

Особенности частотных спектров вариаций космических лучей, параметров солнечной активности и межпланетной среды в 20–23-м циклах солнечной активности

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: okhlopkov@taspd.sinp.msu.ru

Статья поступила 07.09.2010, подписана в печать 30.10.2010

При помощи 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 1965 по 2007 г. отдельно по циклам солнечной активности.

Ключевые слова: частотные спектры, вариации космических лучей, солнечная активность, межпланетное магнитное поле, общее магнитное поле Солнца.

УДК: 523.165. PACS: 96.50.-e.

Введение

Огромное количество экспериментальных данных по регистрации потоков космических лучей (КЛ) на поверхности Земли, в стратосфере и в космическом пространстве за пять циклов солнечной активности дает возможность детально исследовать частотную структуру и сравнить особенности по циклам солнечной активности (СА). Ранее было выполнено много работ по исследованиям квазипериодических вариаций по этим данным [1–7]. Не ослабевает интерес к этим исследованиям и в настоящее время. В рассматриваемый период наиболее мощным по амплитуде является 11-летний цикл КЛ, обусловленный 11-летним циклом СА.

Исследования квазипериодических вариаций галактических КЛ показали, что кроме 11-летней квазипериодичности имеются четко выраженные пики с периодами в диапазоне 0.5–5 лет [1–12]. Среди них годовые и двухлетние вариации наблюдаются 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) Дил 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 Дил Ривере в работе [10] и показана важность периодичности 1.68 года, которая хорошо коррелирована с подобной периодичностью в площадях 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.

1. Экспериментальные данные и метод исследования

В настоящей работе использован обширный материал за период 1965–2007 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, Кляймакс [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.) [16], по геомагнитной активности (A_p -индекс) и потоку радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц (F_{2800} [15]). При этом данные по ОМП были сформированы из наблюдений Крымской и Стенфордской обсерваторий, из данных которых рассчитаны три ряда: средние за месяц значения положительных ежедневных данных, OMP_+ , средние за месяц значения отрицательных ежедневных данных, OMP_- , средние за месяц абсолютные значения, $|\text{OMP}|$.

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 рассчитывались спектры мощности разностей соседних данных для подавления высокоамплитудных низкочастотных вариаций, после чего в спектр вводились поправки для восстановления реальных амплитуд. Для более детального описания спектральных составляющих шаг по частоте брался в 30 и более раз меньше, чем при анализе по гармоникам основного периода.

2. Обсуждение результатов

Частотные спектры были рассчитаны по всем вышеупомянутым данным отдельно по циклам солнечной активности (20–23).

В низкочастотной (НЧ) области спектров мощности ярко выделенными пиками являются 10.5 и 5.1 года. В высокочастотной (ВЧ) области спектров, представленных на рис. 1–4, присутствует много квазипериодических компонент, представленных в таблице.

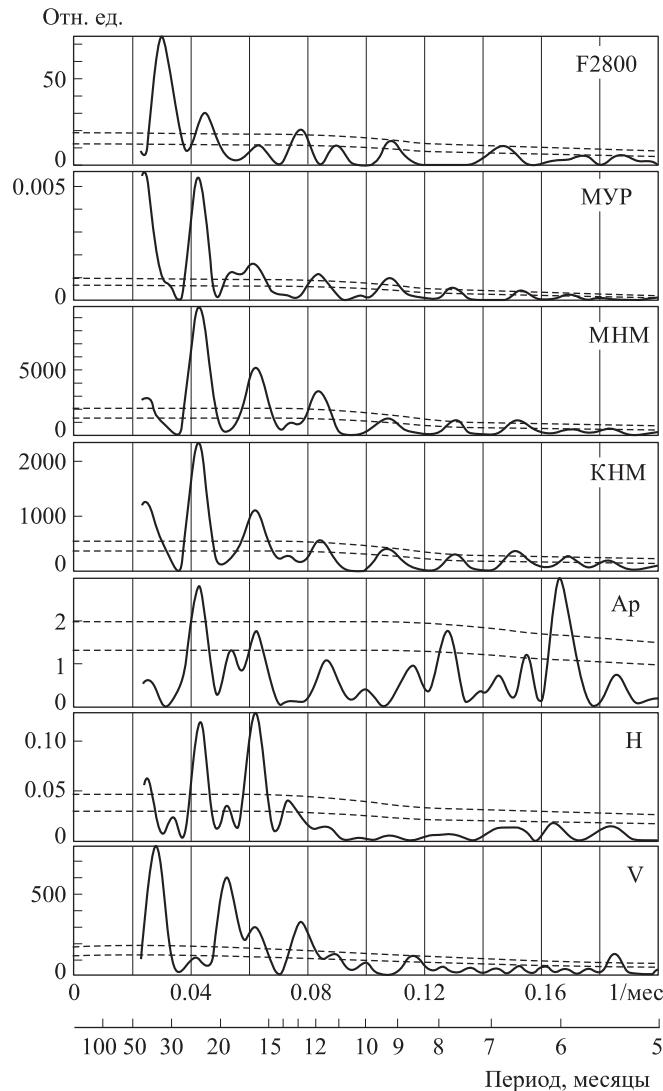


Рис. 1. Спектры мощности среднемесячных значений для 20-го цикла СА (1965–1975): F_{2800} — радиоизлучение Солнца на частоте 2800 МГц, МУР — данные по космическим лучам в стратосфере в Мурманске, МНМ — нейтронная компонента в Москве, КНМ — нейтронная компонента в Клаймаксе, A_p — индекс геомагнитной активности, H — напряженность межпланетного магнитного поля, V — скорость солнечного ветра. Пунктир — уровни 95% и 99% значимости

Остановимся на компонентах, проявившихся в нескольких параметрах и выделенных по своей амплитуде.

По всем четырем циклам можно отметить следующее. В большинстве анализируемых рядов данных наблюдаются квазидвухлетние пики с периодами $T = 20\text{--}24$ мес. В 20-м и 22-м циклах СА этот период равен $T = 22\text{--}23.5$ мес, а в 21-м и 23-м циклах СА $T = 20.2\text{--}20.8$ мес, т. е. в четных циклах период квазидвухлетней вариации больше, чем в нечетных. Кроме того, в четных циклах наблюдаются квазипериодичности с $T = 15\text{--}16$ мес. Также хорошо выделены квазипериодичности с $T = 11\text{--}12$ и $T = 9.2$ мес в 20-м и 22-м циклах СА и с $T = 12\text{--}13$ и $T = 9.5\text{--}10.2$ мес в 21-м и 23-м циклах СА, причем эти две периодичности увеличивают длительность, когда отсутствует периодичность с $T = 15\text{--}16$ мес. Такое соотношение

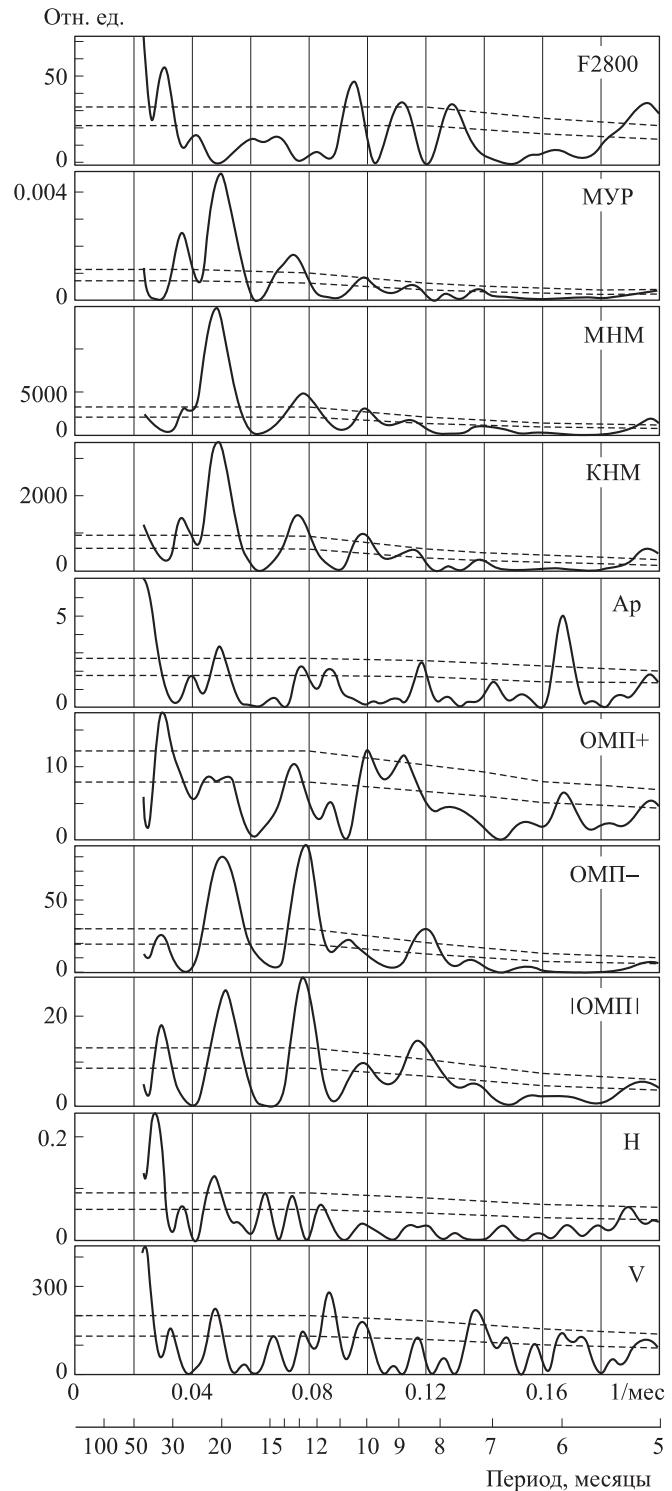


Рис. 2. Спектры мощности среднемесячных значений для 21-го цикла СА (1976–1986): F_{2800} — радиоизлучение Солнца на частоте 2800 МГц, МУР — данные по космическим лучам в стратосфере в Мурманске, МНМ — нейтронная компонента в Москве, КНМ — нейтронная компонента в Клаймаксе, A_p — индекс геомагнитной активности, OMP_+ , OMP_- — положительные значения ОМП, $|\text{OMP}|$ — абсолютные значения ОМП, H — напряженность межпланетного магнитного поля, V — скорость солнечного ветра. Пунктир — уровни 95% и 99% значимости

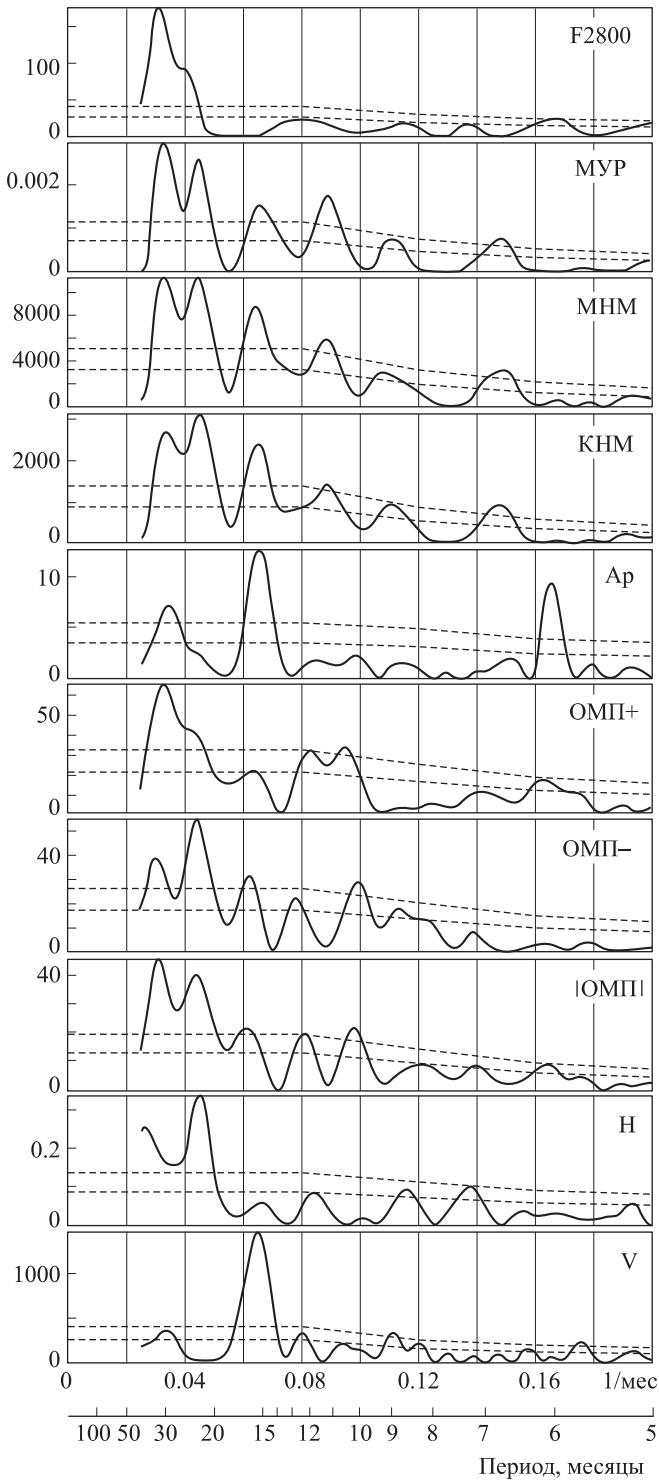


Рис. 3. То же самое, что на рис. 2, но для среднемесячных значений 22-го цикла СА (1987–1996)

названных периодичностей хорошо проявляется в спектрах КЛ и ОМП. Из других меньших по длительности периодичностей можно отметить 7.7 и 6.5 мес (20-й цикл — КЛ, A_p), ~8.5 и 7.2 (21-й цикл — КЛ, A_p , ОМП, V), 6.7 (22-й цикл — КЛ, A_p), 8.5–8.8 и ~7.2 (23-й цикл — КЛ, ОМП). Полугодовой пик A_p проявляется очень ярко во всех циклах.

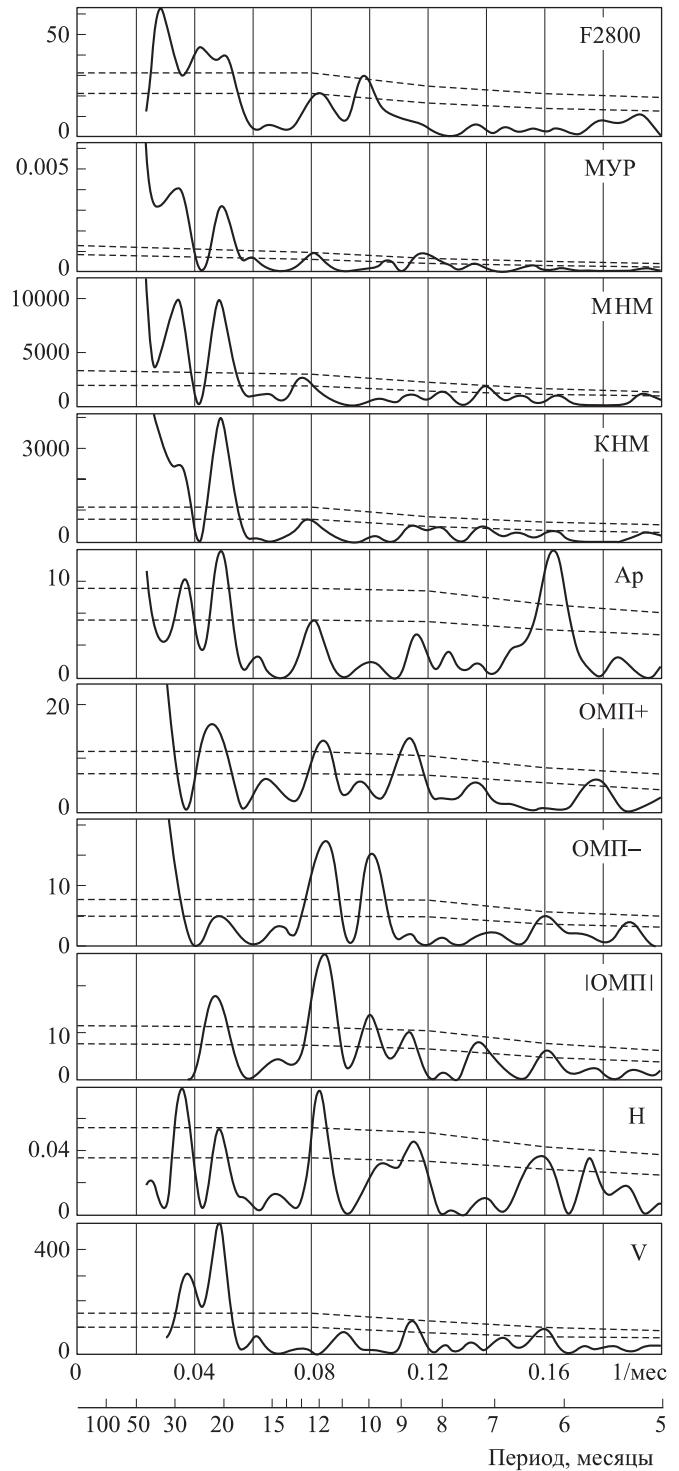


Рис. 4. То же самое, что на рис. 2, но для среднемесячных значений 23-го цикла СА (1997–2007)

Заключение

Исследование квазипериодичностей в четырех циклах СА как в потоках КЛ, так и в параметрах солнечной активности и межпланетной среды позволило выявить устойчивые сдвиги спектральных линий в частотных спектрах в сочетаниях четный–нечетный циклы СА (20–21 и 22–23).

Проявления квазидвухлетней периодичности в КЛ, четко присутствующей и в ОМП и синхронно из-

**Основные периодичности по данным космических лучей в стратосфере,
в нейтронной компоненте, в различных параметрах солнечной активности
и межпланетной среды по циклам солнечной активности**

Номер цикла СА	Параметр									
	F_{2800}	МУР	МНМ	КНМ	A_p	ОМП ₊	ОМП ₋	ОМП	H	V
20	50.3								65.0	
		41.6	40.4	40.8					39.6	
	33.0									35.4
	22.3	23.5	23.4	23.5	23.4				23.2	
		18.6			18.5				19.1	19.0
	15.9	16.3	16.0	16.1	16.0				16.1	16.2
	11.1	11.9	11.9	12.0	12.0					11.2
	9.2	9.3	9.3	9.3						8.6
	6.8	7.7	7.7	7.7	7.8					
		6.5	6.6	6.6	6.5					
21	5.7	5.9		5.9	6.0					
	5.3			5.5					5.1	5.4
	46.5		49.7	48.0		52.1	52.1	51.5	54.7	
	33.0					33.8	34.3	34.0	36.9	
		27.7	26.4	27.2	25.3				27.5	30.7
	20.2	20.8	20.4	20.3	19.2	20.1	19.6	21.2	20.8	
	13.4	12.8	13.1	12.9	13.4	12.8	12.8			12.8
	10.5	10.1	10.1	10.2	11.6	10.0	10.8	10.2		10.1
		8.7	8.8	8.7	8.5	8.9	8.4	8.5		8.5
22	7.8	7.3	7.2	7.2	7.0					7.2
	5.1		5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
	45.1								55.3	
	31.9	30.7	30.2	29.5	28.9	30.7	32.7	31.9		29.3
		22.2	22.3	22.1			22.4	22.4	22.1	
	15.2	15.5	15.4	15.2	15.6	16.0	16.3			15.4
	11.2	11.3	11.2		12.0	12.8	12.3	11.9	12.5	
	9.0	9.2	9.0		10.5	10.1	10.2			9.0
						8.8	8.3	8.6	8.3	
	7.3	6.8	6.7	6.8				7.2	7.2	6.4
23	6.0				6.0	6.1		6.1		5.7
	5.0	5.0							5.2	5.2
		50.9	50.3		49.7	45.5	50.3	47.5		48.6
		29.2	29.4	29.1	27.4				27.7	26.5
	20.1	20.3	20.5	20.5	20.4		20.9	21.4	20.6	20.6
	12.2	12.3	13.0	12.7	12.4	12.0	11.8	11.9	12.0	11.0
		8.5	8.0	8.7		8.8		8.8	8.7	8.7
		7.4	7.2	7.2		7.3		7.3		
			6.1		6.1	5.6	6.2	6.2	5.7	

меняющей свой период в этих параметрах от цикла к циклу, свидетельствует о связи этой периодичности в КЛ с ОМП. Квазидвухлетняя периодичность в четных и нечетных циклах различается по длительности примерно на 2 мес. В отличие от квазидвухлетней вариации период годовой вариации и вариации с $T = 9.1\text{--}10$ мес. в четных циклах меньше, чем в нечетных. Квазипериодичность с $T = 15\text{--}16$ мес проявляется в четных циклах. Остальные более высокочастотные вариации не проявляют выражено эффект изменения периода

в цикле четный–нечетный. Таким образом, мы видим проявление 22-летнего цикла в длительности периодичностей. Хорошо известен 22-летний цикл в СА, в котором особыми свойствами обладают 11-летние циклы СА в сочетании четный–нечетный циклы [17], в частности, это проявляется в относительных высотах циклов в парах четный–нечетный, в промежутках между максимумами 11-летних циклов, в формах кривых временного хода циклов. Все это нашло отражение в частотных спектрах.

Список литературы

1. Гончар Г.А., Жантурова Р.Б., Коломеец Е.В., Слюньяева Н.В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1982. **46**, № 9. С. 1739.
2. Джапишвили Т.В., Рогава О.Г., Шаташвили Л.Х. и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 1984. **24**, № 4. С. 680.
3. Охлопков В.П., Охлопкова Л.С. Вариации космических лучей и исследования космоса. М., 1986.
4. Okhlopkov V.P. // 17th Intern. Cosmic Ray Conf. Paris, 1981. **3**. P. 234.
5. Ривин Ю.Р. Циклы Земли и Солнца. М., 1989.
6. Зиль М.В., Митрикас В.Г., Петров В.М. и др. // Косм. исследования. 1987. **25**. С. 325.
7. Charakhchyan T.N., Okhlopkov V.P., Okhlopkova L.S. // 20th Intern. Cosmic Ray Conf. Moscow, 1987. **3**. P. 345.
8. Kudela K., Ananth A.G., Venkatesan D. // J. Geophys. Res. 1991. **96**. P. 15871.
9. Rybak J., Antalova A. // Space Sci. Rev. 2001. **97**. P. 359.
10. Valdes-Galicia J.F., Perez-Enriquez R., Otaola J.F. // Solar Phys. 1996. **167**. P. 409.
11. Охлопков В.П. // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. **32**, № 3. С. 146.
12. Охлопков В.П. // Косм. исследования. 1992. № 6. С. 572.
13. Охлопков В.П. // Астрон. вестник. 2000. **34**, № 2. С. 154.
14. Stozhkov Y.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A. et al. Data on galactic cosmic ray fluxes according to the measurement in the atmosphere (1957–2007). Preprint of Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences. Moscow, 2007.
15. ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/
16. ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/spacecraft_data/omni/
17. Витинский Ю.И., Конецкий М., Кукин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М., 1986.

Features of frequency spectrums of variations of cosmic rays, parameters of solar activity and interplanetary environment in 20tn–23rd cycles of solar activity

V. P. Okhlopkov

D. V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University,
Moscow 119991, Russia.
E-mail: okhlopkov@taspd.sinp.msu.ru.

Using a method of a spectral analysis the periodicity on the data of cosmic rays in stratosphere, in a neutron component, in different parameters of solar activity and interplanetary environment for period with 1965 for 2007 separately on cycles of solar activity are investigated.

Keywords: frequency spectra, variations of cosmic rays, solar activity, interplanetary magnetic field, general magnetic field of the Sun.

PACS: 96.50.-e.

Received 7 September 2010.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 1(2011).

Сведения об авторе

Охлопков Виктор Петрович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр; тел.: (495) 939-50-97, e-mail: okhlopkov@taspd.sinp.msu.ru.