

УДК 523.985

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО СОБЫТИЯ, ВКЛЮЧАВШЕГО ВСПЫШКУ И КОРОНАЛЬНЫЙ ВЫБРОС МАССЫ 19 ОКТЯБРЯ 2001 ГОДА

© 2008 г. В. И. Сидоров, С. А. Язев

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск²Астрономическая обсерватория ИГУ, г. Иркутск

yamari@yandex.ru, uustar@star.isu.ru

Поступила в редакцию 26.09.2007 г.

На основе анализа крупной солнечной вспышки X1.6/2B 19.X.2001 в активной области 9661, сопровождавшейся корональным выбросом массы (КВМ) типа “гало”, предложена топологическая модель развития солнечного события, включающего в себя единый процесс развития КВМ и хромосферной вспышки. Согласно модели, этот процесс обеспечивается общим источником энергии – турбулентным токовым слоем, находящимся между аркадой вспышечных петель и уходящей поверхностью КВМ. В рамках модели структуры на концах вспышечных лент (СКВЛ) являются хромосферными основаниями системы крупномасштабных корональных магнитных арок на начальном этапе динамических процессов, развитие которых приводит к КВМ. Периферийные структуры вспышки (ПС) – вытянутые двойные яркие эмиссионные полосы за пределами активной области – интерпретируются как хромосферные основания силовых линий магнитного поля, образующих внешнюю оболочку (оплетку) КВМ на поздней стадии вспышки.

PACS: 96.60.qe; 96.60.ph

ВВЕДЕНИЕ

Детальный анализ структуры крупных солнечных вспышек позволяет выделить ее элементы, которые не описываются существующими моделями. В частности, вспышечные ленты (ВЛ) не исчерпывают структуру хромосферных эмиссионных деталей. Кроме них, наблюдаются удаленные хромосферные уярчения [1], периферийные структуры вспышки (ПС, [2]), яркие структуры на концах вспышечных лент (СКВЛ, [3]). В ряде случаев крупные вспышки сопровождаются мощными явлениями типа корональных выбросов массы (КВМ). Конкретные места их формирования и видимые проявления на уровне хромосферы на ранней стадии развития, а также топологическая связь со вспышками в совместных с ними событиях остаются неясными.

В настоящей работе рассмотрена качественная топологическая модель развития единого события, включавшего мощную солнечную вспышку балла X1.6/2B, происшедшую 19.X.2001 в активной области 9661 (максимум около 16.30 UT, рис. 1) и быстрый КВМ типа “гало”. Для работы использовались 90 цифровых H_α -изображений вспышки (угловое разрешение на лучших снимках до 0.7 as, временное разрешение серии 90 с, обсерватория Big Bear), изображения верхней короны, полученные космическими аппаратами *SOHO* и *TRACE*, а также данные о вариациях интегрального потока солнечно-

го излучения в рентгеновском диапазоне, полученные космическим аппаратом GOES.

СТРУКТУРА ВСПЫШКИ

Выделены следующие морфологические элементы вспышки.

Вспышечные ленты (ВЛ). Наблюдаемая в свете линии H_α , типичная для крупных хромосферных вспышек биполярная структура из двух эмиссионных вспышечных лент, расходящихся по мере развития вспышки (скорость распространения “фронта” ВЛ – 1–5 км/с [2]). Значения контраста по отношению к уровню невозмущенной хромосферы в линии H_α всегда превышали 130%.

Структуры на концах вспышечных лент (СКВЛ). Описанные для ряда крупных вспышек, СКВЛ – это динамичные вспышечные эмиссионные образования, которые отличаются высокой яркостью и нерегулярной формой [3–5]. Как правило, СКВЛ быстро меняют яркость, приобретают кольцевую форму, и задолго до окончания развития H_α -вспышки угасают. Каждая СКВЛ униполярна, т.е. находится в зоне одного знака магнитного поля (МП).

Периферийные структуры (ПС). ПС представляют собой яркие вспышечные эмиссионные образования на периферии активной области (АО). Типичные значения контраста для ПС – около 100%, площадь примерно в 1.5–2 раза меньше площади

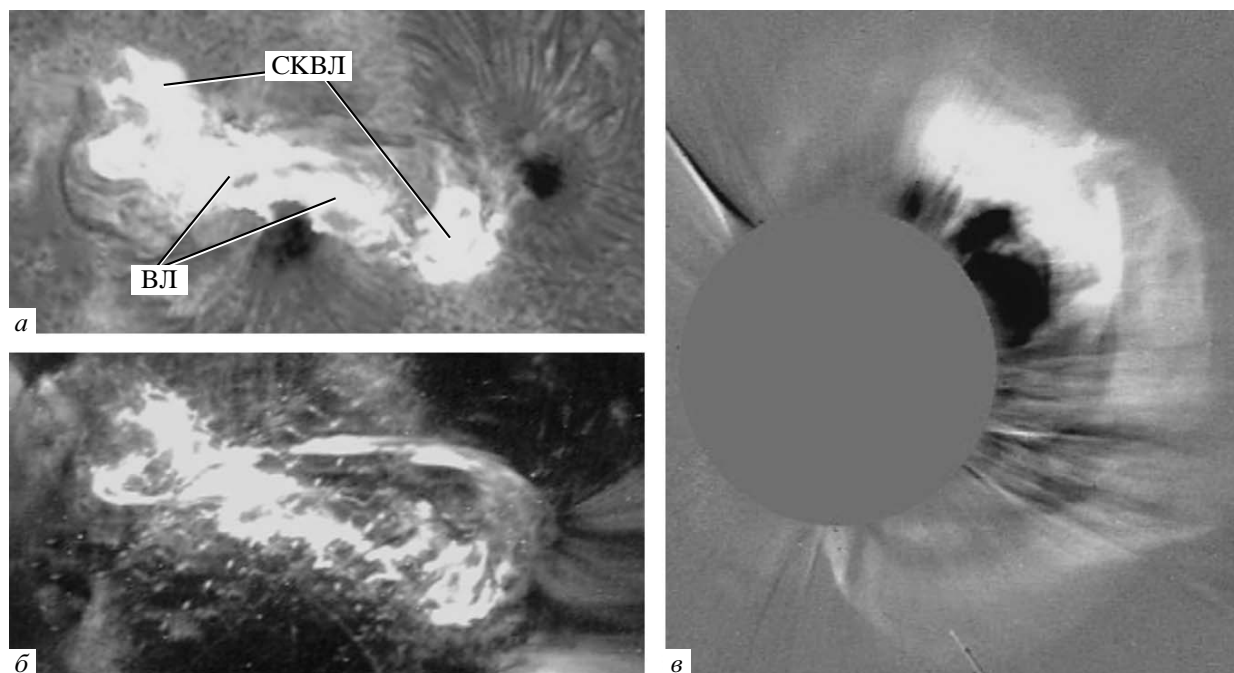


Рис. 1. Вспышка 19.X.2001 г. на предмаксимальной стадии развития. а – картина в линии H_{α} (обсерватория Big Bear), б – в диапазоне 171 Å (TRACE), в – корональный выброс массы типа “гало”, зарегистрированный КА SOHO, начиная с 16.50.

ВЛ [2]. Начиная с момента максимума вспышки, ПС формировались в зоне одного знака МП, в виде тонких двойных эмиссионных полосок (рис. 2). Их ширина – 1.5–2 тыс. км, что в 4–5 раз меньше ширины ВЛ. Расстояние между полосками ПС – от 2 до 10 тысяч километров. Двойная полоска ПС распространялась вдоль флоккулов со средней скоростью 150 км/с, максимальное значение – около 600 км/с. Максимальная яркость наблюдалась во внешней (по отношению к активной области) узкой полоске ПС и на “фронте” распространяющейся эмиссии.

Связь вспышки с КВМ. Вслед за началом вспышки наблюдался связанный с ней мощный КВМ, зафиксированный аппаратурой спутника SOHO [6–7]. В пользу утверждения о тесной связи вспышки с КВМ могут быть приведены дополнительные доводы:

1. Магнитные полярности областей, где развивались СКВЛ, противоположны по знаку, т.е. допускают возможность магнитного замыкания;

2. На отдельных снимках имеющих изображения в разных диапазонах длин волн непосредственно наблюдаются протяженные корональные петли, соединяющие области СКВЛ на фазе, предшествующей развитию КВМ.

В рамках этой гипотезы можно утверждать, что КВМ начал развиваться непосредственно в области вспышки. СКВЛ представляют собой основания жгута поднимающихся магнитных силовых линий, явившихся основой для развития КВМ.

ТОПОЛОГИЯ ВСПЫШКИ И КВМ

Рассмотрим трехмерную топологическую модель процесса взаимосвязанного развития вспышки и КВМ 19.X.2001 г. Модель описывает событие, начиная с фазы роста вспышки (совпадающей по времени с фазой ускорения КВМ в нижней короне) вплоть до фазы угасания вспышки. Предложенная модель не противоречит классическим 2-мерным и 2.5-мерным моделям в рамках концепции CSHKP [8, 9, 10–12] и дополняет их с учетом ряда новых феноменологических деталей.

Первая стадия развития события. Аркада вспышечных петель соприкасается цепочкой вершин с квазицилиндрической оболочкой развивающегося выброса (КВМ), состоящей из спирально закрученных магнитных силовых линий (рис. 3). Внутри оболочки располагается осевой магнитный жгут – “хребтовая” арка КВМ. Основания жгута замыкаются на хромосферу вблизи центров СКВЛ.

Низкие вспышечные арки расположены под острым углом к линии раздела магнитных полярностей (ЛРП). Спиральные магнитные силовые линии оболочки КВМ (далее – спиральные линии) в нижней части КВМ касаются цепочки вершин петель вспышечной аркады. В результате магнитное поле (МП) в вершинах вспышечных арок оказывается антипараллельным полю в нижних точках спиральных линий на оболочке КВМ.

На линии соприкосновения вершин петель вспышечной аркады и нижней поверхности КВМ,

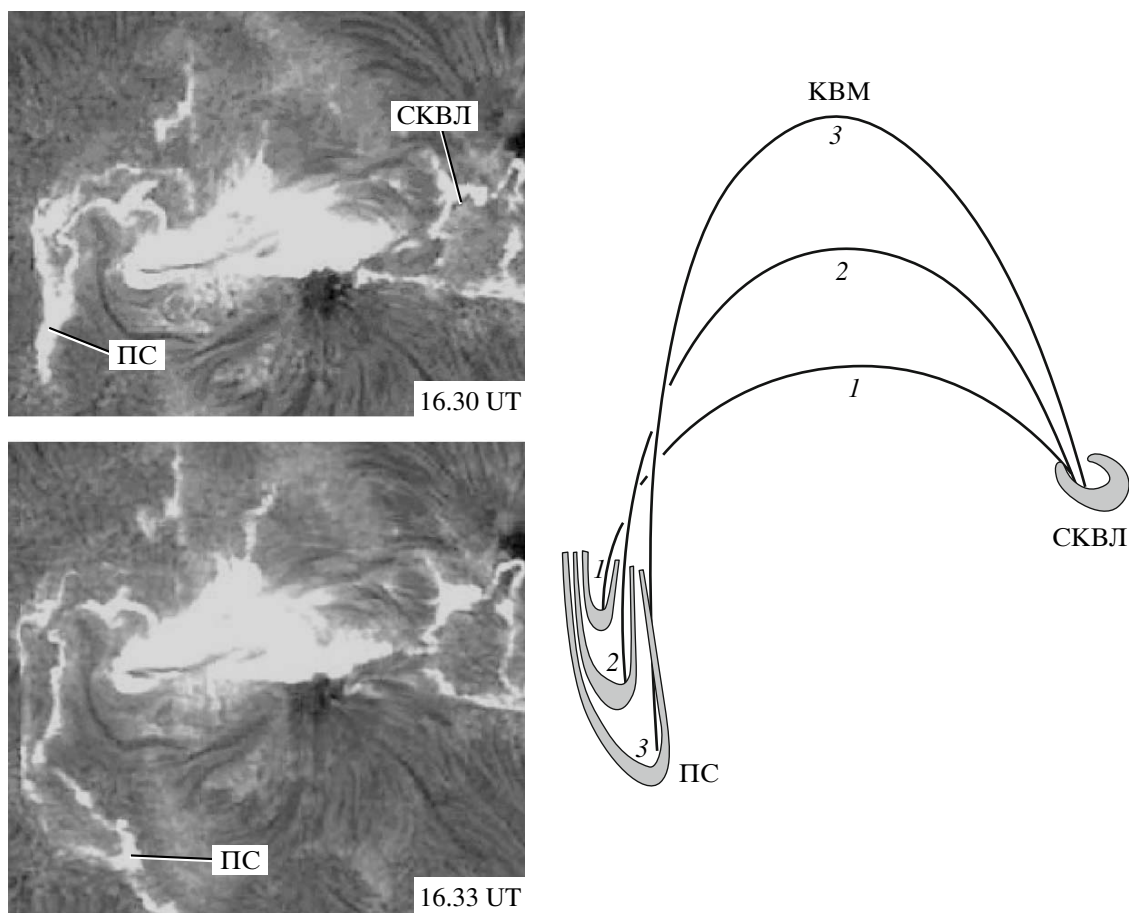


Рис. 2. Развитие периферийных структур во время вспышки (слева), и предполагаемая схема системы СКВЛ–ПС (справа).

согласно [13], развивается высокотемпературный турбулентный токовый слой (далее – ТС). В современных вспышечных моделях этот слой описан как область магнитного пересоединения (высвобождения непотенциальной энергии МП). Перпендикулярное осевому магнитному жгуту КВМ вертикальное сечение дает так называемую *X*-точку (рис. 4).

В соответствии с рассматриваемой моделью, пучки высокоэнергичных частиц, выходя из ТС, движутся вдоль линий МП в четырех направлениях: как вниз по “ногам” петель вспышечной аркады, вызывая эмиссию ВЛ, так и в стороны по спиральным линиям КВМ, вызывая появление СКВЛ.

Логично предположить, что потоки частиц из единого источника энерговыделения имеют близкие параметры. Следовательно, можно ожидать сходства в развитии эмиссии ВЛ и СКВЛ на фазе роста вспышки. Предположение подтверждается фактом коррелированного развития площади H_{α} -эмиссии в ВЛ и СКВЛ (рис. 5). Соответственно, на этой фазе развития мощного события в рамках модели следует ожидать и корреляции в поведении

HXR-источников в основаниях вспышечных арок и в основаниях КВМ.

В областях хромосферы (ВЛ и СКВЛ), где термализуются пучки высокоэнергичных частиц, высыпавшихся из ТС, магнитные трубки наполняются испаряющейся хромосферной плазмой [12, 14–16]. Последняя, поднимаясь, заполняет как вспышечные арки, так и КВМ. Однако, из-за существенной разницы в объемах достигаемая плотность вещества будет кардинально отличаться. Если объем вспышечных арок нарастает достаточно медленно, то объем быстро поднимающегося и “раздувающегося” КВМ, стремительно нарастает, обеспечивая существенно меньшие значения плотности вещества в КВМ по сравнению со вспышечными арками. Этим обстоятельством могут быть объяснены различия в поведении эмиссии в основаниях вспышечных арок (ВЛ) и основаниях КВМ (СКВЛ), начиная с максимума вспышки.

Предлагаемая модель также легко объясняет описанный Сомовым [13] *HXR*-источник в короне, коррелирующий с *HXR*-источниками в основаниях ВЛ. Как указано выше, в рамках предлагаемой модели, исходящие из ТС частицы расходятся в четы-

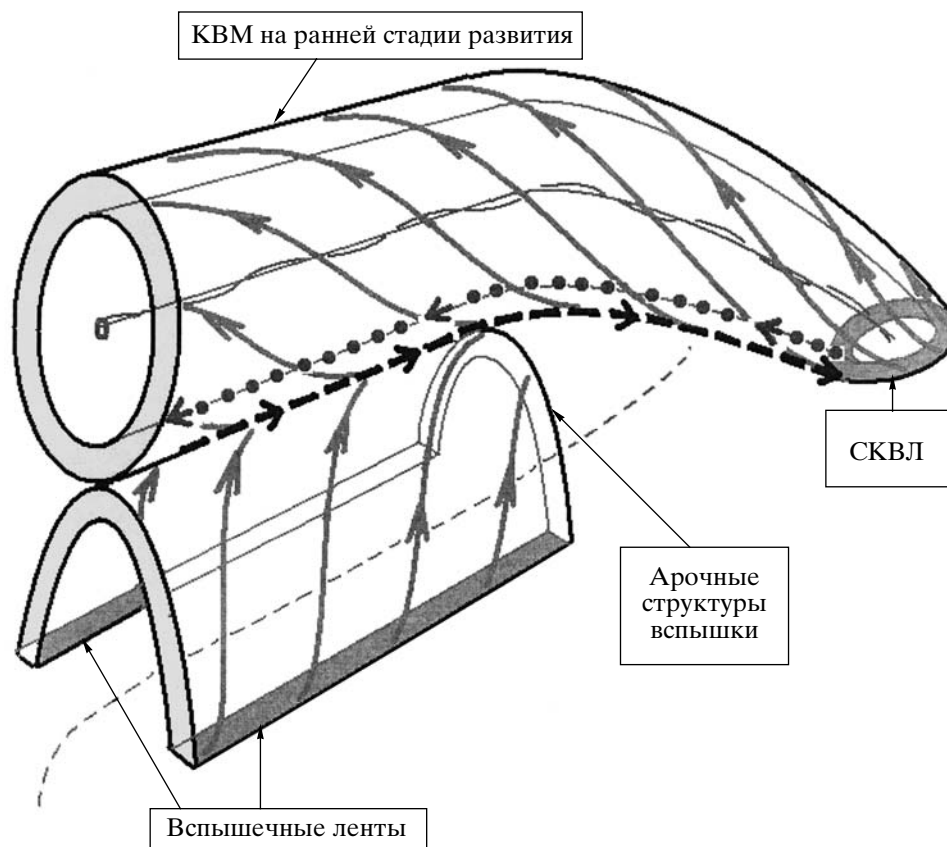


Рис. 3. Топологическая схема солнечного события “вспышка-КВМ” на ранней стадии развития.

рех направлениях. Частицы, ушедшие в КВМ, движутся вдоль спиральных линий, образующих внешнюю оболочку (оплетку) “хребтового” магнитного жгута КВМ (рис. 3 и рис. 4), и попадают на внешний (верхний) фронт КВМ. Здесь они сталкиваются с уплотненной движущейся плазмой внешнего фронта КВМ и вызывают эмиссию в жестком рентгеновском диапазоне. Временной ход интенсивности рентгеновской эмиссии естественно коррелирует с таковым для эмиссии, вызванной потоками частиц, ушедших вниз, в основания вспышечных арок [13]. Часть потока частиц, прошедшего через фронт КВМ, продолжает движение по спиральным траекториям вплоть до их хромосферных оснований (СКВЛ). Таким образом, модель предсказывает наличие корреляции в поведении трех типов *HXR*-источников: на фронте КВМ, в основаниях вспышечных арок (ВЛ) и в двух основаниях КВМ (СКВЛ) на ранней стадии развития вспышки.

В принципе, исходя из модели, становится возможным расчет положения области ТС, где произошел основной импульс энерговыделения.

Рассмотрим сечение вспышечной аркады и КВМ в плоскости, перпендикулярной ЛРП (рис. 4). Спроецируем на это сечение силовые магнитные линии

вспышечной аркады и КВМ. Последовательное вовлечение в процесс вспышки внешних (все более высоких) арок сопровождается подъемом КВМ и смещением *X*-точки (сечения ТС) вверх, а также образованием новой (очередной) внешней оболочки КВМ. Подъем КВМ вызывает смещение (подтягивание) магнитных силовых линий к *X*-точке в горизонтальном направлении (показано двойными стрелками). В результате происходит пересоединение, и цикл повторяется, образуя каждый раз новую внешнюю аркаду вспышечных петель и новую внешнюю оболочку КВМ. Вовлечение в процесс все новых внешних вспышечных арок приводит, согласно классическим представлениям, к эффекту расхождения ВЛ [17] и, аналогично, вовлечение новых внешних оболочек КВМ приводит к расширению кольца СКВЛ. Предполагается, что внешние магнитные силовые линии, подходящие с двух сторон к *X*-точке (сечению ТС), замкнуты над формирующимся КВМ (на рисунке не показаны).

На рис. 4 показаны смещение *X*-точки вверх, а также потоки частиц, распространяющихся из ТС в четырех направлениях: два – вниз (образующие ВЛ), и два – вдоль спиральных линий оболочки

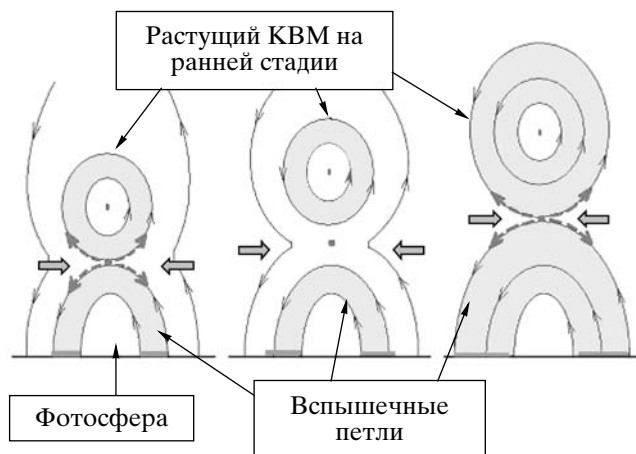


Рис. 4. Сечение аркады вспышечных петель и КВМ на ранней стадии. Показано последовательное вовлечение в процесс внешних вспышечных петель и внешних оболочек КВМ.

КВМ (см. рис. 3) Последние два пучка достигают уровня хромосферы, образуя две структуры СКВЛ.

Развитие события по этой схеме охватывает интервал времени, включающий в себя процесс ускорения КВМ в нижней короне, совпадающий со стадией быстрого расхождения ВЛ до максимума вспышки. Вблизи максимума вспышки падает поток энергии, который переносится пучками ускоренных частиц, исходящих из ТС. К этому времени теряют яркость центральные участки кольцевых СКВЛ.

Вторая стадия развития события. Вблизи фазы максимума вспышки начинается быстрое развитие периферийных структур вспышки (ПС). Процесс наблюдается в линии H_{α} в виде быстрого распространения эмиссии от СКВЛ по цепочке флоккулов одной магнитной полярности. К этому времени эмиссия в СКВЛ наблюдается в виде тонких кольцевых участков с “выгоревшей” (несветящейся) центральной частью. Вспышечные ленты (ВЛ) к этому моменту достигают максимума площади и яркости и переходят на фазу длительной, постепенно убывающей эмиссии с медленным расхождением лент. На фоне замедления динамики развития ВЛ и СКВЛ, быстрый рост протяженности ПС с ярко светящимся, “бегущим” по флоккулам общим для обеих ярких полосок передним краем эмиссии (фронтом) отражает, по-видимому, процесс, существенно отличающийся от явлений в других структурных элементах вспышки.

Локализация начальных ПС, “отпочковывающихся” от СКВЛ, позволяет предполагать, что ПС — это также основания КВМ, но уже его оболочек, внешних по отношению к центральному жгуту. В рамках этого предположения, центральный жгут КВМ опирается на СКВЛ, а внешние, оплетающие его оболочки — на ПС (рис. 2).

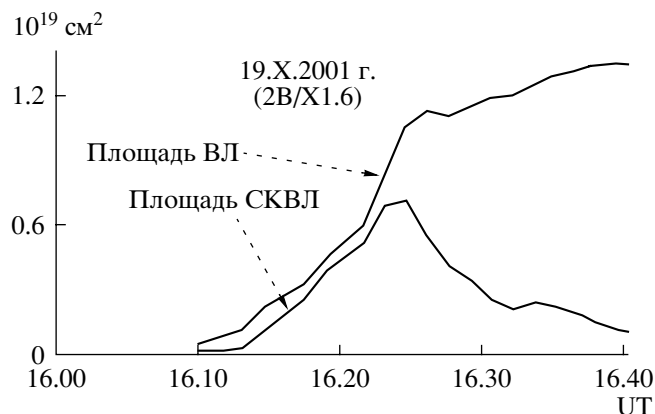


Рис. 5. Временной ход площади хромосферных структур — ВЛ и СКВЛ.

Изменение ПС в послемаксимальной фазе вспышки выглядят как последовательное распространение (вытягивание) двойной полоски ПС с ярким, соединяющим полоски передним краем (фронтом), который быстро перемещается вдоль цепочки флоккулов. В каждый момент времени (1, 2, 3, рис. 2) фронт ПС как бы “вложен” внутри той же ПС, но рассматриваемой в более поздний момент времени (2, 3, 4 ...). Поэтому логичным является предположение о “вложенности” петель КВМ, опирающихся на ранее “засветившиеся” участки ПС, “внутри” петель КВМ, опирающихся на участки ПС, “засветившихся” позднее.

По-видимому, высокая яркость “бегущего” на хромосферном уровне фронта ПС отражает энергетические процессы, происходящие на переднем фронте уходящего в корону КВМ. Ускоренный на предыдущей фазе своего развития КВМ, двигаясь со скоростью 900 км/с, вызывает высвобождение энергии при столкновении фронта КВМ с плазмой невозмущенной короны. Ускоренные в результате этих столкновений потоки частиц, двигаясь вдоль силовых линий МП, достигают ПС, хромосферных оснований внешней оболочки КВМ. Так, на фазе квазиравномерного движения КВМ, следовавшей после фазы ускорения, высвобождение энергии на фронте КВМ обременено скорее столкновению КВМ с плазмой короны, чем переносу энергии из области вспышечного пересоединения, поскольку этот источник уже почти “угас” [6].

Можно предположить, что в ходе движения КВМ в него вовлекаются все более высокие, внешние силовые линии, укорененные во флоккулах на периферии вспышечной активной области. Эти линии, уходя в корону, охватывают вершину расширяющегося купола КВМ. В следующий момент времени, очередные вовлеченные в развитие КВМ магнитные силовые линии, опирающиеся на “сдвинувшийся” фронт ПС, охватывают сверху предыдущий купол КВМ, образуя новую оболочку КВМ

(немного под другим углом). В результате “бегущая” двойная эмиссионная полоска на уровне хромосферы, наблюдаемая в линии H_{α} , отражает вовлечение в процесс все более высоких и внешних арок МП.

ВЕЩЕСТВО В КВМ

Для КВМ, содержащего до 10^{16} г вещества, наблюдаемого с помощью коронографов, обычно характерна следующая структура. Наблюдается передний (внешний) яркий фронт из уплотненной горячей плазмы, за ним следует темная “каверна” (полость) плотного, но более холодного вещества. Иногда в этой “каверне” видны фрагменты выброшенного волокна. Такая структура явно коррелирует с эволюцией СКВЛ и ПС. Центральные “выгоревшие” участки СКВЛ соединены, согласно модели, магнитными силовыми линиями с темной “каверной”, содержащей холодную плазму. Эта плазма поднялась из СКВЛ в первой стадии вспышки. Во второй же стадии, когда на коронографах наблюдается КВМ, ушедший от Солнца на три-шесть солнечных радиусов, эмиссия внешнего узкого кольца СКВЛ и ПС соединена магнитными силовыми линиями с ярким фронтом КВМ.

Возможная схема наполнения КВМ плазмой, поднявшейся в корону из СКВЛ, иллюстрируется на рис. 3. Из ТС пучки частиц движутся по силовым магнитным линиям КВМ и достигают его оснований (СКВЛ). Обратно, вдоль этих же магнитных линий, движется гораздо более медленно хромосферная испарившаяся плазма. Без учета спирального движения эти потоки вещества показаны штриховыми стрелками.

Если суммировать массу всего вещества короны над какой-либо активной областью и предположить, что именно оно уносится с КВМ [6], то требуемая масса легко может быть “набрана”. Однако наблюдения показывают, что корональная конденсация над активной областью сохраняется и после прохождения КВМ. Значит, либо возобновление запасов вещества над активной областью происходит за время, сопоставимое со временем развития КВМ в нижней короне (порядка 3–10 минут), либо с КВМ уходит от Солнца вещество иного происхождения. Модель дает доводы в пользу второго предположения.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе предложена гипотеза, в рамках которой удается обнаружить на хромосферном уровне морфологические проявления оснований арки быстрого выброса корональной массы в начале процесса. При этом находит естественное объяснение известный уже давно феномен СКВЛ. Кроме того, предложенное рассмотрение позволяет по-новому оценить

ряд крупных вспышек, где наблюдались СКВЛ и ПС (например, 13 и 16.V.1981 [1, 18] и другие).

В соответствии с предложенной моделью, динамика ПС прямо указывает на быстрое прохождение фронта КВМ через корону, что возможно только для быстрых КВМ после фазы ускорения. Высокая яркость ПС свидетельствует скорее о высокой интенсивности столкновительных процессов вещества на фронте КВМ с плазмой невозмущенной короны, чем о высокой интенсивности вспышечного пересоединения под КВМ, как это было для СКВЛ на первой стадии события. Движение переднего края ПС отражает вовлечение в КВМ внешних магнитных структур короны, чьи магнитные силовые линии опираются на бегущий по хромосфере фронт ПС. Момент остановки и угасания ПС соответствует прекращению интенсивного вовлечения внешних МП в КВМ. Следует отметить, что на второй стадии развития события происходит в соответствии с основными положениями концепции CSHKP. Модель предлагает способы проверки ее правильности, основанные на анализе временных кривых яркости отдельных элементов вспышки и КВМ и общей топологии петельных систем, наблюдаемых в ходе развития мощных эруптивных солнечных событий.

Предложенная схема объясняет наполнение плазмой КВМ, а также топологическую связь вспышки и КВМ в совместном событии. В одном из вариантов модели CSHKP плазма, испаряясь из хромосферных вспышечных лент, заполняет не только вспышечные петли, но и вышележащий плазмод [12]. В настоящей работе показано, что в рамках предложенной схемы наполнение КВМ веществом осуществляется из особых хромосферных элементов вспышки (СКВЛ), примыкающих к вспышечным лентам и являющихся хромосферными основаниями КВМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложена и обоснована классификация основных морфологических хромосферных элементов вспышки 19.X.2001 – основные вспышечные ленты (ВЛ), структуры на концах вспышечных лент (СКВЛ) и периферийные структуры (ПС).

2. Предложено объяснение феномена СКВЛ. Гипотеза заключается в том, что СКВЛ суть хромосферные основания магнитного жгута, формирующего впоследствии быстрый корональный выброс массы.

3. Предложено объяснение феномена эмиссионных вспышечных периферийных структур, включая их двойную структуру. В рамках предлагаемой модели, ПС – это хромосферные основания магнитных петель, “оплетающих” первоначальный жгут, в последующем образующий корональный выброс массы.

4. Предложена топологическая модель, предлагающая единый источник энергии, обеспечивающий как вспышку, так и ускорение КВМ в нижней короне. С точки зрения авторов, модель объясняет ряд важных сторон солнечных вспышек, в частности: корреляцию роста площади H_{α} -эмиссии вспышечных лент и СКВЛ на фазе роста вспышки; особенности (различия) физических процессов, наблюдаемых в СКВЛ и ВЛ, обусловленные различиями в физических условиях во вспышечных петлях и арках системы КВМ; корреляцию источника жесткого рентгеновского излучения на фронте КВМ с HXR-источником в хромосфере, отмеченного во время другого солнечного события, произошедшего 15.IV.2002 [13].

5. Предложена качественная схема, объясняющая происхождение вещества в корональном выбросе массы.

Изложенные соображения могут явиться основой для разработки модифицированной модели, описывающей процесс развития единого мощного солнечного события – вспышки, сопровождаемой КВМ.

Работа выполнена при поддержке научной школы “Физика солнечных процессов и явлений и создание новых методов их изучения” НШ-4741.2006.2 а также при поддержке Министерства образования и науки в рамках проекта РНП.2.2.3.1.4833.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банин В.Г., Боровик А.В., Язев С.А. Большие солнечные вспышки 13 и 16 мая 1981 г. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. 1983. Вып. 65. С. 151–165.
2. Комарова Е.С., Сидоров В.И., Язев С.А. Особенности развития солнечной вспышки 19 октября 2001 г. // Солнечно-земная физика. 2004. Вып. 6 (119). С. 90–92.
3. Банин В.Г., Федорова А.С. Сильная хромосферная вспышка 5 ноября 1970 г. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. 1971. Вып. 2. С. 73–85.
4. Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Томозов В.М. Солнечные вспышки. 1982. С. 32–34.
5. Heyvaerts I., Priest E.R., Rust D.M. An emerging flux model for the solar flare phenomenon // Preprint ASE-4025. Cambridge (Mass.) 1976.
6. Сидоров В.И. Соотношение энергетики вспышки и коронального выброса массы 19 октября 2001 г. // Солнечно-земная физика. 2004. Вып. 8(121). С. 71–72.
7. Гнездилов А.А., Горгуца Р.В., Соболев Д.Е., и др. Особенности солнечного эруптивного события 19 октября 2001 г. // Активные процессы на Солнце и звездах. 2002. Труды научной конференции стран СНГ и Прибалтики. Санкт-Петербург, 1–6 июля 2002 г. НИИРФ СПбГУ. С. 24–27.
8. Shibata K. A unified model of solar flare. In: Observational Plasma Astrophysics : Five Years of Yohkoh and Beyond / Edited by Tetsuya Watanabe, Takeo Kosugi, and Alphonse C. Sterling. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers // Astrophysics and space science library. 1998. V. 229. P. 187–198.
9. Shibata K. Coronal dynamics and flares: new results from YOHKOH SXT – evidence of magnetic reconnection and a unified model of flares // STEP GBRSC News. June 1995 / Special Issue. Proceedings of The Second SOLTIP Symposium. Nakaminato, Japan 13–17 June 1994. P. 85–96.
10. Svestka Z. and Cliver E.W. History and Basic Characteristics of Eruptive Flares // Eruptive Solar Flares (Z. Svestka, B. Jackson, M. Machado (Eds)). Lecture Notes in Physics. 1992. V. 399. P. 1–11.
11. Sturrock R.A // IAU Symp. 1968. № 35. P. 471.
12. Hirayama T. Theoretical Model of Flares and Prominences. I Evaporating Flare Model // Solar Physics. 1974. V. 34. P. 323–338.
13. Сомов Б.В. Физика солнечных вспышек // Земля и Вселенная. 2005. № 2. С. 4–13.
14. Antonucci E., Dennis B.R., Gabriel A.H., et al. Initial phase of chromospheric evaporation in a solar flare // Solar Physics. 1985. V. 96. P. 129–142.
15. Veronig A. et al. Relating Timing of Solar Flares Observed at Different Wavelengths // Solar Physics. 2002. V. 208. P. 297–315.
16. Schmieder B., Peres G., Ehome S., et al. Energy Transport and Dynamics // Solar Physics. 1994. V. 153. P. 55–72.
17. Somov B.V., Kosugi T., Hudson H.S., et al. Magnetic Reconnection Scenario of the Bastille Day 2000 Flare // Astrophysical J. 2002. V. 579. P. 863–873.
18. Банин В.Г. Комплекс активности и большие вспышки в мае 1981 г. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. 1983. Вып. 65. С. 129–150.

Topological Model of the Solar Event Including a Flare and Coronal Mass Ejection on October 19, 2001

V. I. Sidorov^{1,2} and S. A. Yazev^{1,2}

¹ Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

² Astronomical Observatory of Irkutsk State University, Irkutsk, Russia