

АСТРОНОМИЯ, АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

Частотные спектры вариаций космических лучей, параметров солнечной активности и межпланетной среды

В. П. Охлопков

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скobelцына (НИИЯФ МГУ).
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2. E-mail: ^aokhlopkov@taspd.sinp.msu.ru*

Статья поступила 05.09.2008, подписана в печать 12.03.2009.

С помощью метода спектрального анализа исследованы периодичности по данным космических лучей в стратосфере, в нейтронной компоненте, в различных параметрах солнечной активности и межпланетной среды за период с 1958 по 2007 г.

Ключевые слова: межпланетная физика.

УДК: 523.165. PACS: 96.50.-е.

Введение

В настоящее время накоплены экспериментальные данные по регистрации потоков космических лучей (КЛ) как на поверхности Земли, так и в стратосфере и в космическом пространстве за пять циклов солнечной активности. Имеются огромные массивы данных по парамет-

рам солнечной активности (СА) и межпланетной среды. Ранее было выполнено большое количество исследований квазипериодических вариаций по этим данным [1–7]. Не ослабевает интерес к этим исследованиям и в настоящее время. В рассматриваемый период времени наиболее мощным по амплитуде является 11-летний цикл КЛ, обусловленный 11-летним циклом СА.

Основные периодичности, выделенные в ВЧ-спектрах вариаций

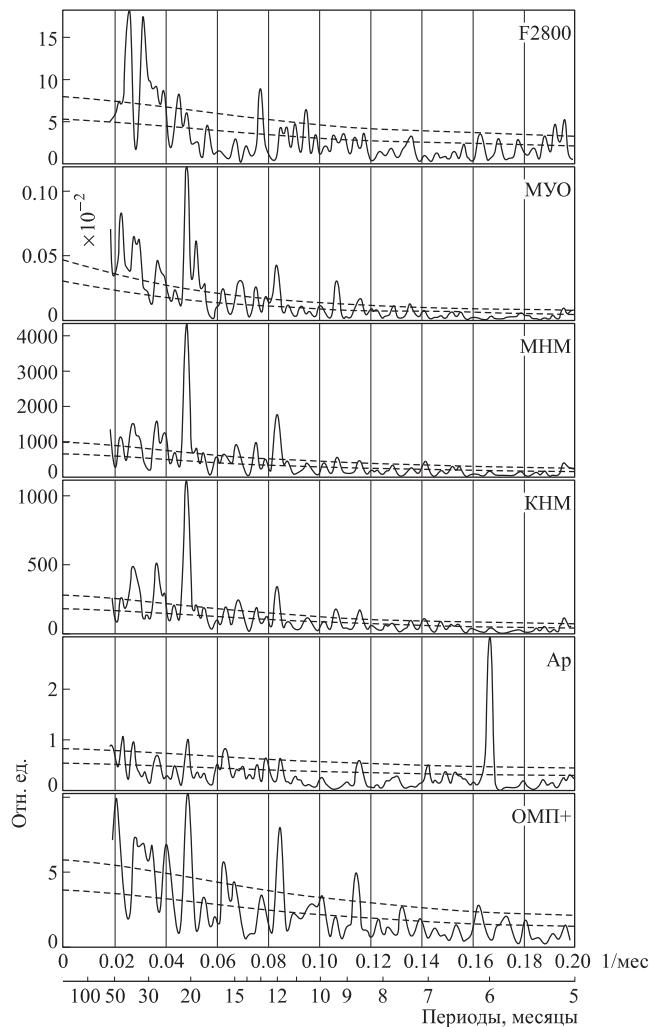
Параметр, период (месяцы)										
МУО	МНМ	КНМ	F2800	Ар	ОМП ₊	ОМП ₋	ОМП	H	V	ψ
			51.8	52.4	48.1	50.0	49.5	49.7		
44.2	44.4	44.1	46.1	43.4				41.2	42.3	42.2
36.0	36.7	36.6	39.3	37.0	35.3	36.1	36.1	32.4	35.4	35.2
34.1	34.4		32.0		32.5	32.9	33.1			
27.2	27.4	27.4	27.8	27.4	29.0		28.7	26.0	27.1	
25.5	25.5	25.5	25.7		24.8		24.8			
22.9	23.0	23.1	22.3	23.0				23.0	22.5	
20.7	20.8	20.8	20.9	20.6	20.6	20.8	20.6	20.8	20.3	20.9
19.3	19.3	19.3	17.8		18.2	17.6	17.8		19.3	18.8
16.0	15.9	15.8		15.9	15.8	15.6	15.8	15.7	15.8	15.7
14.5	14.8	14.7			14.9				14.8	14.5
13.3	13.3	13.3		13.3				13.5		
12.7	12.7	12.7	13.0	12.6	12.9	13.0	12.9		12.7	12.8
12.0	12.0	12.0	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.9	11.9	12.0
10.8	10.5	10.5	10.6		10.3				10.9	11.1
10.0	9.8	9.8	10.2		9.9	9.9	9.9		10.0	10.0
9.4	9.4	9.4	9.5		9.4					
8.6	8.6	8.7	8.5	8.6	8.7	8.2	8.2	8.6	8.7	9.0–8.8
7.8	7.8	7.8					7.6			8.1
7.4	7.4	7.4	7.4		7.5	7.4	7.4	7.3	7.2	7.5–7.4
7.1	7.1	7.1		7.0	7.2		7.1			
6.6	6.6	6.6		6.7					6.7	6.7
6.5	6.5	6.5	6.4	6.5	6.5				6.3	
6.0	6.0	6.0	6.1	6.0	6.2		6.2	6.0	6.0	5.9
5.6	5.6		5.9		5.8		5.9	5.5	5.8	5.7
			5.3	5.3		5.5		5.3	5.3	5.4
5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	

Исследования квазипериодических вариаций галактических КЛ показали, что имеются четко выраженные пики с периодами в диапазоне 0.5–5 лет [1–12]. Среди них годовые и двухлетние вариации имеют место как в интенсивности КЛ, так и в СА и параметрах межпланетной среды [1–5]. Квазидвухлетняя вариация выявлена в числе солнечных протонных событий [6]. В работе [7] с помощью математического избирательного фильтра выявлено изменение периода квазидвухлетней вариации с 24 до 20 месяцев. В работе [8] по исследованиям данных нейтронных мониторов (НМ) Дип-Ривер и Калгари показано наличие 20-месячного пика и отмечается неустойчивость спектра в области периодов от 6 до 18 месяцев. В работе [9] найден максимум в спектрах мощности на периоде 1.3 года как в интенсивности КЛ, так и в магнитном потоке от диска Солнца. Многочисленный ряд периодических компонент выявлен по данным НМ в Дип-Ривере в работе [10] и показана важность периодичности 1.68 года, которая хорошо коррелирована с подобной периодичностью в площади южных корональных дыр и большими активными областями. Эта же периодичность в КЛ (20 месяцев,

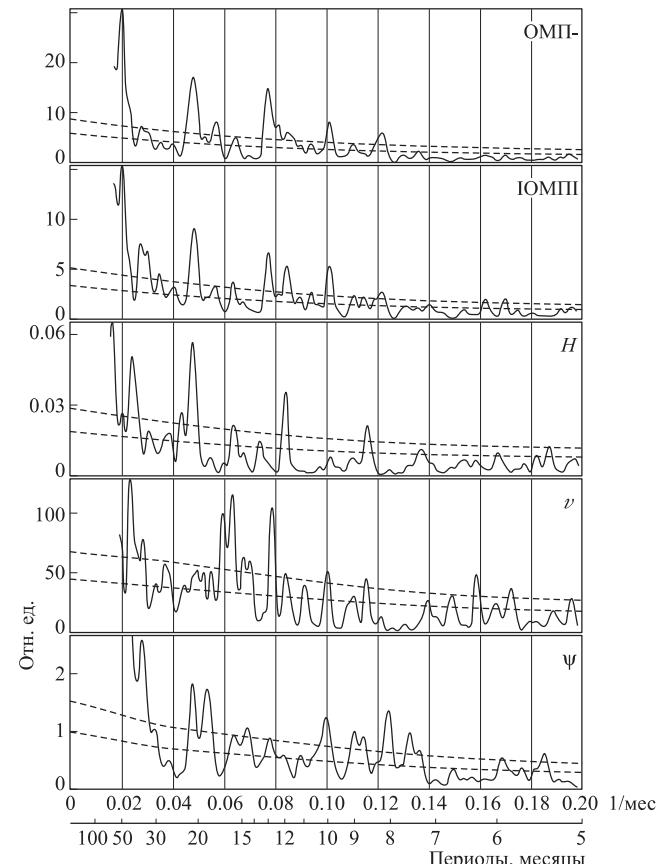
или 1.67 года) была найдена ранее в работах [11–13] и показана ее связь с общим магнитным полем Солнца.

Экспериментальные данные и метод исследования

В настоящей работе использован обширный материал за период 1958–2007 гг. по среднемесячным значениям в интенсивности КЛ в стратосфере (Мурманск, остаточное давление $50 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ [14]) и в нейтронной компоненте (Москва, Клаймакс [15]), по напряженности общего магнитного поля Солнца как звезды (ОМП, 1969–2007 гг. [16]), по параметрам солнечного ветра (СВ): напряженности межпланетного магнитного поля (ММП, $|H|$) и скорости солнечного ветра (v , 1965–2007 гг.) [17], по геомагнитной активности (Ар-индекс) и потоку радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц (F2800 [15]), углу наклона гелиосферного токового слоя (ψ [16]). При этом данные по ОМП были сформированы из наблюдений Крымской и Стэнфордской обсерваторий, из данных которых рассчитаны три ряда: средние за месяц значения положительных ежедневных данных OMP_+ , значения отрицательных ежедневных данных OMP_- , абсолютные значения $|\text{OMP}|$.



Спектры мощности среднемесячных значений: F2800 — радиоизлучение Солнца на частоте 2800 МГц, МУО — данные по космическим лучам в стратосфере в Мурманске, МНМ — нейтронная компонента в Москве, КНМ — нейтронная компонента в Клаймаксе, Ар — индекс геомагнитной активности, OMP_+ — положительные значения ОМП, OMP_- — отрицательные значения ОМП, $|\text{OMP}|$ — абсолютные значения ОМП, H — напряженность межпланетного магнитного поля, v — скорость солнечного ветра, ψ — угол наклона гелиосферного токового слоя. Пунктир — уровни 95 и 99% значимости



Для детального изучения временных рядов использован метод спектрального анализа. Для периодов вариаций более 5 лет рассчитаны спектры мощности отклонений от среднего за весь исследуемый интервал времени. Для периодов вариаций менее 5 лет рассчитаны спектры мощности разностей соседних данных для подавления высокоамплитудных низкочастотных вариаций и затем в спектр введены поправки для восстановления реальных амплитуд. Поскольку спектр синусоиды имеет главный максимум и множество боковых максимумов, полученные спектры по всем рядам данных сглаживались соответствующей весовой функцией для ликвидации этих максимумов [17]. Для более детального описания спектральных составляющих шаг по частоте брался в 10–15 раз меньше, чем при анализе по гармоникам основного периода.

Обсуждение результатов

В низкочастотной части спектров ярко выделенными пиками являются 10.5 и 5.1 лет. В высокочастотной части спектра мощности, представленной на рисунке, присутствует множество квазипериодических компонент. Остановимся на компонентах, проявившихся в нескольких параметрах и выделяющихся по своей амплитуде. В таблице представлены основные периодичности в высокочастотной области спектров, амплитуды которых превышают 95% уровень значимости (самые большие пики выделены жирным шрифтом). В высокочастотной части доминирует пик 20.6–20.8 месяцев (1.7 года) по всем параметрам, но в F2800 и v он не является преобладающим. Хорошо выделенный годовой пик в КЛ находится также отражение в ОМП и H , в других параметрах он выделен, но на уровне ниже других. Пики 15.8; 8.6; 7.4; 6.0 и 5.1 месяцев проявляются почти во всех параметрах. Остальные пики связаны с 11- и 22-летней модуляцией основных частот. Пик 20.7 месяца, проявляющийся ярко в КЛ, ОМП и H , свидетельствует, что эта вариация в КЛ определяется общим магнитным полем Солнца. Квазидвухлетняя вариация (в настоящей работе 1.7 года) играет важную роль при инверсиях полярного магнитного поля Солнца. Годовая вариация ОМП также вносит вклад в КЛ наряду с годичным изменением гелиошироты Земли и влиянием поперечного градиента КЛ. Важным результатом является совпадение основных периодичностей, выявленных в данных по углу наклона ψ гелиосферного токового слоя с другими параметрами.

Заключение

По данным за 5 циклов СА выделены наиболее устойчивые квазипериодические компоненты как в по-

токах КЛ, так и в параметрах солнечной активности и межпланетной среды. В диапазоне менее 5 лет эти периодичности следующие (даны в месяцах): 44.2; 36.6; 34.0; 27.4; 20.8; 15.8; 12.0; 8.6; 7.4; 6.0; 5.1. Соседние с перечисленными пики представляют собой боковые частоты, связанные с 11- и 22-летней модуляцией. Наличие выделенных пики за такой большой промежуток времени свидетельствует о сохранении фаз этих составляющих спектра. Периодичность 1.7 года, четко присутствующая в потоках КЛ и ОМП, свидетельствует о связи этой периодичности в КЛ с ОМП. Эта же периодичность определяет характер инверсии магнитного поля Солнца в максимумах СА. Важно, что и угол наклона гелиосферного токового слоя проявляет те же основные периодичности, что и другие параметры солнечной активности. За исследуемый интервал времени 11-летняя вариация СА имеет период 10.5 лет.

Список литературы

- Гончар Г.А., Жантуарова Р.Б., Коломеец Е.В., Слюняева Н.В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1982. **46**, № 9. С. 1739.
- Джапишвили Т.В., Рогава О.Г., Шаташвили Л.Х. и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 1984. **24**, № 4. С. 680.
- Охлопков В.П., Охлопкова Л.С. // Вариации космических лучей и исследования космоса. М., 1986. С. 82.
- Okhlopkov V.P. // 17th Intern. Cosmic Ray Conf. Paris, 1981. **3**. Р. 234.
- Ривин Ю.Р. Циклы Земли и Солнца. М., 1989.
- Зиль М.В., Митрикас В.Г., Петров В.М. и др. // Космические исследования. 1987. **25**. С. 325.
- Charakhchyan T.N., Okhlopkov V.P., Okhlopkova L.S. 20th Intern. Cosmic Ray Conf. Moscow, 1987. **3**. Р. 345.
- Kudela K., Ananth A.G., Venkatesan D. // J. Geophys. Res. 1991. **96**. Р. 15871.
- Rybak J., Antalova A. // Space Sci. Rev. 2001. **97**. Р. 359.
- Valdes-Galicia J.F., Perez-Enriquez R., Otaola J.F. // Solar Phys. 1996. **167**. Р. 409.
- Охлопков В.П. // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. **32**. № 3. С. 146.
- Охлопков В.П. // Космические исследования. 1992. № 6. С. 572.
- Охлопков В.П. // Астрономический вестник. 2000. **34**, № 2. С. 154.
- Stozhkov Y.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A. et al. // Preprint of Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences. Moscow, 2007.
- ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/
- http://wso.stanford.edu/
- ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/spacecraft_data/omni/
- Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М., 1974.

Frequency spectra of cosmic rays variations, parameters of solar activity and interplanetary environment V. P. Okhlopkov

D. V. Skobeltsyn Research Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University,
Moscow 119991, Russia. E-mail: ["okhlopkov@taspd.sinp.msu.ru](mailto:okhlopkov@taspd.sinp.msu.ru).

Using spectral analysis technique the periodicity on the data of cosmic rays in stratosphere, in a neutron component, and in various parameters of solar activity and interplanetary environment for the period of 1958–2007 are investigated.

Keywords: interplanetary physics.

PACS: 96.50.-e.

Received 5 September 2008.

English version: Moscow University Physics Bulletin 4(2009).

Сведения об авторе

Охлопков Виктор Петрович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.; тел.: 939-50-97, e-mail: okhlopkov@taspd.sinp.msu.ru.