложную меридионально-широтную структуру. Достаточно сложное пространственное распределение имеет и спектральная структура рядов температуры и зонального ветра нижней стратосферы [3]. В настоящей работе проведено сопоставление спектральных и пространственно-временных структур квазидесятилетних колебаний солнечной активности и полей ОСО на основе анализа среднемесячных зонально-усредненных рядов ОСО (65° ю.ш. – 65° с.ш.) по данным спутниковых наблюдений и данным некоторых наземных станций.

2. Данные

Зонально-усредненные ряды ОСО (65° ю.ш. – 65° с.ш. с шагом 5° по широте) были сформированы на основе среднемесячных значений за 1979-2006 гг., полученных с помощью спутниковой аппаратуры TOMS-SBUV [4]. Пропуски были заполнены методом кубической интерполяции (подробнее см. [3]). Дополнительно анализировался наиболее длинный временной ряд ОСО, полученный на наземной станции Ароза [5]. В качестве индексов солнечной активности использовался международный индекс числа солнечных пятен R_z [6] и индекс радиоизлучения $F_{10.7}$ [7].

3. Спектральный анализ

Амплитуды и периоды гармоник анализируемых рядов определялись с помощью модифицированного (MFT) Фурье-преобразования.

Более точные значения периодов колебаний находились с помощью метода максимальной энтропии Берга (MEM) [8]. На рис. 1 в качестве примера представлены результаты спектрального анализа индекса R_z за 1700-2006 гг., а в табл. 1 приведены периоды колебаний в области 8-

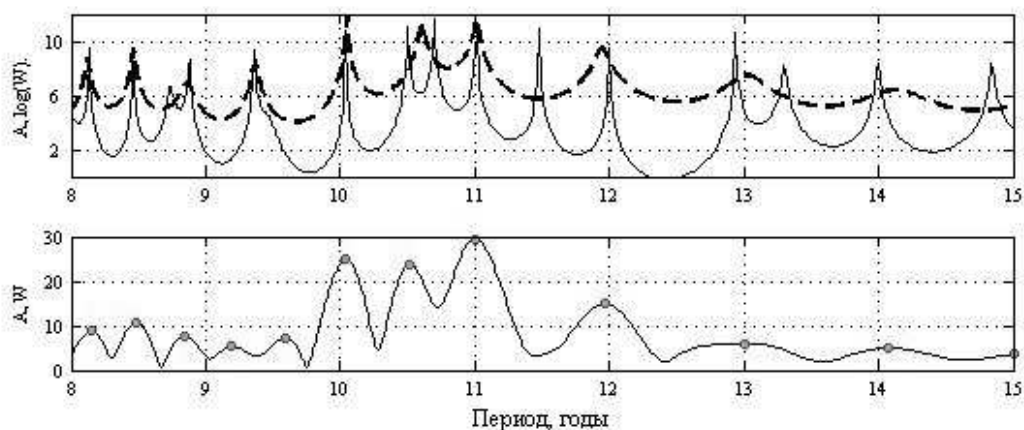


Рис. 1. Спектры индекса Rz по методу MFT (внизу) и MEM (параметры авторегрессии $n=180$ и 280). По оси ординат отложены спектральные амплитуды в числах Вольфа (W)

15 лет. Для определения значимости найденных гармоник был использован метод Монте-Карло, аналогичный [9]. Гармоники, отмеченные в табл. 1 жирным шрифтом, значимы на уровне 99%.

Таблица 1. Периоды колебаний индекса солнечных пятен Rz

MFT	8.15	8.48	8.84	9.19/9.59	10.04	10.52		11.0		11.97	13.0		14.07	15.0
MEM	8.13	8.47	8.87	9.36	10.03	10.5	10.7	11.0	11.45	12.0	12.92	13.3	14.01	14.9

Для того чтобы оценить трансформацию с течением времени периодов и амплитуд найденных гармоник, были вычислены спектры для скользящих с шагом 1 год 50-ти летних и 20-летних промежутков. На рис. 2 в качестве примера представлены спектры Rz для периода с 1700 по 2006 гг. (MFT, $\delta T=50$ лет) и с 1940 по 2006 гг. (MEM, $\delta T=20$ лет).

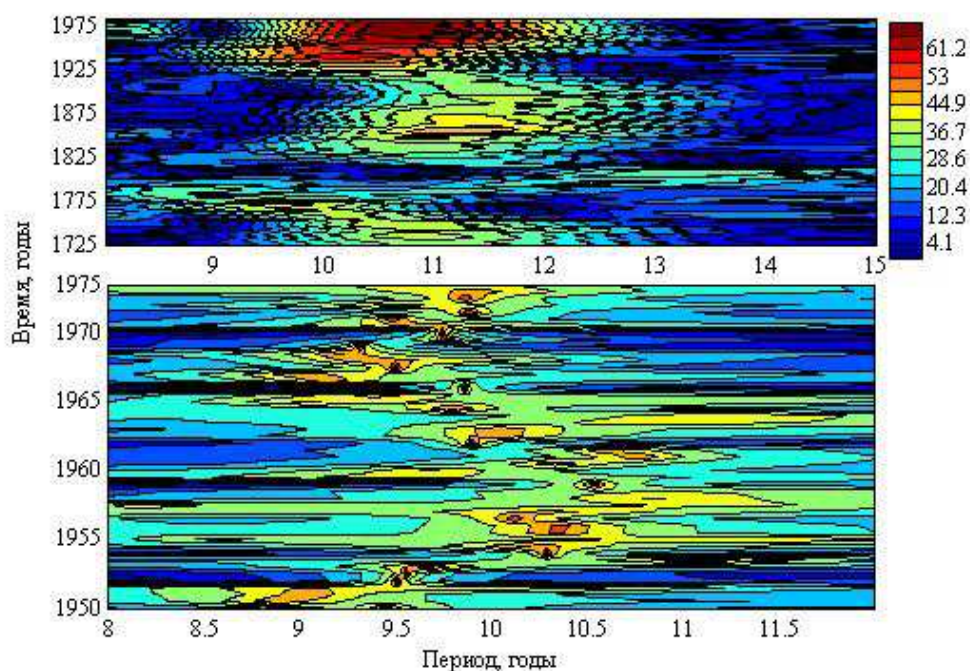


Рис. 2. Спектры Rz по скользящим 50-летним (метод MFT, сверху) и скользящим 20-летним отрезкам (метод MEM, внизу). Шкала для метода MFT дана в спектральных амплитудах

Из рисунков следует, что периоды и амплитуды основных гармоник в области 8-12 лет с течением времени существенно меняются. Метод МЕМ обладает более высоким разрешением и, хотя не дает точных количественных значений амплитуд, позволяет более точно отследить динамику изменчивости периодов колебаний. На рис. 2 можно отметить общую тенденцию увеличения периода основных колебаний с ~ 9 до ~ 11 лет с 1950 по 1974-1975 гг., уменьшение до 9-9.4 лет к 1984-1986 гг. и рост периодов до значений 9.5 – 10 лет к середине 90-х годов.

4. Выделение квазидесятилетних колебаний

Для построения временных рядов, содержащих только квазидесятилетние колебания, был использован следующий подход. Предварительно для выбранного отрезка ряда вычисляли Фурье-преобразование с шагом по частоте 0.0001 мес^{-1} . Для периодов от 8 до 13 лет (96-156 мес.) рассчитывалось обратное Фурье-преобразование и составлялся временной ряд, содержащий сумму только квазидесятилетних гармоник (K^{10}). В верхней части рис. 3 в качестве примера показан спектр Rz за 1932-2006 гг. (Для этого интервала времени имеются почти непрерывные данные по ОСО, ст. Ароза, Швейцария [5]). Для примерно 70-летнего ряда Rz спектральное разрешение ниже, чем для 300 летнего (рис. 1), и в области 8-13 лет проявляются только два пика. Толстой линией на верхнем рисунке показан спектр ряда Rz, из которого вычтены K^{10} .

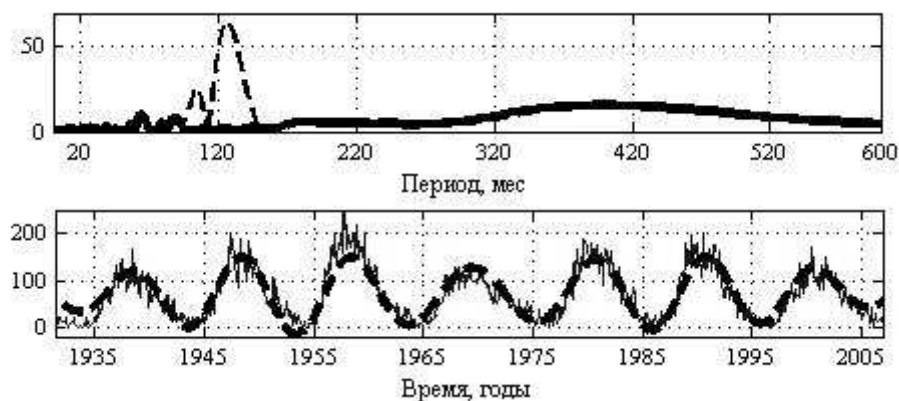


Рис. 3. Спектры (вверху) и временные ряды Rz. Квазидесятилетние колебания K^{10}_{RZ} показаны штриховой жирной линией, спектр ряда Rz, из которого вычтены K^{10}_{RZ} – жирной сплошной линией. По оси ординат – числа Вольфа (внизу) и спектральная амплитуда в числах Вольфа

В нижней части рисунка показан ряд Rz и ряд K^{10}_{RZ} , содержащий только сумму гармоник с периодами от 8 до 13 лет. Отметим, что амплитуда и период этого ряда с течением времени меняются. Аналогичный ряд K^{10}_{F107} был составлен для периода 1953-2006 гг. и для периода 1979-2006 гг. Ряды K^{10}_{OSO} для периода 1979-2006 гг. для каждой из широтных зон также формировались по этой методике.

5. Пространственное распределение

Широтное распределение гармоник с периодами 8-16 лет для среднесезональных рядов общего содержания озона, полученное с помощью метода МЕМ, показано на рис. 4.

Максимальные амплитуды наблюдаются в области 11-11.5 лет на широтах $60-65^\circ$ ю.ш. и с.ш. Два максимума с амплитудой 3-4 ЕД расположены почти симметрично на 20° ю.ш. и с.ш. Периоды этих колебаний равны 9.5 лет и 10.5 лет (20° с.ш.). По методу MFT (не показан) максимумы K^{10}_{OSO} совпадают с положением тропических и полярных поясов, а минимумы расположены на

экваторе и вблизи 35-40° ю.ш. и с.ш. Точнее положение максимумов и их характерное смещение к более длиннопериодным колебаниям с ростом широты показывает метод MEM (рис. 4).

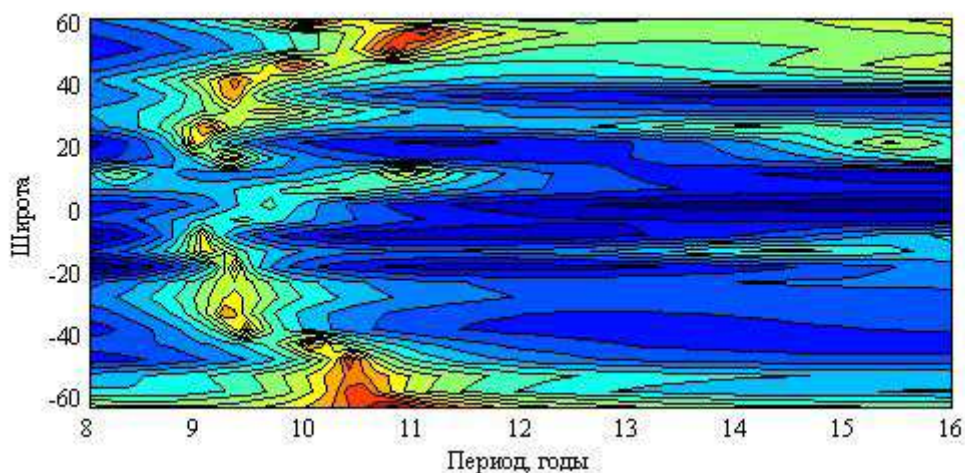


Рис. 4. Пространственная структура спектров общего содержания озона. Метод MEM, цветовая шкала в отн. ед. Красный цвет соответствует максимумам, синий – минимумам спектральных амплитуд

6. Сопоставление квазидесятилетних колебаний в поле ОСО и индексах солнечной активности

Сопоставление квазидесятилетних колебаний индекса F_{107} и квазидесятилетних колебаний в зонально-усредненных рядах ОСО (1979-2006 гг.) показано на рис. 5.

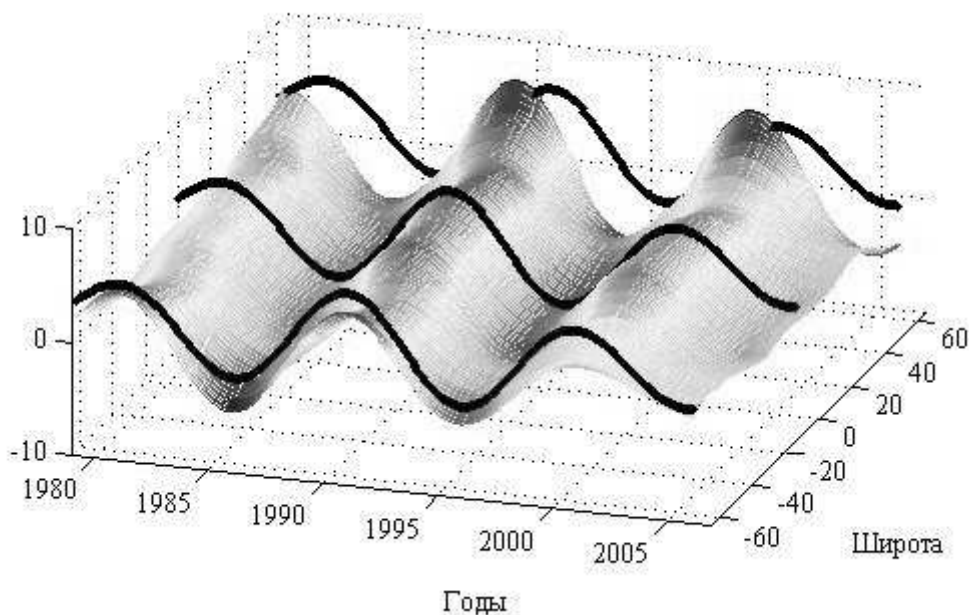


Рис. 5. Квазидесятилетние колебания ОСО в зоне 65° ю.ш. - 65° ю.ш. Толстой жирной линией показаны квазидесятилетние колебания индекса F_{107}

Характерным является отставание максимумов колебаний $K_{ОСО}^{10}$ от K_{F107}^{10} . Вариации $K_{ОСО}^{10}$ и K_{F107}^{10} почти синфазны в полосе 65° ю.ш. - 35° ю.ш., затем $K_{ОСО}^{10}$ начинают опережать K_{F107}^{10} . Опережение наиболее заметно начиная с 30-40° с.ш., а на 60-65° с.ш. $K_{ОСО}^{10}$ опережают K_{F107}^{10} примерно на 2 года.

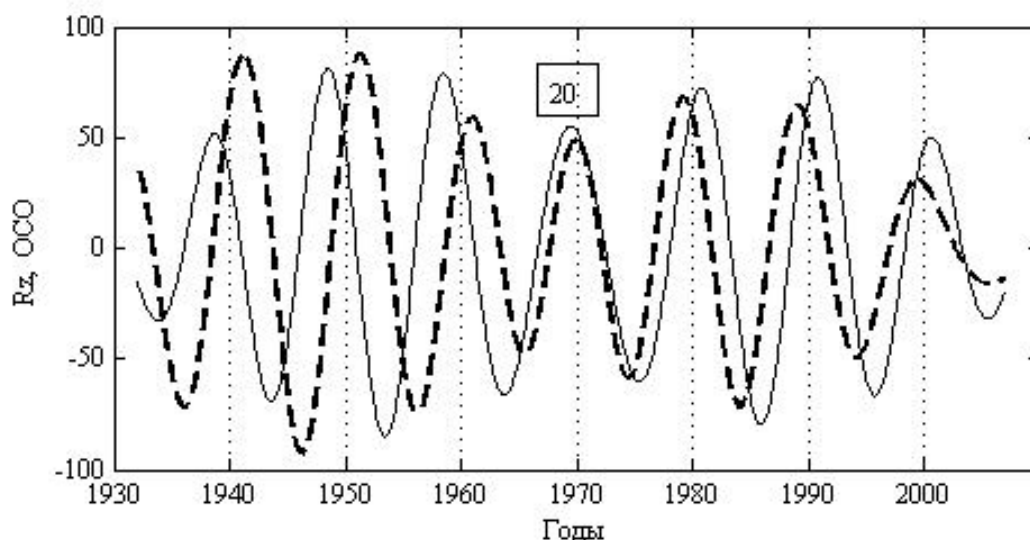


Рис. 6. Зависимости квазидесятилетних колебаний для индекса солнечных пятен (Rz) и общего содержания OCO на ст. Ароза. По оси ординат числа Вольфа и OCO в отн. ед.

Изменчивость K^{10} со временем была также рассмотрена для данных по общему содержанию озона на станции Ароза (рис. 6). Как следует из рисунка, K^{10}_{OCO} не совпадают с квазидесятилетними колебаниями солнечной активности (K^{10}_{Rz}). До 20 цикла солнечной активности (примерно 1970 г.) фаза колебаний K^{10}_{OCO} отстает, а в дальнейшем опережает K^{10}_{Rz} .

Основные выводы

Для квазидесятилетних колебаний общего содержания озона и индексов солнечной активности характерна изменчивость амплитуд и периодов во времени. Пространственная структура спектров общего содержания озона и индексов K^{10} имеет достаточно сложный характер. Максимальные амплитуды наблюдаются в области 11-11.5 лет на широтах 60-65° ю.ш. и с.ш. Максимумы колебаний с периодами 9.5 и 10.5 лет расположены почти симметрично на 20° ю.ш. и с.ш. Фаза максимума 11-летних колебаний в поле OCO может как опережать фазу максимума 11-летних вариаций солнечной активности (умеренные и высокие северные широты) так и совпадать или отставать.

Изменчивость соотношений между фазой максимума OCO и солнечной активности наблюдается и на более длительных временных интервалах. Например, до 1970 г. фаза максимума колебаний OCO по данным ст. Ароза (1932-2006 гг.) отстает, а в дальнейшем опережает фазу максимума индекса Rz .

Полученные результаты показывают неоднозначность пространственно-временных связей полей OCO и 11-летней цикличности Солнца. Поэтому использование индексов солнечной активности в качестве предикторов общего содержания озона требует развития и разработки моделей, включающих в себя нелинейные связи, а общепринятая практика использования индексов солнечной активности в качестве предикторов общего содержания озона и других параметров нижней стратосферы требует, видимо, более тщательной оценки с точки зрения возникающих при этом погрешностей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 06-05-64157).

Литература

1. WMO, 2007: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006 //Global Ozone Research and Monitoring Project. Report № 50. Geneva, 2007.

2. Вишератин К.Н., Троянов М.М. Глобальное распределение основных спектральных гармоник ОСО по данным спутниковых измерений (ТОМС) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. 1. С. 257-262.
3. Вишератин К.Н. Межгодовые вариации и тренды среднезональных рядов общего содержания озона, температуры и зонального ветра // Изв. РАН ФАО, 2007. Т.43. №4. С. 67-85.
4. NASA Goddard Space Flight Center. <http://www.toms.gsfc.nasa.gov>, http://hyperion.gsfc.nasa.gov/Data_services/merged
5. Staehelin et al. Total ozone series at Arosa (Switzerland). Homogenization and data comparison. // J. Geoph. Res. 1998. No. 103. p.5827-5841. (ftp://bach.ethz.ch/pub_read/maeder/totozone_aros).
6. SIDC-team, 2006, World Data Center for the Sunspot Index, Royal Observatory of Belgium, Monthly Report on the International Sunspot Number, <http://www.sidc.be/sunspot-data/>
7. Ottawa F10.7 cm Solar radio flux. ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/
8. Вишератин К.Н., Карманов Ф.И. Практические методы оценивания спектральных параметров. Обнинск: ИАТЭ, 2008. 65 с. (в печати)
9. Вишератин К.Н., Бугрим Г.И. Спектральная структура индекса Бевериджа и индексов солнечной активности в 1500-1869 гг. // Физика атмосферы: наука и образование. Юбилейный сб. Физ. фак-т СПбГУ, Санкт Петербург, 2007. С. 142-152.