

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБЫТИЙ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ РАДИОВСПЛЕСКАМИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Отрицательные радиовсплески в микроволновом диапазоне – довольно редкое явление. Предполагается, что они связаны с эруптивными явлениями на солнечном диске, и поэтому могут нести информацию о параметрах выброса. Одной из возможных причин отрицательных всплесков является временное затенение радиоисточника поглощающим экраном. Такое объяснение отрицательного всплеска, наблюдавшегося 19 мая 1951 г., было предложено ещё Ковингтоном [4]. Микроволновый экран является оптически тонким и не может наблюдаться в H α , он должен быть больше размеров затеняемого источника и находиться на больших высотах, чем серджи или волокна, видимые на диске [14]. Наблюдения отрицательных всплесков, их интерпретация и связь с оптическими наблюдениями в линии H α были обобщены в работе Сойе [14], где отмечалось, что модель поднимающегося и расширяющегося (или опускающегося и сжимающегося) облака холодного вещества может быть применима как для поглощения в H α , так и для микроволнового поглощения. Однако поглощение в этих диапазонах может быть эффективным в разные моменты времени.

С эруптивными событиями связаны также корональные димминги – области пониженной яркости крайнего ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения. Долгоживущие квазистационарные димминги после появления в некоторой области на Солнце несколько расширяются, глубина их достаточно быстро нарастает, а затем медленно спадает в течение нескольких часов или

суток [6, 8]. Основная интерпретация таких диммингов – опустошение короны в результате эрупции магнитной структуры [10].

Кроме квазистационарных диммингов наблюдаются и короткоживущие перемещающиеся потемнения на солнечной поверхности. Некоторые из них могут возникать в результате затенения ярких корональных структур поглощающим веществом выбросов [7]. Димминги обычно наблюдаются на изображениях, полученных ультрафиолетовыми телескопами на космических аппаратах SOHO и TRACE в нескольких каналах (Fe IX/X 171 Å, Fe XII 195 Å, Fe XV 284 Å, He II 304 Å). В разных линиях крайнего ультрафиолета форма и положение таких диммингов могут различаться.

Перед развивающимися диммингами или независимо от них нередко наблюдаются возмущения в виде яркого расширяющегося диффузного (редко резкого) фронта кольцевой или более сложной формы, распространяющиеся от центра эрупции со скоростью порядка нескольких сот км/с [17]. Такие возмущения, наблюдающиеся в каналах 171, 195 и 284 Å, а иногда и в мягком рентгене [18], получили название «волн EIT».

Эруптивные события часто сопровождаются корональными выбросами массы (КВМ), а также радиовсплесками II и IV типов в метровом и дециметровом диапазонах [2]. Когда КВМ явно связан с выбросом волокна, на изображениях в белом свете эруптивное волокно или его остатки часто наблюдаются как яркое ядро КВМ. Однако волокно не всегда эруптирует. Современные наблюдения показывают, что, когда волокно разрывает магнитные силовые линии, связывающие его с фотосферой, оно может быть заблокировано другими магнитными структурами, и, после подъема на некоторую высоту, возвращается обратно на Солнце [3]. Такие возвратные выбросы (возвратные протуберанцы) также называют квазиэруптивными или говорят не об эрупции волокна, а о его активизации [2].

Наблюдения в линии H α (и ее крыльях) с высоким пространственным разрешением, позволяющие проследить движение эруптивного волокна, имеются далеко не всегда. В таких случаях выяснить, является ли событие эруптивным, можно по наблюдениям в мягком рентгене и крайнем ультрафиолете. В работе [13] была исследована связь между исчезающими волокнами (DBs) и корональ-

* Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

ной активностью и даны характеристики эруптивных и квазиэруптивных событий. Сделан вывод, что события, связанные с эрупцией волокон, связаны с двухленточными вспышками в H α и характеризуются образованием аркад и/или диммингов в крайнем ультрафиолете и мягком рентгене, что указывает на крупномасштабную перестройку коронального магнитного поля. События с квазиэруптивными волокнами связаны с компактными вспышками в H α и сопровождаются локальными изменениями в мягком рентгене и крайнем ультрафиолетовом диапазоне без каких-либо признаков открытия коронального магнитного поля [см. также 11]. Локальные изменения видны в виде компактной вспышки или яркой петли, могут также наблюдаться слабые уярчения вдоль канала волокна в 195 Å.

При изучении событий, которые, возможно, связаны с эрупциями волокна, для надёжного воссоздания достоверной картины их развития и получения максимальной информации необходимо использовать наблюдения в различных спектральных диапазонах. Такой анализ эруптивного события 13 июля 2004 г., для которого имелся исчерпывающий набор данных, позволил выявить картину взрывной эрупции компактного волокна в активной области, приведшей к разрушению магнитной структуры волокна и разбрасыванию его фрагментов в виде облака по огромной площади на поверхности Солнца [9]. Соответственно, и у KBM в этом событии не было трёхкомпонентной структуры. Такой же характер, по-видимому, имело и известное событие 29 апреля 1998 г. [5], в котором также наблюдался отрицательный радиовсплеск и крупномасштабное потемнение в канале 304 Å SOHO/EIT, а также событие 18 ноября 2003 г., в котором было обнаружено крупномасштабное движущееся потемнение в канале 304 Å отечественного телескопа КОРОНАС-Ф/СПИРИТ [8, 15]. Для этих двух событий мы не располагаем качественными многочастотными записями радиовсплесков, которые позволили бы оценить параметры выбросов по радиопоглощению.

В данной работе исследуются четыре события, связанные с отрицательными радиовсплесками в микроволновом диапазоне, которые имели тип «послевсплесковое уменьшение потока» и были выявлены по записям интегрального потока радиоизлучения в Уссурийской обсерватории на частоте 2,804 ГГц. Для этих событий

имеющиеся изображения не позволяют однозначно установить, имеем ли мы дело с квазиэрупциями или взрывными эрупциями волокон. Однако мы располагаем многочастотными радиоданными, обеспечивающими возможность оценки количественных параметров выброшенного вещества.

2. АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ

2.1. СОБЫТИЕ 15/16.06.2000 г.

Событие произошло в активной области NOAA 9040 (N19 E17) магнитного класса β . Оно было связано с H α -вспышкой балла 1N (максимум в 23:42 UT) по данным SGD и со вспышкой балла M 2.0 в мягком рентгене по данным GOES. На станции Кулгура зарегистрирован радиовсплеск II типа, и на ряде станций (Лермонт, Хирайсо и др.) зарегистрированы всплески III типа. В связи с этим событием по данным каталога SOHO/LASCO зафиксирован KBM с центральным позиционным углом 42°, соответствующим расположению активной области на солнечном диске.

Для анализа наблюдений в крайнем ультрафиолете использовались солнечные изображения, полученные с помощью ультрафиолетового телескопа EIT солнечной обсерватории SOHO в каналах 195 Å (интервал между изображениями 12 мин) и 304 Å (интервал 6 ч). Исходные файлы в формате FITS были взяты из каталога EIT (<http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/eit-catalog.html>). На рис. 1 представлены фиксированные разностные изображения северо-восточного квадранта солнечного диска в 195 Å с ограничением по яркости ± 300 отсч./пик. и всего диска Солнца в 304 Å с ограничением по яркости ± 20 отсч./пик., а также изображение KBM в 00:50, полученное с помощью SOHO/LASCO. Фиксированные разностные изображения получены вычитанием одного и того же кадра, выбранного до события, из всех последующих кадров, а перед этим выполнена компенсация солнечного вращения. В интересующей нас области 9040 можно наблюдать возникновение и развитие вспышечных уярчений, а также появление диммингов 1 и 2 (рис. 1, б-в). Они продолжают существовать и после 01:30, хотя становятся значи-

тельно меньше в размерах. Потемнение 3 (рис. 1, г), расположенное восточнее АО 9040, может быть вызвано поглощением фонового излучения выброшенным в результате эрупции веществом.

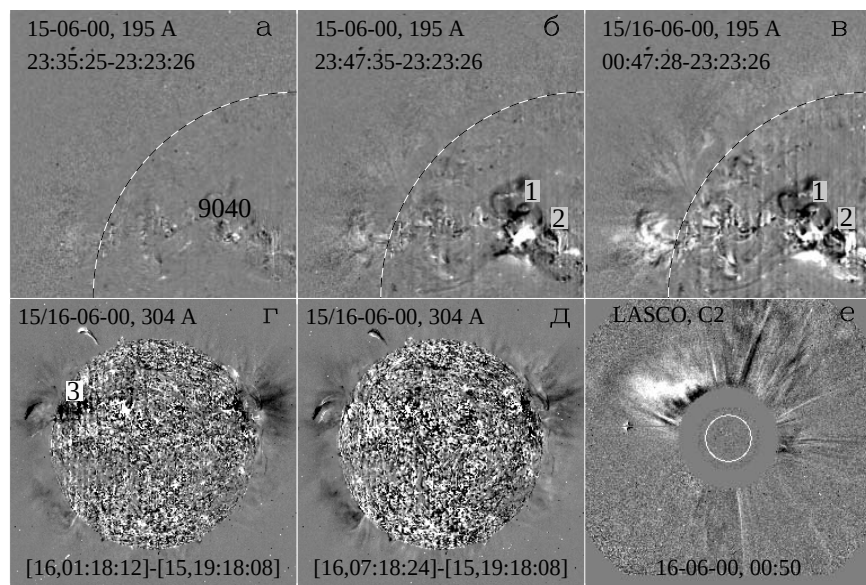


Рис. 1. Фиксированные разностные изображения северо-восточного квадранта солнечного диска с компенсацией солнечного вращения в канале 195 Å (а-в) и всего диска Солнца в канале 304 Å (г,д) по данным SOHO/EIT (пунктирной окружностью показан край солнечного диска), е – KBM на разностном изображении SOHO/LASCO для события 15/16.06.2000 г. Серый диск – затеняющий диск коронографа, белой окружностью показан диск Солнца в белом свете

Для анализа интегрального радиоизлучения на разных частотах использовались данные обсерваторий Нобейма (частоты 1; 2; 3,75; 9,4; 17 ГГц), Хирайсо и УАФО (частота 2,8 ГГц). Обработка записей калиброванного потока включала вычитание предвсплескового уровня радиоизлучения, нормирование полученных величин к уровню спокойного Солнца и сглаживание временных профилей за 200–300 с. Отрицательный радиовсплеск наблюдался после импульсного всплеска на частотах $\leq 9,4$ ГГц с 23:45–23:57 и до 00:13–

00:40 (Рис. 2). Длительность его была минимальна на 9,4 ГГц и увеличивалась к низким частотам.

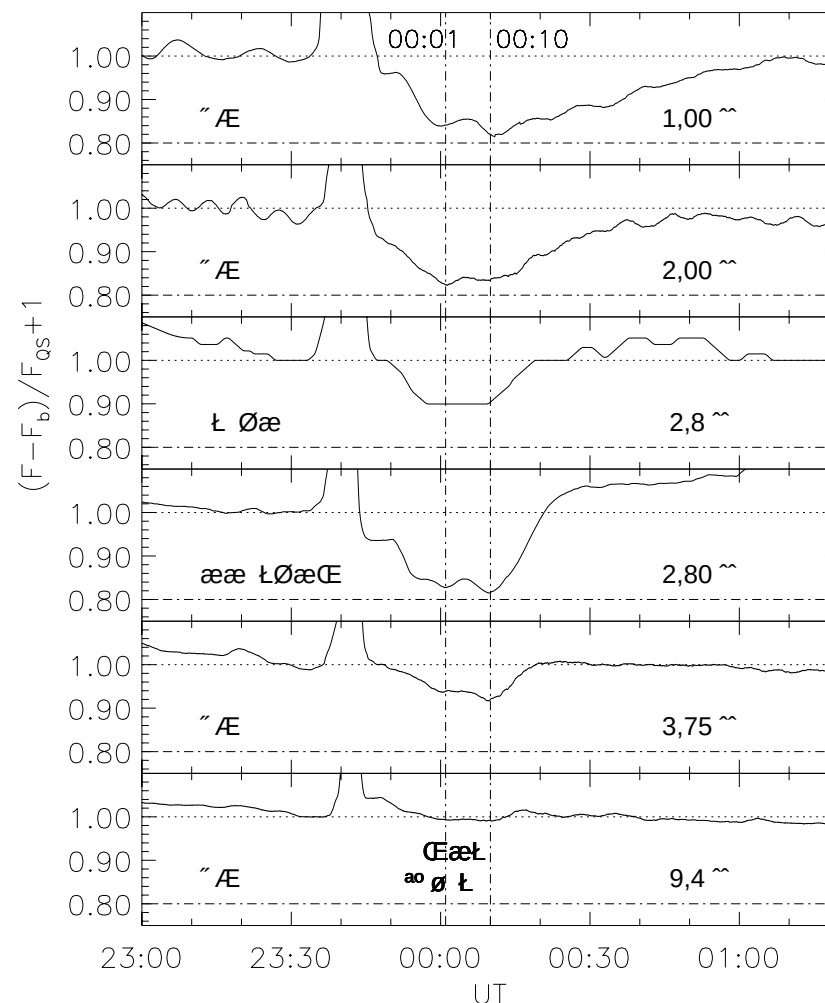


Рис. 2. Нормированные к уровню спокойного Солнца временные профили радиоизлучения на разных частотах для события 15/16.06.2000 г.

На всех частотах можно выделить два максимума поглощения – в 00:01 и 00:10, глубина депрессии была максимальна в 00:10 на частоте 1,0 ГГц и составляла 19%. Запись отрицательного всплеска в УАФО не представляется надёжной, поскольку наблюдаемая глубина поглощения на частоте 2,8 ГГц выглядит выбивающейся из монотонного характера изменения глубины поглощения с частотой, наблюдавшуюся на соседних частотах, а ступенчатое снижение потока около 23:50 наводит на предположение о возможном сбое при переключении аттенюатора. По этой причине использовались также данные Хирайсо на этой частоте. В цифровом виде эти данные недоступны, поэтому была произведена оцифровка графика радиопотока, представленного на сайте обсерватории Хирайсо (<http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/hirasDB/>). Далее при расчетах использовались два значения радиопоглощения на частоте 2,8 ГГц.

Причиной отрицательного всплеска может быть поглощение в выброшенном веществе излучения от областей спокойного Солнца и от радиоисточников, находящихся как над активной областью 9040, так и к востоку от нее (судя по расположению потемнения на рис. 1,г). Оценка потоков от этих радиоисточников по изображениям Солнца на 17 ГГц, полученных на радиогелиографе Нобеяма (<http://solar.nro.nao.ac.jp/norh/images/10min/>), дала их суммарное значение 7–10 с.е.п.

Итак, событие 15/16.06.2000 г. было связано с КВМ и отрицательным радиовсплеском в микроволновом диапазоне. Анализ наблюдений в крайнем ультрафиолете выявил возникновение диммингов, что может быть связано с эрупцией волокна [12]. Таким образом, наблюдательные данные подтверждают предположение об эруптивном характере этого события.

2.2. СОБЫТИЕ 01/02.06.2002 г.

Событие 01/02.06.2002 произошло в активной области NOAA 9973 с координатами S16 E20, класса β/γ по магнитной классификации. Оно было связано с эруптивной H α -вспышкой балла 1F (максимум в 23:50 UT) по данным SGD и со вспышкой балла C 5.1 в

мягком рентгене по данным GOES. На ряде станций (Лермонт, Хирайсо и др.) зарегистрированы радиовсплески II и III типов.

На рис. 3,а крупным планом показано изображение окрестности активной области в H α , полученное на обсерватории Big Bear 01.06.2002 в 20:00. В активной области присутствуют несколько волокон, наиболее крупное из которых – волокно 1. В этой АО до рассматриваемого события (01.06.2002 в 03:50 [11]) и после него (02.06.2002 в 11:47 [12, 16]) происходили гомологичные эруптивные события, наблюдаемые в линии H α и крайнем ультрафиолете, длительность которых не превышала 10 мин. В каждом из этих событий в канале 195 Å наблюдались очень похожие эрупции тёмных волокон и небольших ярких магнитных жгутов внутри куполообразной корональной структуры с трёхмерной X-точкой, а затем появление сердечей [12].

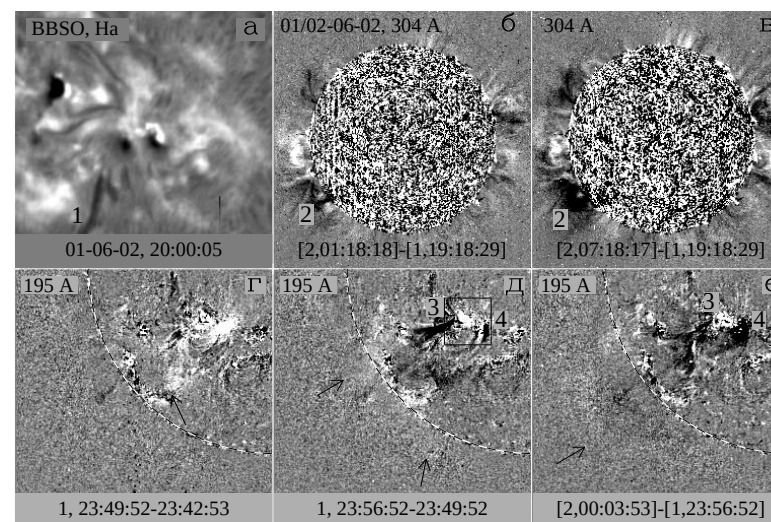


Рис.3: а – Окрестность АО 9973, видимая на изображении H α (BBSO), положение которой показано рамкой на кадре д, б-в – фиксированные разностные изображения Солнца с компенсацией солнечного вращения в канале 304 Å, г-е – последовательные разностные изображения юго-восточного квадранта солнечного диска в канале 195 Å для события 01/02.06.2002 г. по данным SOHO/EIT. Пунктирной окружностью показан край солнечного диска, стрелками – фронт EIT-волны

Анализ наблюдений в крайнем ультрафиолетовом диапазоне проводился по изображениям SOHO/EIT в двух каналах. На рис. 3,б-в приведены фиксированные разностные изображения с компенсацией солнечного вращения в канале 304 Å с 6-часовым интервалом, показывающие появление и расширение темного образования 2 над юго-восточной частью лимба. Его возникновение можно интерпретировать как снижение яркости в этом районе из-за уменьшения плотности плазмы в результате эрупции.

Рис. 3, г-е представляет последовательные разностные изображения юго-восточного квадранта солнечного диска в канале 195 Å с ограничением по яркости ± 10 отсч./пик, которые демонстрируют изменения яркости, положения и формы наблюдаемых структур между двумя последовательными кадрами. На рис. 3, д-е заметно появление и расширение диммингов 3-4 с двух сторон от эруптивного центра, а также фронт распространяющейся над юго-восточным лимбом корональной волны (показан стрелками). Причиной возникновения диммингов в данном событии может быть уменьшение интенсивности излучения вследствие снижения плотности плазмы из-за ее истечения из раскрывшихся или вытянутых корональных структур, которые до события были замкнутыми [10]. Димминги и корональные волны являются свидетельством крупномасштабных возмущений магнитных полей в короне, которые обычно связаны с KBM. Однако данные о KBM отсутствуют, поскольку наблюдения SOHO/LASCO в данный период времени не проводились, а наблюдения в Мауна Лоа на коронографе Mark4 к моменту события были окончены.

В радиодиапазоне на ряде частот были зафиксированы отрицательные радиовсплески. Для анализа интегрального микроволнового радиоизлучения были использованы данные обсерваторий Нобеля, Лермонт и УАФО (всего 7 частот). На частотах 1 и 1,42 ГГц вместо отрицательного всплеска, наблюдаемого на других частотах, происходило послевсплесковое увеличение потока (PBI), поэтому эти данные не рассматривались. Из записей калиброванного потока на всех частотах (кроме 2,8 ГГц) произведено вычитание предвсплескового уровня радиоизлучения и сглаживание профилей по 100 точкам, интервал времени между которыми 1 с. Из записи на 2,8 ГГц

вычитался уровень радиопотока перед отрицательным всплеском. Нормированные к уровню спокойного Солнца временные профили интегрального радиопотока на разных частотах приведены на рис. 4.

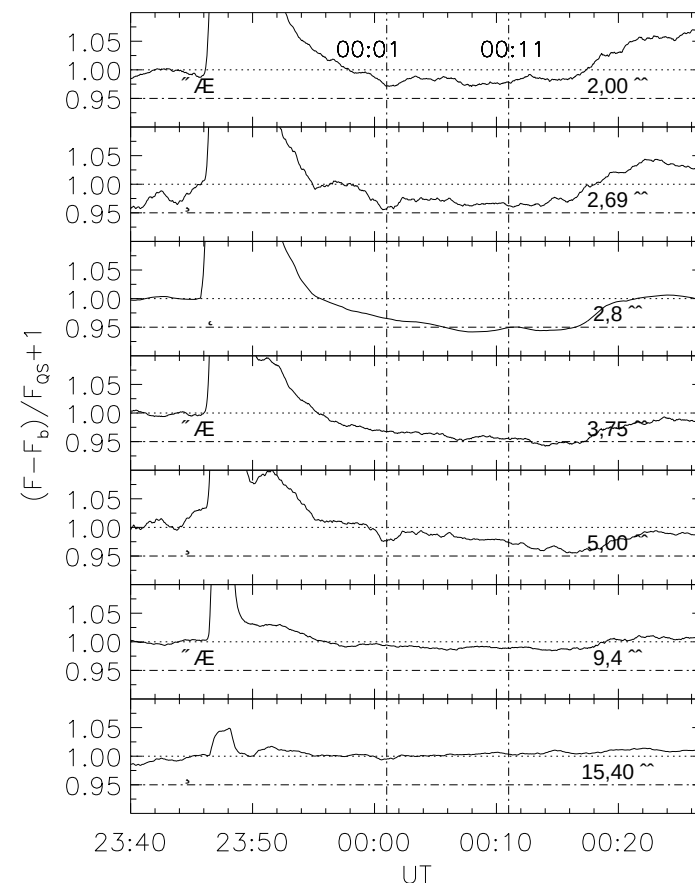


Рис. 4. Нормированные к уровню спокойного Солнца профили интегрального радиопотока на разных частотах для события 01/02.06.2002 г.

Отрицательный радиовсплеск наблюдался после всплеска типа 4 S/F на частотах $\leq 9,4$ ГГц, начиная с 23:55, и продолжался до 00:18–00:25. Длительность всплеска была минимальна на 9,4 ГГц,

увеличивалась до частоты 2,8 ГГц, а затем опять уменьшалась. На частотах 2,8–5,0 ГГц глубина поглощения примерно одинакова – порядка 5–6%, на других частотах – несколько меньше.

По изображениям Солнца, полученным на радиогелиографе Нобейма, было установлено, что величина потока от теплового радиоисточника над активной областью оставалась практически неизменной за всё время события. Это говорит об отсутствии существенного затенения этого радиоисточника выброшенным веществом. Судя по наблюдениям в крайнем ультрафиолете, вещество выброса двигалось в картинной плоскости в сторону лимба, и поглощалось, в основном, радиоизлучение областей спокойного Солнца.

Наблюдавшиеся в событии 02.06.2002 димминги и корональная волна в крайнем ультрафиолете, отрицательный всплеск в микроволновом диапазоне, а также разительное сходство ряда проявлений с гомологичными эруптивными событиями, наблюдавшимися в той же активной области до и после данного события, указывают на эруптивный характер события 02.06.2002.

2.3. СОБЫТИЯ 06.02.2002 и 07.02.2002 г.

События 06.02.2002 (координаты S12 W60) и 07.02.2002 (S11 W72) произошли в одной и той же активной области NOAA 9816 магнитного класса β . На ряде обсерваторий (Лермонт, Кулгура, Хирайсо) в обоих событиях наблюдались радиовсплески III типа, а в событии 6 февраля – также радиовсплеск II типа.

Событие 06.02.2002 г. было связано с эруптивной H α -вспышкой балла 1N (максимум в 04:40 UT) по данным Solar-Geophysical Data (SGD, <http://sgd.ngdc.noaa.gov/sgd/jsp/solarindex.jsp>) и со вспышкой балла C 8.2 в мягком рентгеновском диапазоне по данным GOES. На рис. 5, а показана окрестность активной области в линии H α по данным обсерватории Big Bear до события. Вблизи активной области имелись два крупных волокна 1 и 2. Волокна меньших размеров, находящиеся в самой АО, видны гораздо хуже из-за расположения области вблизи лимба. Для данного события мы не располагаем изображениями Солнца ни в линии H α , ни в эмиссионных линиях крайнего ультрафиолета, и поэтому не имеем возможно-

сти подтвердить связь данного события с выбросом волокна. Однако в сообщении обсерватории Лермонт об этой вспышке указывается на её эруптивный характер (SGD).

В событии 07.02.2002 г. по данным SGD произошла эруптивная H α -вспышка балла SF с максимумом в 00:56 UT и вспышка балла C 4.1 в мягком рентгене (GOES). Для анализа события в крайнем ультрафиолете использовались данные SOHO/EIT в каналах 195 и 304 Å. Рис. 5,б-е представляет фиксированные разностные изображения с компенсацией солнечного вращения в этих каналах, уровни ограничения яркости составляют ± 50 отсч./пик. На рис.5,б видно небольшое уярчение в активной области 9816. Также заметно, что димминг над ней – более глубокий и четкий по сравнению с рис. 5,в, но 6-часовой интервал между кадрами не позволяет проследить его развитие.

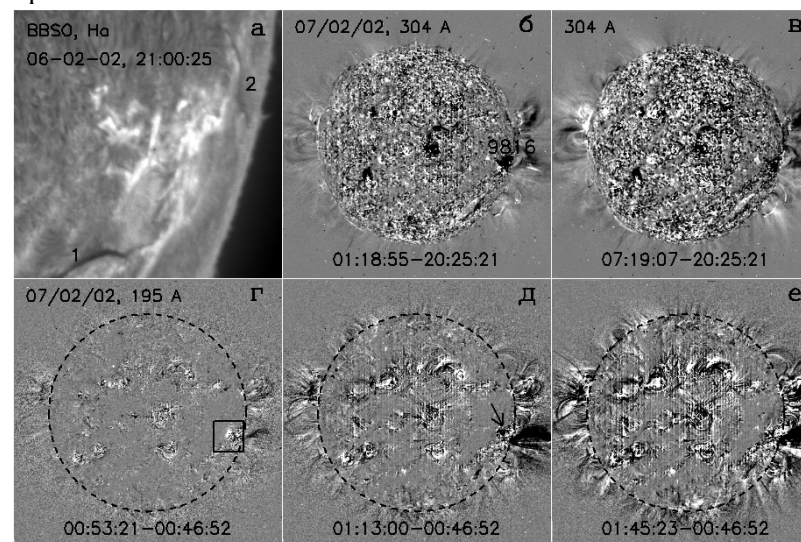


Рис. 5: Событие 07.02.2002. а – Окрестность АО 9816, видимая на изображении H α (BBSO), положение которой показано рамкой на кадре г, б-в – фиксированные разностные изображения в канале 304 Å, г-е – фиксированные разностные изображения SOHO/EIT в канале 195 Å с компенсацией солнечного вращения для события 07.02.2002 г. Пунктирной окружностью показан край солнечного диска. Стрелка на кадре д указывает на короткоживущий димминг над активной областью

Последовательность изображений на рис. 5,г-е демонстрирует появление сначала уярчения, затем развитие небольшого короткоживущего димминга над активной областью (показанного стрелкой на рис. 5,д), а также расширение темной и возникновение яркой структур (по-видимому, струйного выброса) над лимбом. Появление короткоживущего димминга может быть вызвано временным поглощением излучения части солнечной поверхности веществом накрывшего её выброса, а димминга на лимбе – снижением яркости из-за уменьшения плотности плазмы в результате эрупции.

На коронографах SOHO/LASCO с 5 по 10 февраля наблюдений не проводилось, поэтому в событиях 6 и 7 февраля 2002 г. KBM не могли быть зарегистрированы. До 14:30 6 февраля не было наблюдений и на SOHO/EIT. Наблюдения на коронографе Mark4 в обсерватории Мауна Лоа завершились около 23 часов, до начала события.

Для анализа интегрального радиоизлучения на разных частотах были использованы данные обсерваторий Нобеяма (<http://solar.nro.nao.ac.jp/norp/archive.html>) и Уссурийска. Обработка записей калиброванного потока проводилась по аналогии с событием 01/02.06.02. Нормированные к уровню спокойного Солнца профили интегрального радиопотока на разных частотах для двух событий показаны на рис. 6 и рис. 7.

6 февраля 2002 г. отрицательный всплеск произошел после радиовсплеска типа 46С на частотах $\leq 9,4$ ГГц, начиная с 04:43–04:46, и продолжался до 05:05–05:20. Длительность всплеска была минимальна на 9,4 ГГц и увеличивалась в сторону низких частот. На частотах 1–3,75 ГГц глубина поглощения примерно одинакова – порядка 10%, максимальная величина депрессии наблюдалась в 04:50–04:52 на частотах 2–9,4 ГГц и в 00:54 на 1 ГГц.

Отрицательный радиовсплеск 7 февраля 2002 г. был зарегистрирован после небольшого импульсного всплеска 3S на частотах $\leq 3,75$ ГГц, начиная с 00:56–00:58, и продолжался до 01:28; на частоте 9,4 ГГц было незначительное уменьшение потока. Максимальная глубина поглощения – 10% наблюдалась в 01:12 на частоте 2 ГГц; на 2,8 и 3,75 ГГц максимум поглощения наступил несколько раньше; а на 3,75 ГГц их было даже два.

Величина радиопотока от теплового радиоисточника над активной областью, оценённая по изображениям Солнца на частоте 17 ГГц, полученным на радиогелиографе Нобеяма, для обоих событий не превышала 6 с.е.п. Вещество выбросов могло поглощать излучение этого радиоисточника, вызвав отрицательные радиовсплески, наблюдавшиеся в обоих событиях на разных частотах в микроволновом диапазоне.

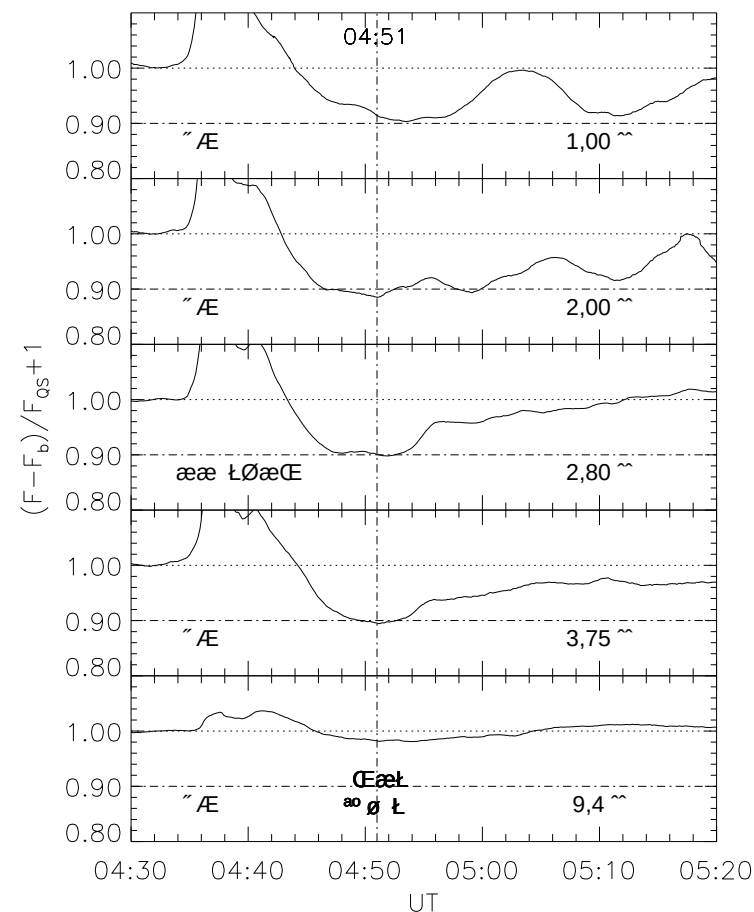


Рис. 6. Нормированные к уровню спокойного Солнца профили радиоизлучения на разных частотах для события 06.02.2002 г.

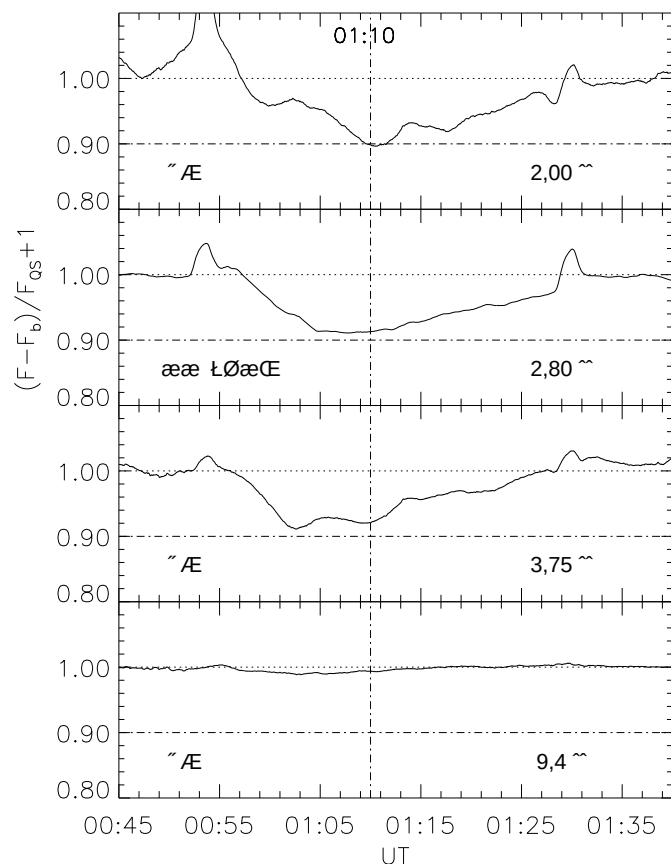


Рис. 7. Нормированные к уровню спокойного Солнца профили радиоизлучения на разных частотах для события 07.02.2002 г.

Оба события были связаны с небольшими эруптивными вспышками. В событии 6 февраля был зарегистрирован всплеск II типа – вероятный признак ударной волны, что косвенно подтверждает возможность энергичной эрупции взрывного характера. В событии 7 февраля 2002 г. в крайнем ультрафиолете наблюдались обширный димминг и струйный выброс над лимбом, свидетельствующие о выбросе КВМ, а также кратковременные локальные уярчение

и короткоживущий димминг, возможно, вызванный поглощением, обусловившим и отрицательный всплеск. Эти факты предполагают, что оба события 6 и 7 февраля 2002 г., скорее всего, были связаны со взрывными эрупциями волокон, однако нельзя исключить возможности того, что эти события могли быть квазиэруптивными. В таком случае поглощение могло быть обусловлено сёрджами.

3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И МАССЫ ВЫБРОСОВ

Проведённый анализ показывает, что все рассмотренные события были связаны с эрупциями волокон в активных областях. Этот факт подтверждает возможность возникновения отрицательного радиовсплеска вследствие поглощения в извергнутом веществе волокна как фонового радиоизлучения Солнца, так и излучения от компактного радиоисточника, хотя и не гарантирует эту возможность. В предположении, что отрицательный всплеск обусловлен поглощением, попытаемся оценить характеристики выброшенного в каждом из этих событий вещества по спектру радиопоглощения на основе разработанной нами ранее модели [1, 9].

Измеренные по рис. 2, 4, 6 и 7 относительные величины поглощения в момент максимальной депрессии на разных частотах во всех событиях были пересчитаны с учетом поглощения потока от затеняемых компактных радиоисточников. На рис. 8 и 9 эти величины показаны звездочками, а результаты применения модели – сплошной линией. Расчетные кривые для исследуемых событий получены при значениях параметров поглощающего вещества, которые приведены в таблице. Здесь T – температура поглотителя, $\tau_{17\text{ГГц}}$ – его оптическая глубина на 17 ГГц, S/S_{Sun} – площадь поглощающего облака в долях площади солнечного диска, z – высота его нижней границы над хромосферой.

Среднюю концентрацию электронов n_e и массу поглощающего вещества m можно найти с помощью формул $\tau = \frac{0,2n_e^2}{\nu^2 T^{3/2}} L$ и $m = m_p n_e S L$, где ν – радиочастота, T , S и L – кинетическая температура, площадь и геометрическая глубина поглотителя, m_p – масса

протона. Степень ионизации при таких температурах предполагается близкой к 100%. Данные наблюдений не позволяют определить форму поглощающего облака ни в одном из событий; в первом приближении можно принять, что его геометрическая глубина $L = \sqrt{S}$. Величины концентрации частиц (n_e) и массы выбросов (m), оцененные для четырех событий, также представлены в таблице.

Для сравнения масса KBM, приведенная в каталоге SOHO/LASCO, для события 15/16.06.2000 г. оценена в $6,3 \cdot 10^{14}$ г. Следует заметить, что значение геометрической глубины может быть значительно меньшим, если облако представляет собой тонкий слой, поэтому полученные величины массы в рассматриваемых событиях являются максимальными оценками.

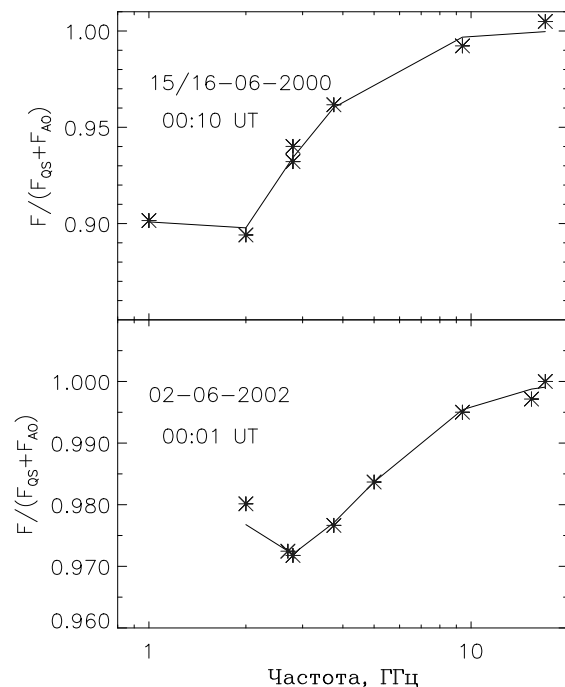


Рис. 8. Значения радиопоглощения, нормированные к сумме радиопотоков от спокойного Солнца и радиоисточника (звездочки), и вычисленные с помощью модели (сплошная линия) для событий 15/16.02.2002 и 01/02.06.2002 г.

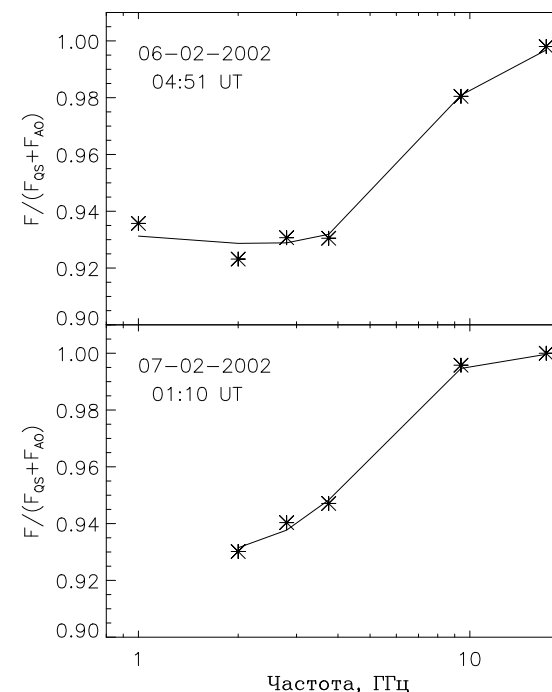


Рис. 9. Значения радиопоглощения, нормированные к сумме радиопотоков от спокойного Солнца и радиоисточника (звездочки), и вычисленные с помощью модели (сплошная линия) для событий 06.02.2002 и 07.02.2002 г.

Таблица
Параметры поглощающего вещества, оцененные с помощью модели

Событие	T , К	$\tau_{17\text{ГГц}}$	S/S_{Sun}	z , ММ	L , ММ	n_e , см^{-3}	m , г
15/16.06.00							
00:01	10000	0,025	0,033	80	220	$0,35 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{14}$
00:10	9000	0,025	0,06	20	300	$0,28 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^{15}$
01/02.06.02							
00:01	8000	0,2	0,022	40	180	$0,92 \cdot 10^8$	$9,4 \cdot 10^{14}$
00:11	8000	0,28	0,02	60	170	$1,1 \cdot 10^8$	$9,8 \cdot 10^{14}$
06.02.2002	9000	0,3	0,035	50	230	$1,1 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^{15}$
07.02.2002	11000	0,07	0,038	80	240	$0,6 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^{15}$

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ наблюдений и информации, имеющейся в SGD, показал, что все рассмотренные события были связаны с эрупциями волокон из активных областей и вспышками, наблюдавшимися в H α и мягком рентгеновском излучении. В трёх из 4 событий наблюдались радиовсплески II типа, которые считаются связанными с ударными волнами в короне. Всплеск II типа не был зарегистрирован в событии 07.02.2002, однако заметим, что в то время, когда он мог наблюдаться, были перерывы в наблюдениях как в обсерватории Лермонт (с 00:54 до 01:29 UT), так и на фиксированных частотах (200 МГц, 500 МГц и 2,8 ГГц) в обсерватории Хирайсо (с 00 до 01 UT), а чувствительность спектрографа Хирайсо могла быть недостаточной для регистрации этого слабого всплеска.

В событии 15/16.06.2000 был зарегистрирован KBM; остальные три события произошли в то время, когда наблюдений на коронографах SOHO/LASCO и Mark4 (MLSO) не было. Однако признаки KBM – димминги или корональные волны – наблюдались во всех событиях, кроме события 06.02.2002, для которого мы не имеем никаких изображений ни в H α , ни в крайнем ультрафиолете, ни в белом свете на коронографах. Даже при неполной информации о рассмотренных событиях наличие или радиовсплеска II типа и/или крупномасштабных возмущений, наблюдавшихся в крайнем ультрафиолете (или того и другого) указывает на то, что, скорее всего, KBM имели место в каждом из этих событий.

В некоторых эруптивных событиях часть вещества покидает Солнце, а другая часть возвращается обратно, причем фрагменты волокна могут быть рассеяны по значительной части солнечной поверхности. Одно из таких событий (13 июля 2004 г.) было детально исследовано в работе [9], где было показано, что в таких взрывных эрупциях возможно разрушение магнитной структуры волокна и разбрасывание его фрагментов в виде облака по большой площади. В таких событиях могут наблюдаться крупномасштабные потемнения в крайнем ультрафиолете [8] и отрицательные радиовсплески. Возможен также подъём газа из плотных, низкотемпературных нижних слоёв солнечной атмосферы, всасываемого в область понижен-

ного давления, образовавшуюся вследствие KBM, что, возможно, является одной из причин сёрджей.

Эрупции такого типа мало изучены по очевидным причинам. Рассеиваемое по большой площади вещество быстро становится невидимым в H α из-за потери оптической толщины и выхода линии поглощения из полосы фильтра за счет эффекта Доплера при значительных лучевых скоростях. Изображения же в линии 304 Å, как правило, получают с интервалом в 6 (или даже 12) часов, вследствие чего регистрация таких явлений маловероятна.

В рассмотренном событии 15/16.06.2000 г. потемнение, наблюдавшееся в канале 304 Å, имело площадь порядка 3 % (на уровне 20%-го снижения яркости) от площади солнечного диска. Во время его наблюдения отрицательные радиовсплески в микроволновом диапазоне уже закончились, что может означать, что поглощающее излучение в линии 304 Å облако находилось на меньших высотах, чем затенявшиеся ранее радиоисточники. Поглощающее вещество опускалось, но едва ли это происходило по траектории его подъема, поскольку площадь облака многократно превышает размеры волокна, и его положение отлично от места эрупции.

Неясным остаётся лишь то, что произошло с волокнами после эрупции в событиях 01/02.06.2002, 06.02.2002 и 07.02.2002 – либо их взрывное распыление по большой площади, либо возвратный выброс с последующим падением вещества обратно к месту эрупции (квазиэрупция). В любом из этих двух вероятных сценариев возможны отрицательные радиовсплески и появление сёрджей в H α и крайнем ультрафиолете. Сёрджи и спреи, вероятно, наиболее близки по физической природе облакам фрагментов, образующимся при распаде волокон при взрывных эрупциях, хотя и имеют гораздо меньший масштаб.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы четыре события 15/16.06.2000, 01/02.06.2002, 06.02.2002 и 07.02.2002 г., отобранные в связи с зарегистрированными в УАФО на частоте 2,8 ГГц отрицательными радиовсплесками. Из анализа наблюдений сделан вывод, что эти события могут

относиться к малоизученному классу взрывных эрупций или быть связаны с квазиэрупцией волокна (возвратным выбросом). При взрывных эрупциях возможно разрушение магнитной структуры эруптивного волокна и разбрасывание его фрагментов в виде облака по значительной части поверхности Солнца.

По значениям радиопоглощения, измеренным на нескольких частотах диапазона 1–10 ГГц, с помощью разработанной ранее модели для всех рассмотренных событий сделаны оценки таких параметров поглощающей плазмы, как кинетическая температура, оптическая глубина, площадь затеняющего экрана и его высота над хромосферой. Это позволило определить массы выбросов – порядка 10^{15} г, что сопоставимо с массами типичных волокон и КВМ.

Полученные оценки температур (8000–11000 К) показывают, что во всех событиях поглотителем могло являться вещество эруптировавшего волокна. Площади поглощающих облаков (2–6% от площади солнечного диска) были весьма значительны и достаточны для затенения как яркого локального радиоисточника, так и областей спокойного Солнца, обуславливая отрицательные радиовсплески. При движении выбросов могло происходить поглощение фонового излучения Солнца в холодном водороде, находящегося в облаке фрагментов волокна, что могло наблюдаться как кратковременная депрессия излучения в крайнем ультрафиолетовом диапазоне в канале 304 Å.

Авторы признательны А.М. Уралову, И.М. Чертоку и В.А. Слемзину за полезные обсуждения. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 07-02-00101 и Интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН 09-И-СО-02-002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменко И.В., Гречнев В.В., Уралов А.М. Исследование события 13 июля 2004 г. связанного с отрицательным радиовсплеском // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2007. С.50-57 (Тр.УАФО; т.10, вып.10).
2. Филиппов Б.П. Эруптивные процессы на Солнце. М: Физматлит, 2007. 211 с.
3. Порфирьева Г.А., Якунина Г.В., Делоне А.Б. Вспышки и активизация волокон в активных областях на Солнце // Труды Международного симпозиума «Международный гелиофизический год – 2004: Новый взгляд на солнечно-земную физи-

ку», Звенигород, 5–11 ноября 2007. В журн. «Солнечно-земная физика», Изд. СО РАН, 2008. вып.12(125). т.1. с.6–7.

4. Covington A.E., Dodson H.W., Helen W. Absorption of 10.7-centimetre Solar Radiation during Flare of May 19, 1951 // J. Roy. Astron. Soc. 1953. V. 47. P. 207.
5. Chertok I.M., Grechnev V.V. Large-scale dimmings produced by solar coronal mass ejections according to SOHO/EIT data in four EUV lines // Astron. Rep. 2003. V. 47. P.934-945.
6. Chertok I.M., Grechnev V.V. Large-scale activity in the Bastille Day 2000 solar event // Solar Phys. 2005. V. 229. P.95-114.
7. Delaboudinière J. P. 2005, In K. P. Dere, J. Wang and Y. Yan, editors, Coronal and Stellar Mass Ejections, Proc. IAU Symp., 2004. 226. P. 178.
8. Grechnev V. V., Chertok I. M., Slemzin V.A. et al. CORONAS-F/SPIRIT EUV observations of October-November 2003 solar eruptive events in combination with SOHO/EIT data // J. Geophys. Res. 2005. V.110. A09S07.
9. Grechnev V.V., Uralov A.M., Slemzin V.A., Chertok I.M., Kuzmenko I.V., Shibasaki K. Absorption phenomena and a probable blast wave in the 13 July 2004 eruptive event // Solar Phys. 2008. V.253. P. 263-290.
10. Harra L.K., Sterling A.C. Material outflows from coronal intensity “dimming regions” during coronal mass ejection onset // Astrophys. J. 2001. V. 561. L.215–218.
11. Ji H., Wang H., Schmahl E.J., Moon Y.-J., Jiang Y. Observations of the failed eruption of a filament // Astroph. J. 2003. V.595. P.L135-L138.
12. Meshalkina N.S., Uralov A.M., Grechnev V.V., Altyntsev A.T., Kashapova L.K. Eruptions of magnetic ropes in two homologous solar events of 2002 June 1 and 2: a key to understanding an enigmatic flare // PASJ, 2009, в печати
13. Morimoto T., Kurorawa H. Eruptive and quasi-eruptive disappearing solar filaments and their relationship with coronal activities // Publ.Astron.Soc.Japan. 2003. V.55. No.6. P.1141–1151.
14. Sawyer C. Are «negative burst» due to absorption? // Solar Phys. 1977. V.51. P. 203-215.
15. Slemzin V., Chertok I., Grechnev V., Ignat'ev A., Kuzin S., Pertsov A., Zhitnik I., Delaboudinière J.-P.: 2004, In: Stepanov A.V., Benevolenskaya E.E., Kosovichev A.G. (eds.) Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity, Proc. IAU Symp. 223, 533.
16. Sui L., Holman G.D., Dennis B.R. Enigma of a flare involving multiple-loop interactions: emerging, colliding loops or magnetic breakout? // Astroph. J. 2006. V. 646. P. 605-614.
17. Thompson B. J., Plunkett S. P., Gurman J. B., Newmark J. S., St. Cyr O. C., Michels D. J. SOHO/EIT observations of an Earth-directed coronal mass ejection on May 12, 1997 // Geophys. Res. Lett. 1998. V. 25. P. 2465-2468.
18. Zhukov A. N. Initiation of CMEs: EIT waves and EUV dimmings // The Solar-B Mission and the Forefront of Solar Physics, ASP Conference Series, 2004. V.325. p.381.