

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ НА СОЛНЦЕ С РАЗВИТИЕМ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАСС И СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

<sup>1</sup>Ю.С. Шугай, <sup>1,2</sup>И.С. Веселовский, <sup>1</sup>И.Г. Персианцев

## RESEARCH INTO RELATION BETWEEN LARGE-SCALE PROCESSES ON THE SUN AND DEVELOPMENT OF CORONAL MASS EJECTIONS AND SOLAR FLARES

Yu.S. Shugai, I.S. Veselovskii, I.G. Persiantsev

В работе рассматривается эволюция крупномасштабных долгоживущих структур на Солнце, а также в межпланетном магнитном поле и в потоках солнечного ветра до и после мощных эруптивных событий на фазе спада и минимума 23 солнечного цикла. В одних случаях при этом были обнаружены заметные изменения в секторной структуре и рекуррентных высокоскоростных потоках солнечного ветра, а в других – нет.

The paper considers the evolution of large-scale long-term structures on the Sun, in the interplanetary magnetic field, and in solar wind streams before and after strong eruptive events in the decay and minimum phases of the 23<sup>rd</sup> solar cycle. In some cases, we revealed considerable changes in the sector structure and solar-wind recurrent high-speed streams, while in others did not.

### Введение

Для долгосрочного прогнозирования спорадической активности Солнца представляет интерес исследование возможных взаимосвязей между моментом наступления мощных эруптивных процессов на Солнце и долговременной эволюцией наблюдаемых крупномасштабных структур типа корональных дыр и т. п. В настоящее время хорошо известно, что межпланетное магнитное поле (ММП) имеет секторную структуру с полями положительной и отрицательной полярности, которые чередуются с цикличностью, почти совпадающей с периодом вращения Солнца [1, 2]. В период спада солнечного цикла наблюдается рекуррентная двухсекторная структура, в период около минимума часто наблюдается рекуррентная четырехсекторная структура [3, 4]. В течение одного оборота Солнца может наблюдаться различное количество потоков высокоскоростного солнечного ветра (СВ), связанного с четырехсекторной структурой ММП. Ранее нами было приведено исследование секторной структуры потоков СВ в течение первых восьми месяцев 2005 г. [5], когда существовала довольно стабильная четырехсекторная структура ММП, которой соответствовало три высокоскоростных потока СВ.

В данной работе анализировалась секторная структура ММП и потоки высокоскоростного СВ, связанные с долгоживущими крупномасштабными структурами на Солнце, до и после мощных эруптивных событий за период с 2002 по 2007 г. Рассматривались эруптивные события октября–ноября 2003, ноября 2004, января, мая и сентября 2005 и декабря 2006 г. В работе использовались значения параметров СВ и ММП, которые регистрировались на космическом аппарате (КА) ACE. Для определения структуры солнечного магнитного поля анализировались карты коронального магнитного поля, взятые с сайта обсерватории им. Джона Вилкокса. Параметры корональных дыр (КД) определялись по ежедневным снимкам Солнца с КА SOHO/EIT на длине волны 284 Å.

### Полученные результаты и обсуждение

На фазе спада 23 цикла с середины 2002 г. и до середины 2004 г. существовала стабильная двухсекторная структура ММП. Особенностью этого периода является явно выраженная долготная асимметрия [6]. Размеры южной КД, значения скорости СВ, связанные с положительным сектором фотосферного магнитного поля (отрицательная  $B_x$ -компонента ММП на рис. 1), существенно больше, чем связанные с отрицательным сектором ( $B_x$ -компонента ММП положительной полярности на рис. 1).

В октябре–ноябре 2003 г. наблюдалось несколько эруптивных событий (28.10.03 и 18.11.03), которые привели к сильным геомагнитным возмущениям на Земле ( $D_{st} = -363$  нТл и  $D_{st} = -422$  нТл). Источники сильных спорадических возмущений были связаны или с секторной границей, или с отрицательным сектором фотосферного магнитного поля ( $B_x$ -компонента ММП положительной полярности на рис. 1). Секторная структура ММП и крупномасштабные структуры на Солнце практически не меняются вплоть до середины 2004 г. В работе [4] отмечается, что с мая 2004 г. началась медленная перестройка двухсекторной структуры ММП в четырехсекторную. Перестройка секторной структуры происходит в течение июня–октября 2004 г. Во время и после перестройки, в июле и ноябре 2004 г., наблюдалось несколько мощных эруптивных событий (28.07.04 и 07.08.11.04), которые

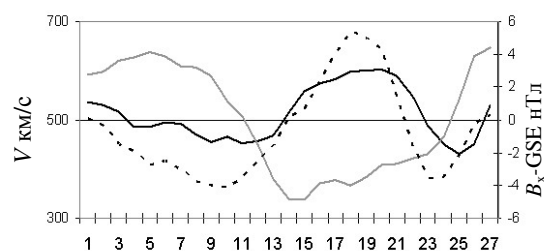


Рис. 1. Значения скорости СВ (черная кривая),  $B_x$ -компоненты ММП (серая кривая) и площади КД (черная штриховая кривая) за оборот Бартельса [7]. Площади КД сдвинуты на 4 сут относительно параметров СВ и ММП. Все значения усреднены за период с июня 2002 по июнь 2004 г.

вызвали сильные геомагнитные бури на Земле ( $D_{st} = -197$  нТл,  $D_{st} = -387$  нТл). Четырехсекторная структура ММП, которой соответствовало три высокоскоростных потока СВ (рис. 2), существовала приблизительно с октября 2004 по сентябрь 2005 г. В течение одного оборота Солнца на околоземной орбите регистрировались два высокоскоростных потока СВ, связанные с  $B_x$ -компонентой ММП положительной полярности, и один – с отрицательной (рис. 2).

В течение 2005 г. помимо рекуррентных явлений, связанных с КД и обеспечивающих частичную периодичность потоков СВ (рис. 2), наблюдались серии вспышек и корональных выбросов масс в январе, мае, августе и сентябре 2005 г., которые привели к сильным геомагнитным бурям ( $D_{st} = -121$ ,  $D_{st} = -263$ ,  $D_{st} = -216$  и  $D_{st} = -216$ ). В работе [4] отмечается, что источники этих геомагнитных возмущений, кроме одного, были связаны с узким положительным сектором фотосферного магнитного поля (отрицательные значения  $B_x$ -компоненты ММП, на рис. 2 этот сектор связан с днями с 16 по 17 оборота Бартьельса). Возможно, в связи с eruptивными событиями в этом секторе фотосферного поля происходят изменения в секторной структуре ММП и высокоскоростных потоках СВ с октября 2005 по март 2006 г., что отмечалось в работе [5]. В это время периодически наблюдались то двухсекторная, то четырехсекторная структуры.

В результате с марта 2006 г. вновь устанавливается стабильная четырехсекторная структура, которая существовала до марта 2007 г. (рис. 3). Несмотря на то, что четырехсекторная структура ММП сохранилась, связь между секторами ММП и высокоскоростными потоками СВ изменилась.

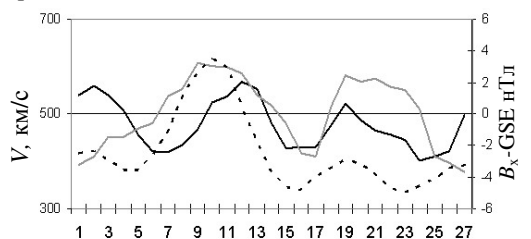


Рис. 2. Значения скорости СВ (черная кривая),  $B_x$ -компоненты ММП (серая кривая) и площади КД (черная пунктирная кривая) за оборот Бартьельса. Все значения за период с октября 2004 по сентябрь 2005 г.

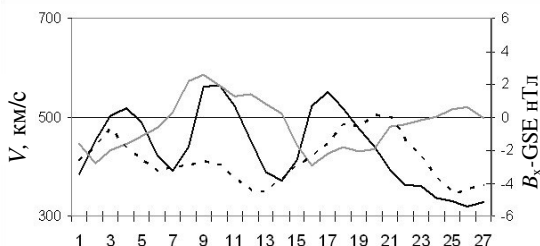


Рис. 3. Значения скорости СВ (черная кривая),  $B_x$ -компоненты ММП (серая кривая) и площади КД (черная пунктирная кривая) за оборот Бартьельса. Все значения усреднены за период с марта 2006 по март 2007 г.

За один оборот Солнца у Земли регистрировалось два кластера высокоскоростного СВ, связанные с  $B_x$ -компонентой ММП положительной полярности, и один – связанный с  $B_x$ -компонентой ММП отрицательной полярности (рис. 3). Наблюдаемое в декабре 2006 г. мощное eruptивное событие вызвало лишь локальные изменения в секторной структуре ММП. Только с марта 2007 г. началась перестройка четырехсекторной структуры ММП в двухсекторную структуру, которая закончилась в августе 2007 г.

### Заключение

Изменение секторной структуры и структуры потоков СВ происходит в среднем в течение 5–6 оборотов Солнца, что согласуется с другими исследованиями [3]. Установить надежную связь между мощными eruptивными событиями и изменениями в крупномасштабных долгоживущих структурах на Солнце, а также в ММП и в потоках СВ на фазе спада и минимума 23 солнечного цикла не удастся из-за бедной и противоречивой статистики. В одних случаях секторная структура ММП и крупномасштабные структуры на Солнце практически не меняются, например в мощных eruptивных событиях октября–ноября 2003 и декабря 2006 г. В других случаях происходят изменения в секторной структуре ММП и в связанных с ней потоках СВ, например в событиях июля, ноября 2004 и сентября 2005 г.

Исследование поддержано грантами РФФИ № 07-01-00651, 06-05-64500 и 07-02-00147.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoeksema J.T., Wilcox J.M., Scherrer P. H. Structure of the heliospheric current sheet in early portion of sunspot cycle 21 // *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87, N A12. P. 10331–10338.
2. Иванов К.Г., Харшиладзе А.Ф. Динамика открытого магнитного поля Солнца в 1996–2003 гг. и ее особенности в зоне главных активных долгот // *Геомагнетизм и аэронаука*. 2004а. Т. 44, № 6. С. 723–733.
3. Crooker N.U., et al. A two-stream, four-sector, recurrence pattern: Implications from WIND for the 22-year geomagnetic activity cycle // *Geophys. Res. Lett.* 1996. V. 23, N 10. P. 1275–1278.
4. Иванов К.Г., Харшиладзе А.Ф. Солнечно-земная экстратура 22–25 августа 2005 г. 1. Солнечные источники // *Геомагнетизм и аэронаука*. 2007. Т. 47, № 1. С. 27–32.
5. Veselovsky I. S., Persiantsev I. G., Shugai Yu. S. Forecast of the solar wind velocity and the interplanetary magnetic field radial component polarity at the phase of decay of solar cycle 23 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2006. V. 46, N 6. P. 701–707.
6. Veselovsky I.S., et al. Global variations and asymmetry of the Sun during extremely high activity in October–November 2003 // *Solar System Res.* 2005. V. 39. P. 169–175.
7. Chapman S., Bartels J. *Geomagnetism*. Oxford: Clarendon Press, 1940. 2 vols.

<sup>1</sup>НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

<sup>2</sup>Институт космических исследований РАН, Москва