

*И.В. Кузьменко, В.В. Гречнев\**

## ОЦЕНКА МАССЫ ВЫБРОСА ПО РАДИОДАНЫМ В ЭРУПТИВНОМ СОБЫТИИ 1 ЯНВАРЯ 2005 г.

Проведен анализ события 01.01.2005 г. по данным различных спектральных диапазонов, из которого сделан вывод об эруптивном характере события. В крайнем ультрафиолетовом диапазоне по данным SOHO/EIT в каналах 195 Å и 304 Å наблюдались димминги различной формы, что позволяет предположить, что в событии произошла аномальная эрупция волокна, в результате которой произошло разрушение магнитной структуры волокна, и распыление его фрагментов по значительной части солнечной поверхности. Выполнены оценки параметров поглощающего вещества, масса выброса оценена в  $2 \times 10^{15}$  г, что сопоставимо с массой типичных волокон и КВМ.

### ВВЕДЕНИЕ

Эруптивные события, в которых происходит разрушение магнитной структуры выброшенного волокна и рассеяние его фрагментов по значительной части солнечной поверхности, регистрируются редко, и поэтому мало изучены. В таких событиях могут наблюдаться крупномасштабные потемнения в канале 304 Å, по своей конфигурации и положению отличные от диммингов в корональных каналах, а также отрицательные радиовсплески в микроволновом диапазоне.

Используя записи интегрального потока радиоизлучения, полученные на радиотелескопе РТ-2 Уссурийской обсерватории на частоте 2,804 ГГц, для изучения были отобраны несколько событий с отрицательными радиовсплесками. Детальный анализ события 13

июля 2004 г., для которого имелся исчерпывающий набор данных из различных спектральных диапазонов, позволил выявить картину аномальной эрупции компактного волокна в активной области, приведшей к разрушению его магнитной структуры и разбрасыванию фрагментов в виде облака по огромной площади поверхности Солнца [4]. При исследовании этого события была разработана модель, которая при наличии многочастотных записей радиопоглощения в микроволновом диапазоне позволила сделать оценки параметров поглощающего вещества и массы выброса.

Результаты исследования четырех событий, для которых имелись записи отрицательных радиовсплесков на ряде частот, хотя и было недостаточно данных из других диапазонов спектра, приведены в работе [2]. К этой же группе событий можно отнести и событие 01.01.2005 г., исследованию которого и посвящена данная работа.

### АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ

Событие 01.01.2005 г. произошло в активной области NOAA 10715 с координатами N04 E20, имеющей класс  $\beta\gamma\delta$  по магнитной классификации. Оно было связано со вспышками балла C 1.2 (в 00:01) и X 1.7 (максимум в 00:31) в мягком рентгене по данным GOES. По данным каталога SOHO/LASCO в этом событии был зафиксирован замедляющийся корональный выброс типа гало (с ускорением  $-5,5$  м/с<sup>2</sup>). На ряде обсерваторий (Кулгура, Хирайсо и др.) зарегистрированы радиовсплески II, III и IV типов.

На изображениях в линии H $\alpha$  по данным обсерватории Kanzelhoehe 31 декабря 2004 г. до события можно было видеть присутствие в активной области двух волокон, данных о наблюдениях 1 января 2005 г. ни на одной обсерватории найдено не было.

Для анализа наблюдений в крайнем ультрафиолетовом диапазоне использовались солнечные изображения, полученные с помощью 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 представ-

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

лены фиксированные разностные изображения солнечного диска в 195 Å и 304 Å с ограничением по яркости  $\pm 20$  отсчет/пиксель, а также разностное изображение по данным LASCO/C2, демонстрирующее корональный выброс. Фиксированные разностные изображения в каналах 195 Å и 304 Å получены вычитанием одного и того же кадра, выбранного до события, из всех последующих кадров, а перед этим выполнена компенсация солнечного вращения.

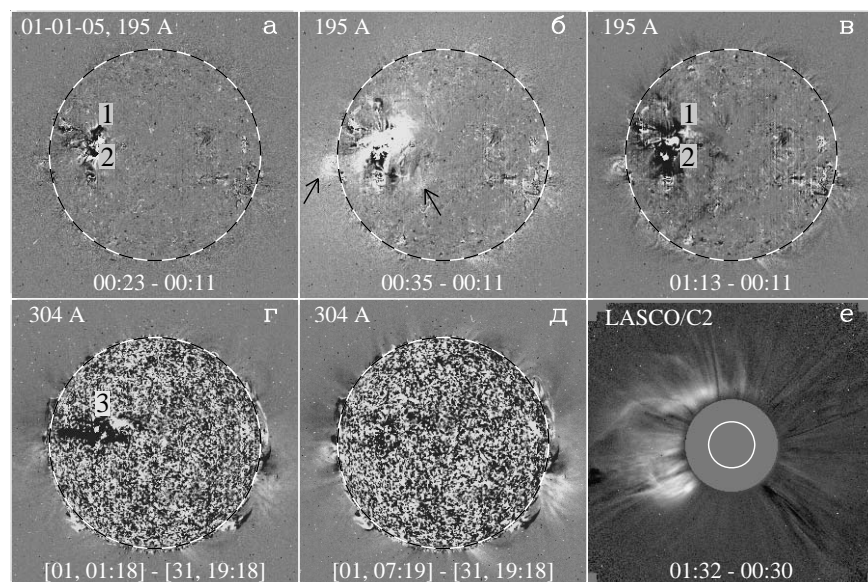


Рис. 1. Фиксированные разностные изображения солнечного диска с компенсацией солнечного вращения в каналах 195 Å (а-в) и 304 Å (г,д) по данным SOHO/EIT (пунктирной окружностью показан край солнечного диска), е – КВМ на разностном изображении SOHO/LASCO. Серый диск – затеняющий диск коронографа, белой окружностью показан диск Солнца в белом свете

На изображениях в канале 195 Å можно видеть возникновение и развитие диммингов 1 и 2 (рис.1, а, в), а на кадре б – фронт «волны EIT», показанный стрелками. Одной из причин возникновения диммингов считается уменьшение интенсивности излучения вследствие снижения плотности плазмы из-за эвакуации ее из рас-

крывшихся или вытянутых корональных структур, которые ранее были замкнутыми [5]. Димминги и корональные волны являются свидетельством крупномасштабных возмущений магнитных полей в короне и обычно наблюдаются в эруптивных событиях.

Потемнение 3 (рис. 1, г), видимое в канале 304 Å, по своей форме отличается от диммингов в 195 Å и может быть вызвано поглощением фонового излучения выброшенным в результате эрупции веществом [3]. Оно имело площадь порядка 3 % от площади солнечного диска на уровне 25%-го снижения яркости.

Таким образом, в крайнем ультрафиолете наблюдаются димминги, отличающиеся по своей форме и положению, и имеющие разные причины возникновения. Долгоживущие димминги в канале 195 Å обычно находятся в основаниях эруптивной структуры, а потемнение в 304 Å, вероятнее всего, является проекцией поглощающего облака на картинную плоскость. По своим размерам оно во много раз превышает размеры волокна, что позволяет предположить, что в событии произошла аномальная эрупция, в результате которой фрагменты волокна рассеялись в виде облака по солнечной поверхности. КВМ в этом событии не имел яркого ядра, которое обычно ассоциируется с веществом эруптивного волокна, как и в событии 13.07.2004 г. [4], что также подтверждает предположение о том, что часть эруптивного волокна могла вернуться обратно на Солнце.

Для анализа интегрального радиоизлучения на разных частотах использовались данные обсерваторий Нобеяма (частоты 1; 2; 3,75 ГГц), УАФО (2,8 ГГц) и Лермонт (1.4, 2.7, 4.9 и 8.8 ГГц). Обработка записей калиброванного потока включала вычитание предвсплескового уровня радиоизлучения (для данных станции Лермонт на частоте 2,7 ГГц производилось вычитание величины радиоизлучения спокойного Солнца после отрицательного всплеска), нормирование полученных величин к уровню спокойного Солнца и сглаживание временных профилей за 30 с.

Отрицательный радиовсплеск наблюдался после мощного импульсного всплеска (с максимальной интенсивностью 7472 с.е.п. на 1 ГГц) на частотах  $< 5,0$  ГГц, начиная с 00:51–01:02, и продолжался до 01:50–02:10 (Рис. 2). Длительность всплеска была мини-

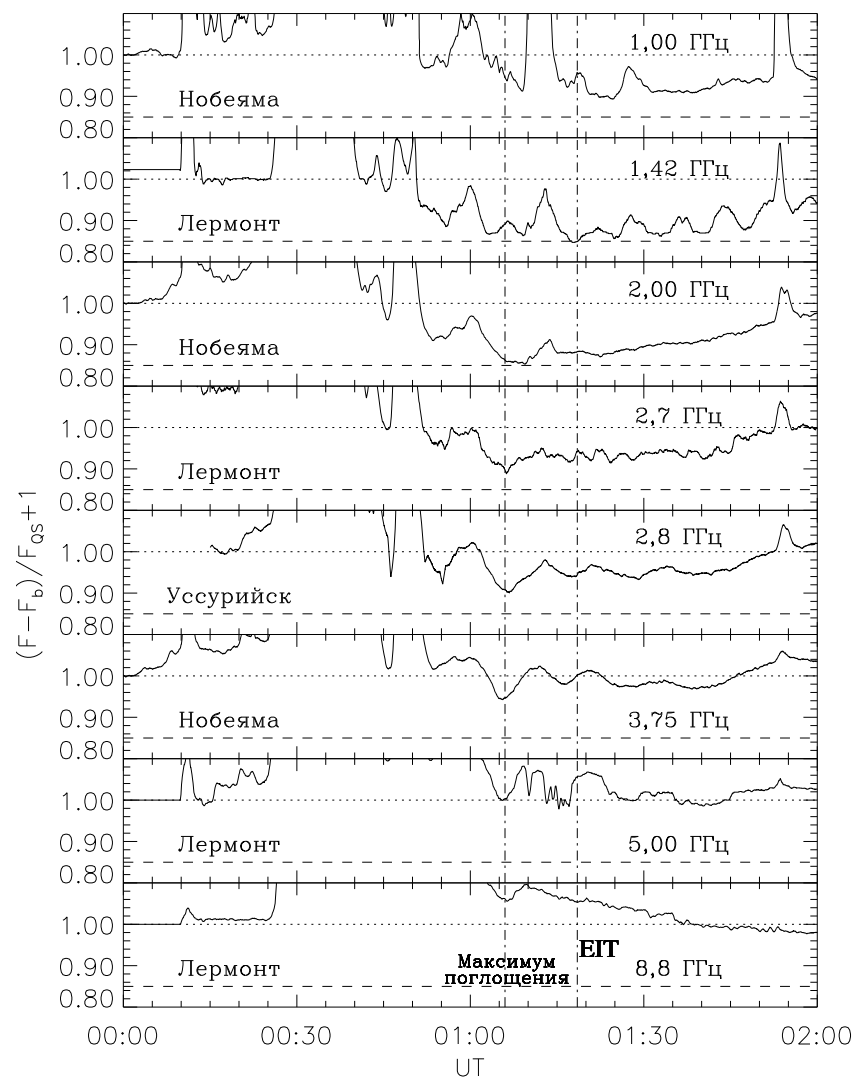


Рис. 2. Нормированные к уровню спокойного Солнца временные профили радиоизлучения на разных частотах. Штрихпунктирными линиями показаны моменты времени для максимального радиопоглощения и для наблюдавшегося в канале  $304 \text{ \AA}$  потемнения

мальна на 3,75 ГГц и увеличивалась в сторону низких частот. Максимальная величина поглощения наблюдалась в 01:06 на частоте 2,0 ГГц и составила 13%.

Итак, исследуемое событие было связано с КВМ, отрицательными всплесками в микроволновом диапазоне, радиовсплесками II, III и IV типов; анализ наблюдений в крайнем ультрафиолете выявил возникновение диммингов и корональной волны. Все эти данные указывают на то, что событие 01.01.2005 г. имело эруптивный характер.

### ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И МАССЫ ВЫБРОСА

Причиной отрицательного всплеска может быть поглощение выброшенным веществом радиоизлучения от областей спокойного Солнца и от источника над активной областью. По спектру радиопоглощения на основе разработанной ранее модели [1, 4] мы выполнили оценки характеристик выброшенного вещества в данном событии.

Измеренные по рис. 2, относительные величины поглощения в момент максимальной депрессии на разных частотах были пересчитаны с учетом поглощения потока от затеняемого компактного радиоисточника. Оценка потока от радиоисточника во время события по изображениям Солнца на 17 ГГц, полученных на радиогелиографе Нобейма (<http://solar.nro.nao.ac.jp/norh/images/10min/>), оказалась невозможной из-за насыщения детектора (слишком большая яркость источника), а после события в 02:00 UT значение потока было порядка 11 с.е.п. Однако при расчетах с использованием модели мы получили, что затеняемый источник имел поток около 8 с.е.п., поэтому реально могло происходить затенение части радиоисточника.

На рис. 3 величины максимального радиопоглощения показаны звездочками, а результаты применения модели – сплошной линией. Наилучшее согласие расчетных кривых с наблюдаемыми данными получено при следующих параметрах поглощающего облака: оптическая глубина на 17 ГГц – 0,07, кинетическая температура – 14000 К, высота поглощающего облака над хромосферой – 50 Мм,

его площадь – 0,047 от площади солнечного диска. Происходило поглощение излучения радиоисточника с потоком 8 с.е.п., часть которого с потоком 5 с.е.п. была оптически тонкой на частотах < 2 ГГц.

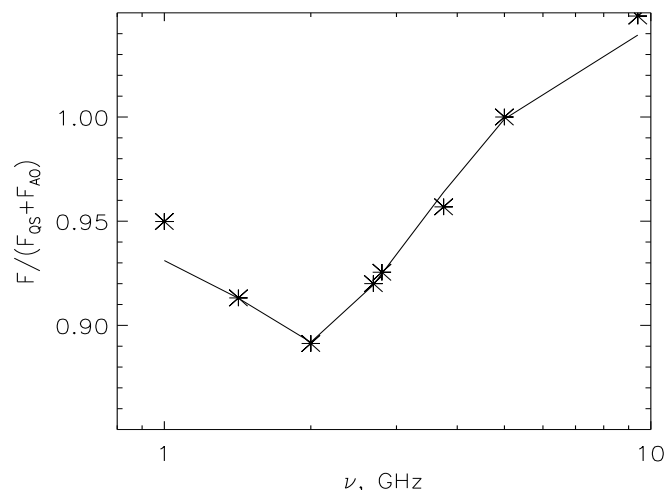


Рис. 3. Значения радиопоглощения, нормированные к сумме радиопотоков от спокойного Солнца и радиоисточника (звездочки), и вычисленные с помощью модели (сплошная линия)

Среднюю концентрацию электронов  $n_e$  и массу поглощающего вещества  $m$  можно найти из формул  $\tau = \frac{0,2n_e^2}{\nu^2 T^{3/2}} L$  и  $m = m_p n_e S L$ , где  $\nu$  – радиочастота,  $T$ ,  $S$  и  $L$  – кинетическая температура, площадь и геометрическая глубина поглощающего облака,  $m_p$  – масса протона. Степень ионизации предполагается близкой к 100%. Данные наблюдений не позволяют определить форму поглощающего облака, поэтому в первом приближении можно принять, что его геометрическая глубина  $L = \sqrt{S}$ . В данном событии  $L \sim 260$  Мм, тогда концентрация частиц в облаке  $n_e = 0,7 \times 10^8 \text{ см}^{-3}$  и масса выброса  $m = 2,2 \times 10^{15}$  г. Полученная величина массы является максимальной оценкой, поскольку значение геометрической глубины

может быть значительно меньшим, если облако представляет собой тонкий слой.

## ВЫВОДЫ

Из анализа наблюдений события 01.01.2005 г. сделан вывод, что оно имеет эруптивный характер и может относиться к малоизученному типу аномальных эрупций, в которых происходит разрушение магнитной структуры эруптивного волокна, и рассеивание 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 сделаны оценки таких параметров поглощающей плазмы, как кинетическая температура, оптическая глубина, площадь затеняющего облака и его высота над хромосферой. Полученная оценка температуры (14000 К) показывает, что поглотителем могло являться вещество эруптивировавшего волокна. Площадь поглощающего облака (~ 5% от площади солнечного диска) достаточна для затенения как яркого локального радиоисточника, так и областей спокойного Солнца. Оценки параметров поглощающего вещества позволили определить массу выброса – порядка  $10^{15}$  г, что сравнимо с массами типичных волокон и КВМ.

## 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. Кузьменко И.В., Гречнев В.В., Уралов А.М. Исследования солнечных эруптивных событий // Астрон.журн., 2009, Т. 86, № 11, с.1114–1124.
3. 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.
4. 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.
5. 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.