РОЛЬ ХРОМОСФЕРНЫХ И КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ В РАЗВИТИИ LDE-ВСПЫШЕК В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ 11302 NOAA НА СОЛНЦЕ

Шаховская А.Н.¹, Григорьева И.Ю.², Исаева Е.А.³

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Республика Крым, Научный, Россия

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

³Радиоастрономическая обсерватория УРАН-4, Одесса, Украина

THE ROLE OF CHROMOSPHERIC AND CORONAL EJECTIONS IN THE DEVELOPMENT OF LDE-FLARES IN THE ACTIVE REGION NOAA 11302 IN THE SUN

Shakhovskaya A.N.¹, Grigoryeva I.Yu.², Isayeva E.A.³

¹Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Republic of Crimea, Russia

²Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia

³Radio Astronomy Observatory URAN-4, Odessa, Ukraine

The events of September 22 and 24, 2011 occurred in the active region (AR) NOAA 11302 are investigated. The H α observations of the CrAO, the RSTN radio observations, and the results of the EUV-line space observations are used. In this AR there were two the LDE-flares, we also studied in detail the events preceding and following this are. It is received, that in the AR there was a complex magnetic configuration as a result of emergence of new bipolar sunspots near the tail spots. As a result of comparing these two flares, we concluded that both of them were associated with powerful Coronal Mass Ejection (CME), but at different levels, namely, in the chromosphere and in the lower corona. The eruptive mechanisms of CMEs differed significantly. Repeated eruptions of prominences before the CME took place on September 22, but and recurrent EUV-jets preceded the CME on September 24. In both cases CME cannibalism may have occurred. The powerful CMEs are formed as a result of eruptive processes. After them settling matter contributes to developing of the LDE-flares in low loops.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-421-424

Мощные вспышки на Солнце отличаются разнообразием, тем не менее, можно выделить два существенно различающихся класса. Это компактные или импульсные вспышки и the *Long Duration Event* (LDE)-события [1]. Наиболее важный критерий различия между ними – это продолжительность вспышки в мягком рентгене. Схематически мощные нестационарные процессы на Солнце можно представить так: развитие неустойчивости МГД-конфигурации приводит к выбросу вещества, раскрывающего часть замкнутых магнитных силовых линий. Последующая релаксация вызывает пересоединение магнитных силовых линий с возникновением токового слоя в короне. В некоторый момент начавшееся длительное явление приводит к импульсному выделению энергии и последующему формированию корональных петель, заполненных горячей плазмой. Их

мягкое рентгеновское излучение, в одних случаях длится 10–20 минут, а в других – медленно затухает в течение многих часов. В коротких рентгеновских вспышках происходит свободное высвечивание горячей плазмы. Такие вспышки часто называют компактными. Длительные вспышки (LDE-вспышки) характеризуются формированием крупномасштабной постэруптивной аркады. В данной работе исследуются события, предшествующие и последующие за LDE-вспышками 22.09.2011 и 24.09.2011 в фотосфере, хромосфере и короне.

В настоящей работе мы используем следующие данные: фильтрограммы, полученные на телескопе КГ-1 (КрАО); внеатмосферные изображения полного диска Солнца SDO_AIA/HMI, STEREO-B; измерения интегрального потока излучения в мягком рентгене со спутника GOES-15, данные радионаблюдений сети RSNT и наблюдения коронографа LASCO-SOHO. На сентябрь 2011 года пришелся первый максимум 24 цикла. Самая большая по площади и с самой высокой вспышечной активностью была группа NOAA 11302. Максимальный размер ее составлял 1300 миллионов долей солнечного диска. Она наблюдалась на диске с 22.09.2011 по 04.10.2011, за это время в ней произошли две рентгеновские вспышки балла X, 14 – балла M, и 34 вспышки балла C. Из большого числа достаточно мощных вспышек в этот период только две из них можно считать LDE-вспышками. Одна из них произошла 22.09.2011 в 10:29 UT, когда АО была на восточном лимбе, а другая 24.09.2011 в 12:30 UT.

По вспышке 22.09.2011 из-за ее местоположения сравнительно мало данных. Однако благодаря спутнику STEREO-B, наблюдающему под другим углом, мы имеем изображение всей АО в линии 195 Å. Согласно этим данным на востоке и юго-востоке этой АО располагались высокие корональные петли, а в центре был петельный жгут из волокон различной яркости, поверх которого лежали более низкие корональные петли. За несколько часов до LDE-вспышки наблюдались две эрупции волокон из северной части жгута (первая ~ 6 UT, вторая ~ 9 UT). По данным SDO в EUV-линиях в это же время наблюдались эрупции протуберанцев на лимбе. Этим событиям по наблюдениям GOES-15 соответствовали вспышки в мягком рентгене низких баллов, а по данным коронографа LASCO/C2 – очень медленные корональные выбросы массы (КВМ). Впоследствии мощный и быстрый КВМ, связанный уже с LDE-вспышкой, визуально совпал с КВМ от предыдущих эрупций волокон, а вспышечная лента находилась в области петельного жгута (рис. 1).

Координаты АО в момент второй LDE-вспышки 24 сентября 2011 года были N12E56. Пятна АО в этот день можно условно разделить на 3 подгруппы: лидирующие, центральные и хвостовые, причем в каждой из этих подгрупп соседствуют пятна разных полярностей. Особенно близко расположены пятна разной полярности в подгруппе хвостовых пятен, в этом месте происходит «гашение магнитного потока» [2]. Корональные силовые

линии, рассчитанные в потенциальном приближении по программе PFSS, восточнее хвостовых пятен уходят за восточный лимб, а на юго-востоке образуют открытую конфигурацию. В АО над хвостовыми пятнами, где наиболее близко расположены пятна разной полярности и происходит гашение магнитного потока, многократно извергаются EUV-джеты, как до LDE-вспышки, так и после. Эти джеты лучше всего наблюдаемые в линии $304\text{\AA}$ (SDO_AIA) направлены вдоль силовых линий и корональных петель на восток и на юго-восток. В радиодиапазоне они сопровождаются всплесками III типа. На-сёрджи, соответствующие этим джетам до LDE-вспышки, выражены очень слабо, однако уже после нее, в 15:40 UT виден яркий На-сёрдж или микровспышка. Над центральными пятнами по наблюдениям в На и EUV-линиях наблюдается жгут из скрученных петель различной яркости, именно в этом жгуте происходили неоднократные На-вспышки, видимые и в линии $1600\text{\AA}$ (SDO_AIA).

Рис. 1. Слева KBM, наблюдаемый на SOHO_LASCO/C2, обозначен белой стрелкой от эрупции протуберанцев в 10:24UT. Справа KBM, связанный с LDE-вспышкой 11:00UT (взято с сайта <https://cdaw.gsfc.nasa.gov>).

Рис. 2. Слева первое появление KBM, связанного с DE-вспышкой, наблюдаемое SOHO_LASCO/C2 в 10:48 UT, белой стрелкой обозначен корональный джет. Справа визуальное слияние KBM и коронального джета, в 13:26 UT (там же).

Как видно из рисунка 2, KBM состоял из двух, поначалу независимых частей. Восточная его часть сначала наблюдалась в широком телесном уг-

ле. Юго-восточную часть можно назвать корональным джетом, который оказался продолжением EUV-джета. Впоследствии видно, что юго-восточная часть KBM тоже оказалась в широком телесном угле и объединилась с восточной частью, по крайней мере, визуально в картинной плоскости. Связь хромосферных и корональных выбросов с LDE-вспышками обсуждалась авторами и их соавторами в работах [4–6]. А также и в работе [7], где показывается, что последующее за KBM падение вещества на участок замкнутых силовых линий, в частности, на область над нейтральной линией магнитного поля, может поддерживать в течение длительного времени постэруптивную систему и ее мягкое рентгеновское излучение. При этом, по-видимому, пересоединение магнитных силовых линий может играть большую роль в местах, примыкающих к ядру вспышки (вблизи пятен), в то время как на значительном удалении от ядра вспышки начинает преобладать сам эффект падения вещества, который особенно выражен в случае «каннибализма» KBM.

Авторы благодарят коллективы спутниковых инструментов SOHO/LASCO, SDO_AIA/HMI, GOES, STEREO-B и команду наземной сети радиоданных RSTN за открытую политику данных.

Работа, выполненная Шаховской А.Н. (КрАО РАН), осуществлена за счет субсидии программы «Общие и локальные характеристики Солнца»; Григорьевой И.Ю. (ГАО РАН) – за счет субсидии программы «Энерговыделение» и частично поддержана Программой П28 Президиума РАН.

Литература

1. *Antalova, A., Ogir, M.B.* // Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Bulletin, 1988, vol. 39, no. 2, Jan., p. 97-105.
2. *Wang, J., Shi, Z.* // Sol. Phys., 1993, 143, 119.
3. *Antalova, A., Jakimiec, M.* // Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Bulletin, 1989, vol. 40, no. 5, Sept., p. 311-320.
4. *Shakhovskaya A.N., Livshits M.A., Chertok I.M.* // Astronomy Reports, 2006, Vol. 50, Issue 12, p.1013-1025.
5. *Shakhovskaya A.N., Akhtemov Z.S.* // Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory, 2013, Vol. 109, Issue 1, pp.86-89.
6. *Livshits M.A. et al.* // Cosmic Research, 2013, Vol. 51(5), pp. 326-334.
7. *Shibasaki, K.* // Astrophysical J., 2002, Vol. 567(1), pp. L85-L87.