

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ 8 И 9 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Петър Тонев¹, Артем Абуни², Мария Абунина², Симеон Асеновски¹, Анатолий Белов²,
Петър Велинов¹, Сергей Гайдаш², Мария Димитрова¹, Евгения Ерошенко²,
Лъчезар Матеев¹, Йордан Тасев¹

¹Институт космических исследований и технологий Болгарской академии наук

²Институт земного магнетизма и распространения радиоволн Российской академии наук
e-mail: ptonev@bas.bg

Ключови думи: космическая погода, прогнозирование, выброс корональной массы, эрупция волокна, корональная дыра, планетарные индексы геомагнитной активности

Абстракт: Рассмотрены трехсуточные прогнозы геомагнитных бурь 8 - 9 октября 2012 года Центра прогноза космической погоды и космического климата (ЦПКПКК) при ИКИТ БАН и сделано их сравнение с реальной физической обстановкой в рассматриваемый период. Тогда как буря 8 октября была предсказана ЦПКПКК, то вторая буря оказалась неожиданностью для ЦПКПКК и других прогностических центров в мире. Сделан анализ вероятных причин возникновения существенной разницы между прогнозными и реальными параметрами космической погоды, что полезно для усовершенствования прогнозирования ЦПКПКК после одного года его работы в плане уточнения оценки влияния совокупности разнообразных явлений на Солнце в период максимума его активности.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF GEOMAGNETIC STORMS ON 8 AND 9 OCTOBER 2012 AND OF THEIR FORECASTING

Peter Tonev¹, Artem Abunin², Maria Abunina², Simeon Asenovski¹, Anatoliy Belov²,
Peter Velinov¹, Sergey Gaidash², Maria Dimitrova¹, Evgeniya Eroshenko¹,
Lachezar Mateev¹, Yordan Tassev¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Institute of Geomagnetism and Propagation of Radiowaves – Russian Academy of Sciences
e-mail: ptonev@bas.bg

Keywords: space weather, forecasting, coronal mass ejection, filament eruption, coronal hole, planetary geomagnetic activity indices

Abstract: Three-day forecasts of the magnetic storms on October 8 and 9 2012 are considered prepared by the Center of Forecasting of the Space Weather and Space Climate (CFSWSC) in Space Research & Technology Institute of Bulgarian Academy of Sciences. These forecasts are compared with the actual physical state in the considered period of time. While the magnetic storm on 08.10.2012 was predicted by CFSWSC, the second storm was unexpected for CFSWSC, as well as for the world prognostic centers. An analysis is made of the possible causes for the significant differences between prognostic and actual cosmic weather parameters, which is useful for development of the forecasting methods after the first year of work, particularly, for more precise estimation of the influence of different solar phenomena in combination during the solar maximum.

Введение

За первый год непрерывной работы по подготовке трехдневных прогнозов Центр прогноза космической погоды и космического климата (ЦПКПКК) при ИКИТ БАН давал в итоге как довольно точные прогнозы, так и прогнозы с умеренным или даже существенным несовпадением с реальной геофизической ситуацией. Прогнозирование базировалось на: 1) Исследование и оценка геоэффективности солнечных событий, самые важные из которых - вспышки, выбросы корональной массы (ВКМ-СМЕ) и эрупции волокон [1,2], а также корональные дыры; 2) Оценка характеристик солнечного ветра у орбиты Земли по измерениям

на станциях вблизи Земли (ACE, SOHO, WIND и др.) и удаленных (STEREO); 3) Динамика индексов геомагнитной активности. Период первого года прогнозирования совпадает с подходом к максимуму солнечной активности 24-го цикла: он слабее предыдущих, [2], но характеризуется рядом особенностей.

Для дальнейшего уточнения прогнозов ЦПКПКС полезно исследовать случаи расхождения прогнозов со сложившейся ситуацией и в этих случаях вскрывать причины неточности. Для этого подходящим является анализ периода 06-09.10.2012 в связи с плохим предсказанием геомагнитной ситуации в конце периода.

Прогноз на период 06-09 октября 2012 года

В рассматриваемый период произошли две малые геомагнитные бури, 8-го и 9-го октября. Буря 08.10.2012 ожидалась в результате CME с частичным галло, происшедшего на Солнце 5-го октября в 03:24 UT. Модель ENLIL (Goddard Space Weather Laboratory) предсказывает, что ударная волна достигнет Земли 8-го октября утром (рис.1а) и будет иметь лишь короткое воздействие на ее магнитосферу (рис.1б), поэтому ожидалось прекращение его влияния к утру 09.10. Корональная дыра SH538 занимает геоэффективную позицию в центральной южной части солнечного диска, но после вечера 9-го октября. 6-го октября не наблюдались выбросы, 7-го же наблюдался один класса C при низких уровне солнечной активности и фона рентгеновского потока (B2-B3).

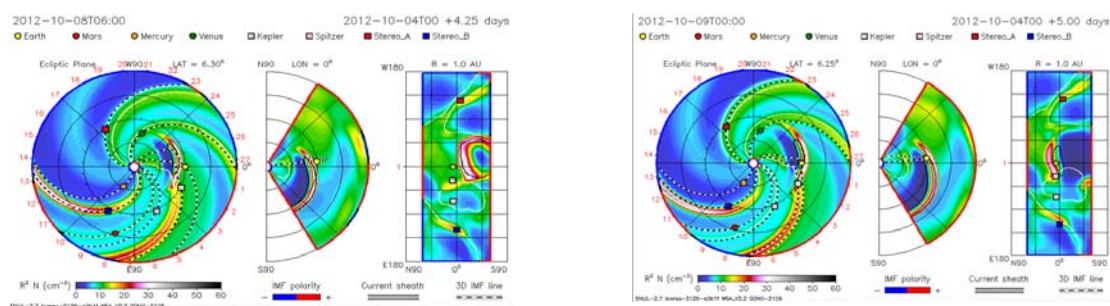


Рис.1. Влияние CME 05.10.2012 согласно универсальной модели ENLIL Goddard Space Weather Laboratory

Скорость солнечного ветра (СВ) V , измеренная станцией SOHO в точке Лагранжа L1 низкая. Интервалы ее изменения по дням следующие:

День	05.10	06.10	07.10	08.10
$V_{\min} - V_{\max}$, km/s	284 - 331	288 - 343	282 - 345	294 - 398

На основании этой информации в прогнозах 06.10 и 07.10.2012 предполагается развитие слабой геомагнитной бури 08.10.2012 с переходом к спокойному состоянию 9-го октября. Приведены прогнозируемые 7-го и 8-го октября распределения по вероятностям 3-часовых K_p индексов и A_p индексов на период 08-09 октября 2012 года:

День	Прогноз от 07.10.2012		Прогноз от 08.10.2012	
	08.10	09.10	08.10	09.10
Вероятность $K_p = 1$	30%	20%		20%
Вероятность $K_p = 2$	20%	20%		20%
Вероятность $K_p = 3$	20%	30%	40%	20%
Вероятность $K_p = 4$	10%	20%	20%	30%
Вероятность $K_p = 5$			20%	
Вероятность $K_p = 6$	10%		10%	
A_p	18	13	32	15

Показания соответствуют наличию малой бури 08.10.2012, а с начала 09.10 ожидалось снижение геомагнитной активности. Ниже показаны прогнозы планетарного индекса A_p трех из ведущих центров космической погоды: SWPC/NOAA, SIDC и ИЗМИРАН:

Прогнозы с 07.10, 08.10 и 09.10.2012 индекса A_p на 8-го и 9-го октября SWPC/NOAA (шрифт Regular), SIDC (Italic) и ИЗМИРАН (Bold)

	Прогноз с 07.10 .2012			Прогноз с 08.10			Прогноз с 09.10		
08.10.2012	18	8	14	18	33	30			-
09.10.2012	20	21	16	20	7	12	20	24	52

Эти прогнозы на 7-ое и 8-ое также не предсказывают магнитную бурю 9-го октября.

Реальная геофизическая ситуация

Как видно из данных для трех-часового Кр-индекса WDC Potsdam, обобщающего показания 13-ти выбранных обсерваторий мира (рис.2а), в полдень 8-го октября наступает малая буря на короткий период, после чего начинается снижение геомагнитной активности (что предсказано правильно). Но уже в начале 9-го начинается новая (умеренная) буря. Также представлены и показания обсерватории Панагюриште для локального К индекса в Болгарии (рис.2б). Ситуация согласуется с вариациями индекса Dst: согласно данным планетарного центра геомагнетизма в Киото, Dst достиг значения ниже -100 nT как 8-го, так и 9-го октября и эти пики являются максимальными за весь месяц.

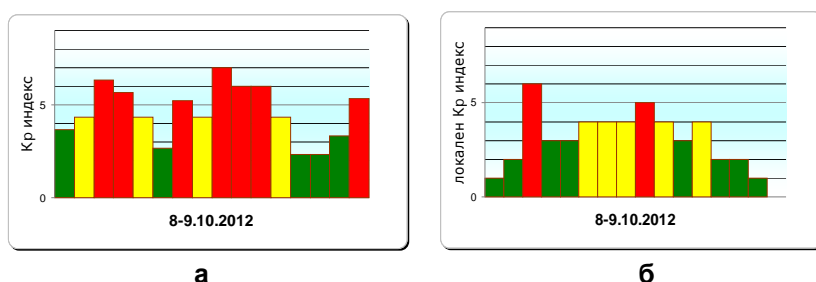


Рис.2. Вариации в периоде 08-09.10.2012 (а) планетарного Кр индекса (Potsdam WDC), б) локального К индекса для Болгарии по данным станции Панагюриште (географ. координаты 42°31'N, 24°11'E; геомагнитные координаты 40°39' N, 104°57'E).

Ниже представлено сравнение между реальными значениями планетарного индекса Ар согласно Potsdam и прогнозированными показаниями Ар, согласно прогнозу ЦПКПКК в тот же день утром, один и два дня раньше, соответственно.

Сутки 2012	05.10	06.10	07.10	08.10	09.10	10.10	11.10	12.10
Измеренное Ар	5	9	7	43	52	14	7	14
Прогноз на тот же день	6	7	8	34	43	14	9	17
Прогноз 1 день до того	6	7	8	18	15	10	13	9
Прогноз 2 дня до того	5	7	8	18	13	10	13	10

При прогнозе на 8.10 и 9.10 один и два дня назад имеется существенная неточность. Прогноз на текущий день в этом случае точнее, благодаря видимости поведения параметров межпланетного магнитного поля (ММП) и солнечного ветра вблизи Землей (в точке Лагранжа L1), полученные на станции ACE (рис.3). Тем не менее, ошибка прогноза значительна.

Восстановление реальной картины

Возмущение начиналось почти в точном соответствии с модельными предсказаниями, но в результате Земля попала в более продолжительное и более протяженное возмущение солнечного ветра, чем ожидалось. По-видимому, в 05:15 UT к Земле пришла межпланетная ударная волна, сразу после этого скорость СВ возросла до 390 km/s (на 90 km/s), а напряженность до 15 nT (по среднечасовым данным). Напряженность ММП во всем возмущении оказалось не намного выше, чем в первый час и не превысило 17 nT. Скорость СВ

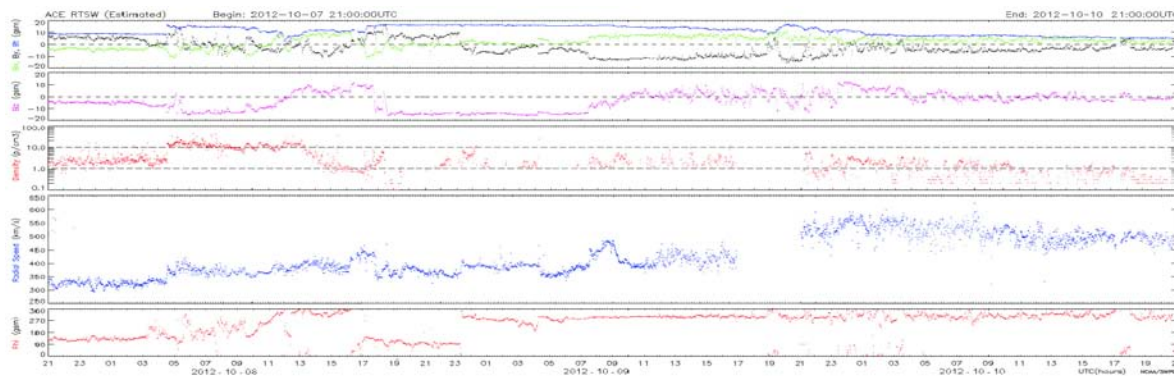


Рис. 3. Данные измерений компонент ММП (B_z отдельно на второй графике) и параметры СВ (плотность и радиальная скорость плазмы, угол ϕ) на станции ACE с 07.10.2012 21:00 UT по 10.10.2012 21:00 UT.

после прихода ударной волны долго оставалась в диапазоне нормальных значений (380-430 km/s) и только во второй половине 9 октября поднялась до 550 km/s. Vz-составляющая ММП была отрицательной еще до прихода ударной волны (возможно из-за возмущения от 2 октября), в начале 8 октября она понизилась до -12 nT и оставалась отрицательной до 11 UT (по данным станции ACE). После сравнительно недолгого периода положительных величин, вечером 8 октября Vz-составляющая вновь стала отрицательной и с 18 UT 08.10 до 08 UT 09.10 держалась в диапазоне от -10 до -15 nT (рис.3). Отметим, что за рассматриваемый период произошло двухкратное пересечение секторной границей ММП: с изменениями направления с отрицательного на положительное 05.10.2012, и наоборот 08.10.2012.

Длительный период больших отрицательных значений Vz способствовал развитию геомагнитного возмущения. Нужно заметить, что если бы отрицательные значения *Bz* совпали с высокой скоростью СВ, магнитная буря оказалась бы сильнее. Но основной рост скорости начался уже после того, как знак *Bz*-компоненты стал преимущественно положительным.

Можно предполагать, что большая продолжительность межпланетного и геомагнитного возмущений объясняется сочетанием нескольких солнечных источников возмущений: кроме выброса в начале 5 октября (рис.4Б), который учитывался моделью ENLIL (рис.1), наблюдалась крупномасштабная центральная эрупция, продолжавшаяся значительную часть 4 октября и хорошо видимая в ультрафиолетовом диапазоне (рис.4А). Возможно, что в ночь на 8 октября к Земле пришло возмущение СМЕ от этой более ранней эрупции, а выброс от начала 5 октября пришел 8 октября около 18 UT. Большая длительность этих межпланетных возмущений связана с большой длительностью обеих эрупций и сравнительно низкой скоростью выброса. Кроме того, вход Земли в высокоскоростной поток солнечного ветра от низкоширотной корональной дыры СН538 вечером 9 октября еще более продлил наблюдавшееся возмущение.

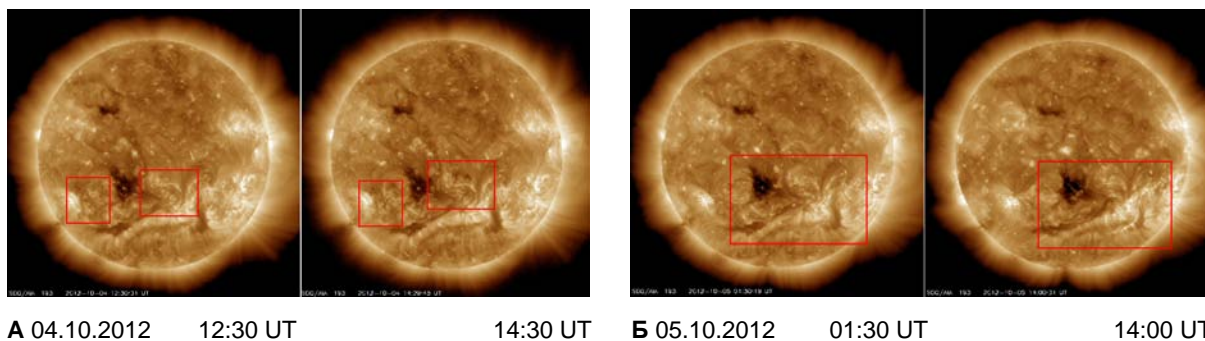


Рис. 4. **А.** Эрупция волокна 04.10.2012 со снимок в 12.30 и 14.30 UT; **Б.** Эрупция волокна 05.10.2012. со снимок в 01.30 и 14:00 UT. Снимки произведены на длине волны 193 nm SDO / AIA.

Заключение

При оценке событий на Солнце, которые могут привести к повышению геомагнитной активности, в частности, к магнитной буре следует, наряду с явлениями типа СМЕ и корональной дыры, более точно анализировать выбросов, связанных с эрупцией волокна [3].

Литература:

1. G o s l i n g, J. T., M c C o m a s, D. J., P h i l l i p s, J. L., and B a m e, S. J. J., Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, *J. Geophys. Res.*, 96, 1991, 7831-7839
2. R i c h a r d s o n, I. G. and H. V. C a n e, Solar wind drivers of geomagnetic storms during more than four solar cycles, *J. Space Weather Space Clim.* **2**, 2012, A01.
3. J i n g J u, V. Y u r c h y s h y n, G. Y a n g, Y. X u, and H. W a n g, On the Relation between Filament Eruptions, Flares, and Coronal Mass Ejections, *The Astrophysical Journal*, 614:1054-1062, 2004.