

УДК 523.98

Почему двухленточная вспышка 18 июля 2002 года оказалась такой короткой?

А.Н. Шаховская¹, М.А. Лившиц²

¹ НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», 98409, Украина, Крым, Научный

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН имени Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН), Московская обл., г. Троицк

Поступила в редакцию 9 сентября 2005 г.

Аннотация. Приводятся результаты анализа наблюдений вспышки балла X 1.8, длительность которой в диапазоне 1–8 Å составляла всего около 10 минут. Вспышка наблюдалась в КраО на коронографе КГ-1 в центре линии $H\alpha$ и при удалении от центра на 0.5 Å. Для анализа привлекались данные космических наблюдений. Показано, что необычайно малая продолжительность вспышки связана с влиянием направленного на север большого низкотемпературного выброса.

WHY WAS TWO-RIBBON FLARE ON JULY 18, 2002 SO SHORT?, by A.N. Shakhovskaya, M.A. Livshits. The results of analysis of observations of X 1.8-class flare are given. In the range 1–8 Å its length was about 10 minutes. The flare was observed in CrAO with the coronagraph CG-1 in the center of $H\alpha$ line and during its recession from the center 0.5 Å away. Space-based data were applied to the analysis. It was shown that the extremely small flare duration is associated with the influence of northward large low-temperature ejection.

Ключевые слова: солнечная активность, вспышки

1 Введение

Солнечные вспышки в мягком рентгене регистрируются достаточно давно, со времени полета Skylab, и к настоящему времени уже накопилась значительная база данных, содержащая сведения о более 60 тысяч вспышек. Среди них мощных вспышек (мощнее M3) зарегистрировано около 2000, а наиболее мощных (балла X) – более 100. Для развития мощных вспышек наиболее типичен сценарий Коппа-Поймана, когда после импульсной фазы, длящейся несколько минут, наступает постэруптивная – продолжительностью от часа и более. На графике зависимости потока мягкого рентгеновского излучения от времени это выглядит как резкий подъем и медленный, близкий к экспоненциальному, спад. Значительно реже мощная рентгеновская вспышка продолжается менее получаса, вследствие того, что постэруптивная фаза по какой-либо причине не наступает. Это происходит, например, в импульсных вспышках, когда двухленточная структура не формируется, или же в мощных явлениях, когда две ленты появляются, но что-то мешает их обычному развитию. Существует очень небольшое число таких мощных коротких вспышек, как, например, серия компактных вспышек в ноябре 2000 г., исследованных в (Боровик, Лившиц и др., 2004; Лившиц, Бадалян, 2004; Черток и др., 2004).

В ряде случаев эти явления входят в состав серии гомологичных, что скорее всего связано с особенностями магнитной конфигурации активной области (АО) и крупномасштабного магнитного поля. Существуют ли еще какие-либо причины, прерывающие нормальное развитие двухленточной солнечной вспышки?

В этой работе рассматривается возможная причина, приведшая к необычайно малой продолжительности мощной вспышки 18 июля 2002 г. в 07:41–08:16 UT в АО 0030 по NOAA, на основе фильтрограмм, полученных нами в КрАО в линии $H\alpha$, и других наземных и космических наблюдений.

2 Данные наблюдений

18 июля 2002 г. в АО 0030 по NOAA в 07:41–08:16 UT произошла вспышка, характеризующаяся баллами 2В и X1.8 в оптическом и мягком рентгеновском диапазонах. АО отличалась высокой вспышечной активностью – с 15 по 18 июля в ней произошло две X-вспышки и 3 M-вспышки. Рассматриваемая двухленточная вспышка при своей достаточно высокой мощности отличалась очень малой продолжительностью (в шкале GOES – 8 минут, что соответствовало полной продолжительности рентгеновского свечения около 20 минут). На рис. 1 приведена зависимость потока от времени по данным спутника GOES8 в мягком рентгене.

Для анализа используются следующие данные наблюдений:

1. Фильтрограммы АО, полученные в КрАО на КГ-1 в центре линии $H\alpha$ и со сдвигом от центра в обе стороны на 0.5 \AA с 07:42 UT по 08:12 UT. (Телескоп и аппаратура описаны Бабиным (1974).)
2. Спектрограмма в области $H\alpha$, полученная в КрАО на КГ-2 в 09:06 UT. (Телескоп и аппаратура описаны в работах Бабиным (1985, 1985а).)
3. Фильтрограммы, полученные на TRACE в области 1600 \AA с 07:40 по 08:16 UT 2002.
4. Изображение полного диска с SOHO EIT в области 195 \AA с 07:12 по 08:12 UT 2002.
5. Данные GOES 8 и GOES 10 за 18 июля 2002.
6. Данные SOHO LASCO C2 и C3 с 08:06 по 14:06 UT за 18 июля 2002.

По наблюдениям TRACE вспышка началась в 07:41 UT, и в это же время по данным GOES наблюдается резкое возрастание рентгеновского потока, максимум которого был достигнут в 07:45 UT. Оптические наблюдения на коронографе КГ-1 проводились с 07:42 UT до 07:45 UT. Вспышка развивалась обычным образом – поднимались две яркие вспышечные петли (КГ-1 и TRACE), рос рентгеновский поток (GOES). В 07:45 UT на фильтрограмме, полученной в центре линии $H\alpha$, после разрыва одной из петель появился узкий темный выброс. В диапазоне 1600 \AA выброс стал заметен позже, в 07:47 UT, возможно потому, что в этом диапазоне он был значительно менее ярким, чем вспышечные ленты и имел диффузную структуру. Практически одновременно с появлением выброса рентгеновский поток начал резко падать, также как и яркость в $H\alpha$ и в 1600 \AA . До 07:51 UT выброс на изображении в центре линии $H\alpha$ вытягивался к северу, оставаясь длинным и узким, а после 07:51 UT это вытягивание прекращается, и он начинает веером разделяться, сначала на две, а потом и на четыре части, а также становится более темным в северном конце. Начиная с 08:05 UT выброс на фильтрограмме, полученной в центре $H\alpha$, начинает медленно бледнеть, не меняя своей формы. В конце наблюдений, в 09:05 UT, на $H\alpha$ -фильтрограмме выброс практически не различался.

По наблюдениям SOHO EIT в области 195 \AA выброс хорошо был виден в 8:00 UT и 8:12 UT, он также был темным и хорошо повторял структуру высоких корональных арок, наблюдавшихся также накануне вспышки 17 июля на SOHO EIT в диапазоне 171 \AA . Арки веерно расходятся от АО к северу и доходят до канала полярного волокна.

В 08:06 UT на КГ-1 были получены фильтрограммы в крыльях линии $H\alpha$ со сдвигом на 0.5 \AA от центра линии в синее и красное крыло соответственно. Выброс хорошо был виден в крыльях, причем в красном крыле его площадь значительно превосходила площадь, наблюдаемую в синем крыле. В красном крыле четче, чем в центре линии, видна линейчатая структура выброса

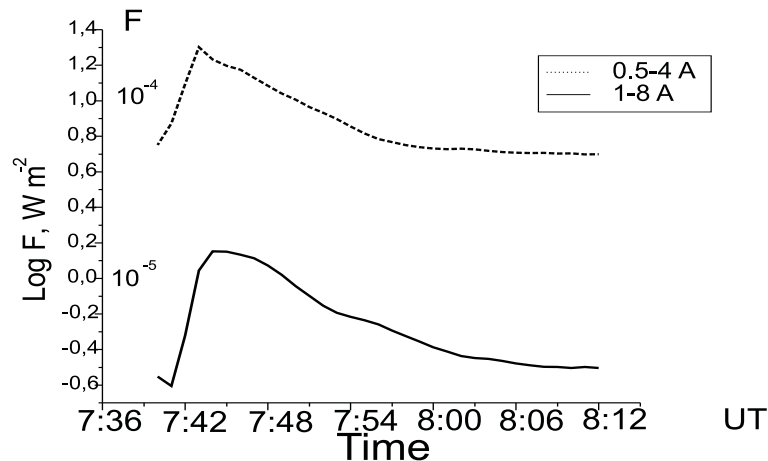


Рис. 1. Изменение потока в мягком рентгене во время вспышки по данным GOES

и его распад на 3-4 полосы, вытянутые вдоль меридиана. Мы построили разностное изображение путем наложения фильтрограмм, полученных в синем и красном крыле, причем красное крыло строилось в негативе, а синее — в позитиве. На рис. 2 это изображение показано для момента 8:06 UT, темные места соответствуют подъему, а светлые — опусканию материи. Анализ показывает, что видимый в центре линии $H\alpha$ темный сердж в основном состоит из поднимающейся материи. На коронографе КрАО КГ-2 А.Н. Бабиным в 08:13 UT получена спектрограмма в области линии $H\alpha$. Щель спектрографа была ориентирована вдоль небольшой арки южнее основного выброса, положение щели показано в верхней части рис. 2 темной линией. На основании эффекта Доплера по спектрограмме рис. 2 (нижняя часть) нами оценена лучевая скорость: по лучу зрения — около 150 км/сек, в противоположном направлении — значительно меньше, около 30 км/сек.

По данным прибора LASCO (C3) SOHO корональный выброс массы (СМЕ) от этой вспышки наблюдался в районе северного полюса Солнца с 08:06 UT до 09:06 UT и отличался малой яркостью, но очень высокой скоростью: 1200 – 1600 км/сек. Как известно, с мощными вспышками ассоциируются обычно СМЕ типа гало. В данном случае СМЕ был слабым, и его угловая ширина была невелика, что, вообще говоря, характерно для коротких вспышек небольшой мощности. Его направленность на север подтверждает значительное отклонение траектории от радиального направления.

3 Анализ наблюдательных данных и их обсуждение

Наблюдаемый низкотемпературный выброс был достаточно мощным. Даже на заключительном этапе развития вспышки сквозь этот выброс на фильтрограмме, полученной в центре $H\alpha$, не было видно низколежащих частей вспышки. Это время — 7:55 UT — соответствует моменту, когда выброс в $H\alpha$ потемнел, а в диапазоне 1600 Å стал прозрачным. Это хорошо заметно на рис. 3, где в диапазоне 1600 Å сквозь выброс хорошо видна вся «хромосферная» вспышка, а на фильтрограмме, полученной в центре линии $H\alpha$, часть вспышки оказалась закрыта. Можно предположить, что в этой закрытой области располагалась низкая петля, соединяющая две ленты. Именно в этой низкой петле, по-видимому, произошли основные высокоэнергичные явления. Выброс, вероятно, нарушил их нормальное развитие и не позволил процессу распространиться вдоль нейтральной линии в северо-восточном направлении.

То, что этот выброс нарушил развитие вспышки, видно на гистерезисной диаграмме $\log T - 1/2 \log EM$ (рис. 4), где T — температура, а EM — мера эмиссии. (Эта диаграмма по данным двух каналов, полученных с минутными интервалами на спутнике GOES, была построена для



Doppler image KG-1 08:06
dark-blue
light - red



Spectra H-alpha
KG-2 08:13

Рис. 2. Вверху – разностное изображение в 08:06 UT, темным – синее крыло (движение к наблюдателю). Внизу – спектрограмма, полученная на КГ-2 Бабиным А.Н. и Коваль А.Н. Линия – $H\alpha$, синее крыло – справа

нас О.Г. Бадалян по методу, описанному ранее Лившицем и др. (2004).) Напомним, что эта диаграмма описывает поведение во времени термодинамических характеристик источника мягкого рентгеновского излучения в целом. В момент 07:43 UT, когда выброс вышел в нижнюю корону (высоты от 10 до 20 тысяч км), где предположительно в токовом слое должно было начаться постэруптивное энерговыделение, развитие вспышки резко оборвалось. Фаза затухания длится обычно часы, а не несколько минут, как в этом случае. После 7:45 UT происходит быстрое радиационное охлаждение плазмы в корональных петлях. На рис. 5, построенном И.М. Чертоком по данным SOHO EIT, представлено разностное изображение полного диска Солнца между моментом 7:13 UT (до вспышки) и в 8:00 UT – сразу после максимума, для коронального излучения на длине волны 195 Å. Белой пунктирной линией выделена область, где произошла вспышка. Здесь яркая часть – еще светящиеся корональные петли. Самые черные части – сильный димминг, соответствующий эвакуации вещества из слоев ярких структур, как высоких, так и достаточно низких, существовавших непосредственно перед вспышкой. Сильный димминг виден именно в той области, где был выброс хромосферного вещества.

Итак, появление темного выброса в области около пятна, на высотах 10-20 тысяч км, резко изменило ход вспышечного процесса. Этот вывод становится более обоснованным, если обратиться к данным о вспышке, произошедшей ранее – 15 июля 2002 года после 20:00 UT в той же активной области. Первая часть вспышки 15 июля (20:04 UT) и вся вспышка 18 июля

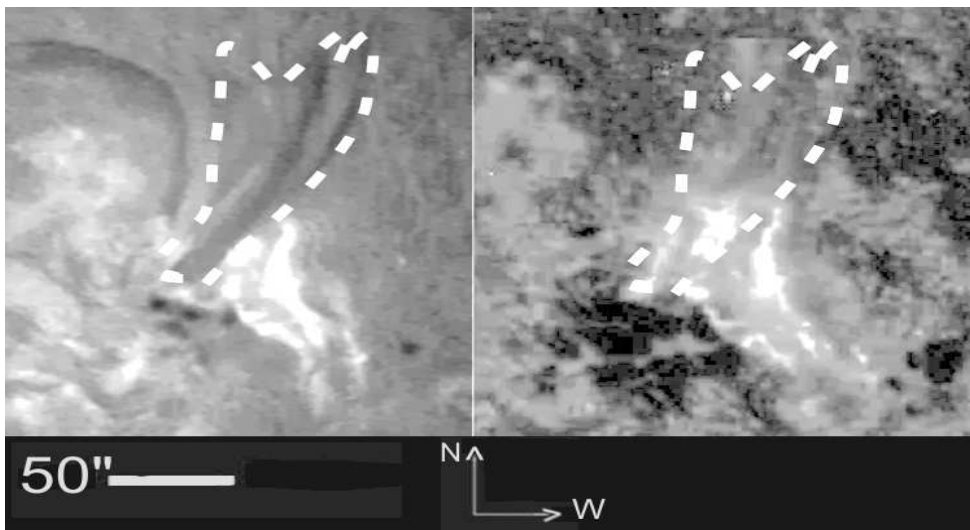


Рис. 3. Слева – $H\alpha$, справа – TRACE в диапазоне 1600 Å. Пунктир – положение выброса в центре линии $H\alpha$ в 07:55 UT, внизу указан масштаб изображения в угловых секундах и направление

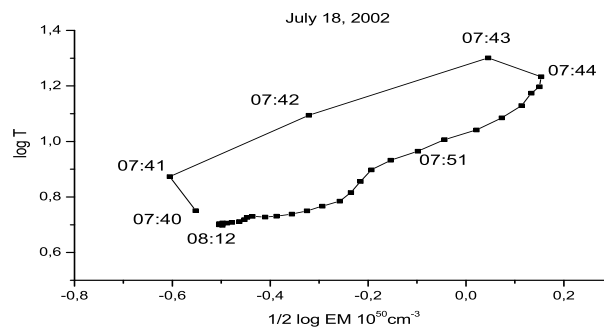


Рис. 4. Гистерезисная диаграмма – изменение меры эмиссии и температуры в рентгеновском источнике

могут считаться гомологичными явлениями. 15 июля аналогичный выброс возник в том самом месте, что свидетельствовало о неизменном положении особенности магнитной конфигурации. Этот выброс также на некоторое время прервал развитие вспышечного процесса, однако в дальнейшем, после мощного выброса, в восточном направлении произошло мощное ускорение частиц и постэруптивные петли развились вдоль нейтральной линии энергетического ядра вспышки (подробнее эта серия гомологичных вспышек будет изучена в дальнейшем). Если в событии 18 июля волокно справа от вспышки оказалось незатронутым вспышечным процессом, то 15 июля там развилась постэруптивная аркада.

Таким образом, в случае мощной вспышки 18 июля 2002 года, есть основания полагать, что быстрое прекращение процесса связано главным образом с разрушением области возможного последующего энерговыделения (предположительно – токового слоя) вследствие удачно ориентированного выброса плазмы. Компактность вспышки, прямо связанная с конфигурацией магнитного поля и преобладающей ролью локальных полей, в данном случае, скорее всего оказалась менее существенным фактором. Заметим, что в серии вспышек ноября 2000 г. этот второй фактор был доминирующим.

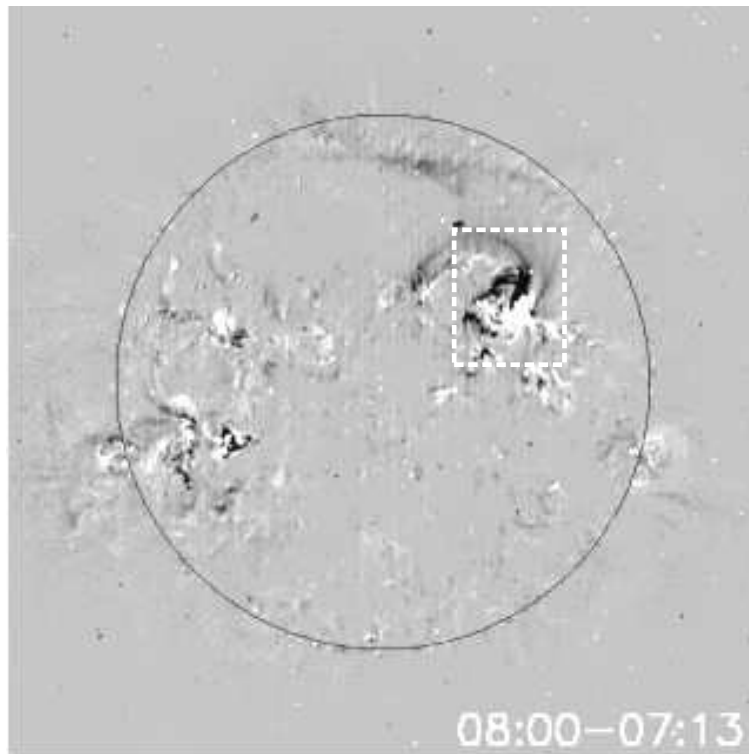


Рис. 5. Разностное изображение участка Солнца со вспышкой 18 июля 2002, полученное в моменты до вспышки – 7:13 UT – и сразу после максимума – 8:00 UT – в диапазоне 195 Å по данным SOHO EIT. Область вспышки обозначена пунктиром

Работа поддержана грантом РФФИ 05-02-17105.

Авторы благодарны А.Н. Баину, А.Н. Коваль, О.Г. Бадалян и И.М. Чертоку за предоставленные материалы.

Литература

- Бабин А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обс. 1974. Т. 52. С. 79.
 Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обс. 1985. Т. 73. С. 3.
 Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обс. 1985а. Т. 77. С. 9.
 Боровик В.Н., Лившиц М.А., Григорьева И.Ю., Медарь И.Г., Чернетский В.А. // Эволюция группы NOAA 9236 и вспышечное энерговыделение по данным РАТАН-600. Труды конференции стран СНГ и Балтии. 2003. стр. 63.
 Лившиц М.А., Бадалян О.Г. // Астрон. журн. 2004. 81. 1138.
 Черток и др. (Chertok I.M., Grechnev V.V., Hudson H.S. and Nitta N.V.) // J. Geophys. Res. 2004. 109. A02112.