

*И.В. Кузьменко*

## **ЭРУПЦИЯ СПОКОЙНОГО ВОЛОКНА 17 АВГУСТА 2013 г.**

Проведено исследование солнечного события 17.08.2013 г., связанного с эрупцией спокойного волокна. На ряде частот микроволнового диапазона был зарегистрирован изолированный отрицательный всплеск. Как показал анализ наблюдений в различных спектральных диапазонах, вблизи расширяющегося волокна отсутствовали активные области, то есть причиной отрицательного всплеска являлось поглощение радиоизлучения областей только спокойного Солнца. Этот случай является наиболее простым в разработанной ранее модели оценки параметров поглощающего вещества по наблюдаемым величинам поглощения на разных частотах. Найдено, что площадь поглощающего вещества составила  $\approx 12\%$  от площади солнечного диска (что вдвое больше по сравнению с другими событиями, в которых происходило затенение радиоисточника), его высота над хромосферой – 120 Мм, масса оценена в  $3 \cdot 10^{15}$  г (что сравнимо с массой крупного волокна).

При исследовании кинематики эруптивного волокна выявлено, что оно постепенно ускорялось от 9 до 82,5 км/с в течение десятков минут, максимум ускорения составил 28 м/с<sup>2</sup>. Ударная волна при эрупции волокна не возникла, что также подтверждено анализом наблюдений.

### *ВВЕДЕНИЕ*

При эрупции волокон, наблюдаемых на солнечном диске, могут происходить отрицательные всплески в микроволновом диапазоне [1, 3, 6, 9]. Большинство из них относятся к типу «послевсплесковое уменьшение», то есть временное понижение уровня излучения ниже предвсплескового уровня происходит после импульсного всплеска. «Изолированные» отрицательные всплески наблюдаются очень редко, одно из таких событий исследовано нами в [2]. Как было выявлено ранее [1, 3], причиной отрицательных всплесков является поглощение

веществом эруптивного волокна излучения как обширных областей спокойного Солнца, так и излучения от радиоисточников. Следует отметить, что во всех исследованных ранее событиях [1–3] непременно происходило затенение источника, величина потока от которого оценивалась по изображениям Солнца на частоте 17 ГГц, полученным на радиогелиографе Нобеяма.

В данной работе мы исследовали солнечное событие 17.08.2013 г., связанное с эрупцией спокойного волокна, которое, расширяясь при своем движении, поглощало излучение областей только спокойного Солнца. При этом наблюдался изолированный отрицательный всплеск на ряде частот микроволнового диапазона. Такой случай является предельным и наиболее простым в разработанной ранее модели оценки параметров поглощающего вещества по наблюдаемым величинам поглощения на разных частотах, однако до сих пор у нас не было возможности проверить его на реально наблюдаемом событии. Для наблюдения такого случая необходимы следующие условия: отсутствие вблизи эруптивного волокна активных областей и отсутствие вспышек, а также наличие качественных записей радиоизлучения на разных частотах. Уникальность события 17.08.2013 г. состояла в том, что в нем выполнялись все эти условия. Целью работы являлась оценка параметров поглощающего вещества эруптивного волокна, исследование его кинематики и сравнение полученных параметров с этими же величинами в других событиях.

### *АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСА*

В ходе события 16/17.08.2013 г. в интервале 22:50:00–02:00:00 всемирного времени (UT) произошла эрупция спокойного волокна в северо-восточном квадранте солнечного диска вне комплексов активности. Она наблюдалась на изображениях в крайнем ультрафиолетовом диапазоне (в каналах 304, 193 Å и др.), полученных на телескопе AIA космической обсерватории SDO и на изображениях радиогелиографа Нобеяма на частоте 17 ГГц (рис. 1). В канале 193 Å «волна EIT» не наблюдалась, также не было обнаружено и радиовсплеска II типа на метровых длинах волн, что позволило заключить, что ударная вол-

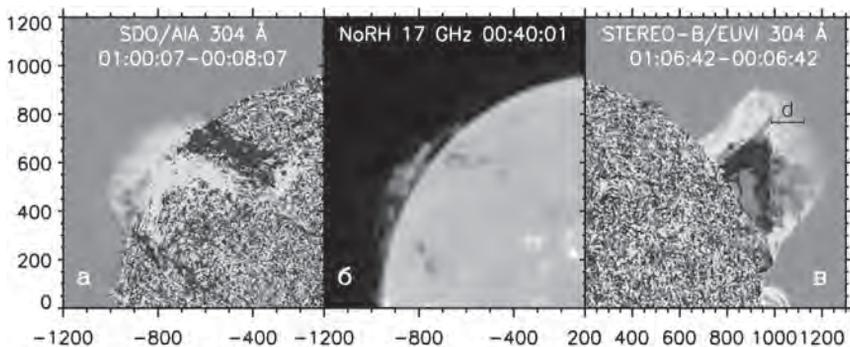


Рис. 1. Эрупция спокойного волокна на разностных изображениях SDO/AIA (а) и STEREO-B/EUVI (в) в канале 304 Å, а также на изображении радиогелиографа Нобеля на частоте 17 ГГц (б). По осям – угловые секунды от центра солнечного диска

на при эрупции волокна не возникала. По данным SOHO/LASCO наблюдался корональный выброс, имеющий обычную трехкомпонентную структуру, когда эруптивное волокно является его ядром.

Во время события в микроволновом диапазоне зарегистрирован изолированный отрицательный всплеск с максимальной глубиной поглощения 6,5% от уровня радиоизлучения спокойного Солнца в 01:00 UT на частотах 1–3,75 ГГц. Поглощение наблюдалось и на частотах 5 и 9,4 ГГц, но в более раннее время. На рис. 2 приведены временные профили интегральных потоков радиоизлучения на ряде частот. Уровни радиопотоков до всплеска ( $F_b$ ) вычтены, записи сглажены за 30 с и нормированы к уровню спокойного Солнца ( $F_{QS}$ ) на каждой частоте.

Анализ наблюдений показал, что активных областей (а следовательно, и возможных затеняемых радиоисточников) вблизи волокна не было, поэтому причиной отрицательного всплеска в этом событии являлось поглощение излучения только областей спокойного Солнца. В [1, 3] нами разработана модель для оценки параметров поглощающего облака. Задавая и варьируя четыре параметра поглотителя, можно подогнать рассчитываемый спектр интегрального потока радиоизлучения как можно ближе к наблюдаемым значениям радиопоглощения.

Используя эту модель, мы оценили параметры поглощающего вещества. На рис. 3 приведены измеренные величины поглощения. Наилучшее согласие расчетной кривой с наблюдениями получено

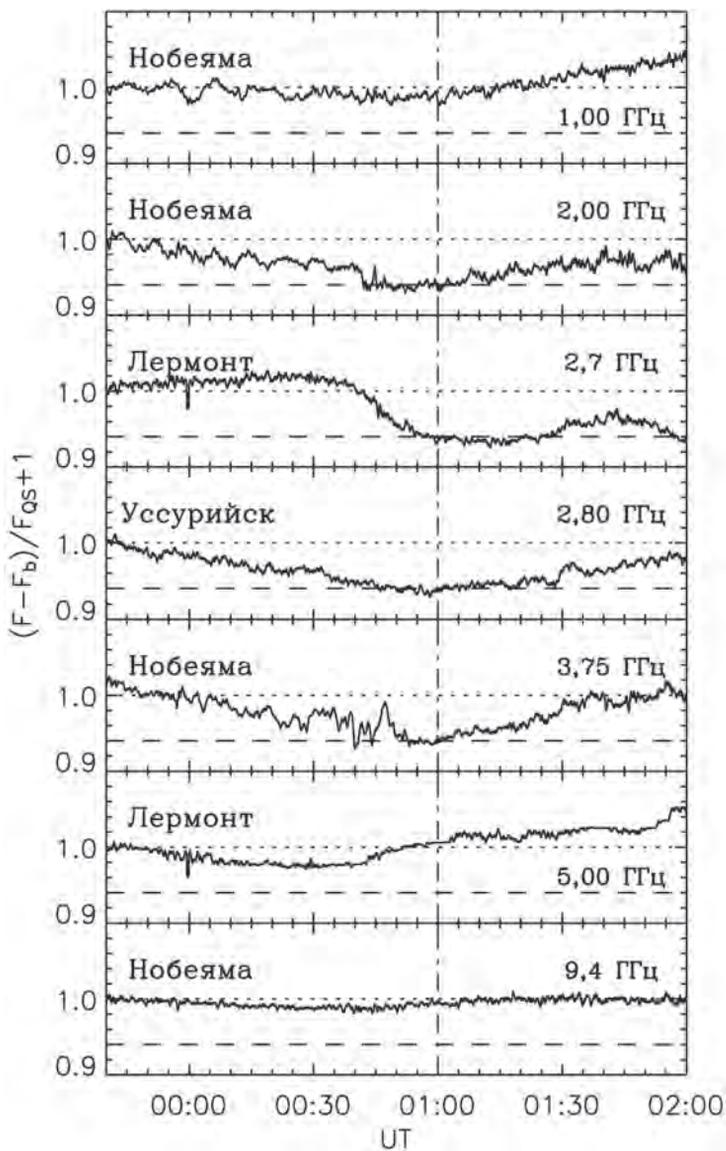


Рис. 2. Профили радиоизлучения, нормированные к уровню спокойного Солнца. Штрихпунктирной линией отмечен момент максимального радиопоглощения, для которого выполнены измерения

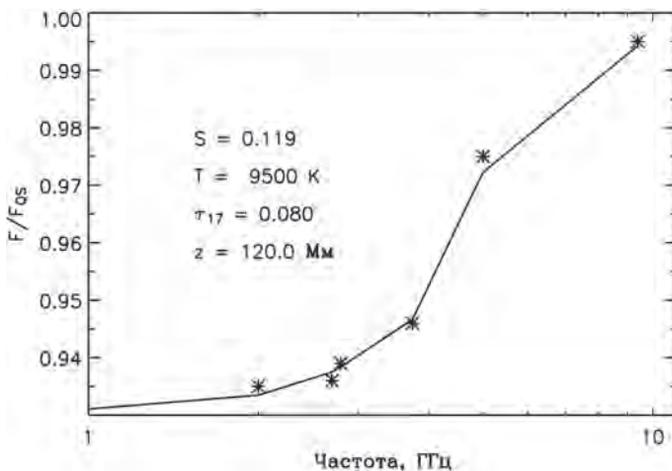


Рис. 3. Измеренные в 01:00 значения радиопоглощения (звездочки) и их модельная аппроксимация (сплошная линия)

при следующих параметрах поглотителя: кинетическая температура  $T = 9500 \pm 500 \text{ K}$ , оптическая толщина на 17 ГГц  $\tau_{17} = 0,08 \pm 0,01$ , площадь затеняющего облака по отношению к площади солнечного диска ( $11,8 \pm 0,1\%$ ), его высота над хромосферой  $z = 120 \pm 10 \text{ Mm}$ .

В исследованных ранее событиях с отрицательными всплесками [3, 7] площадь поглощающего облака составляла 2–6% от площади солнечного диска. Однако в тех событиях происходило затенение компактного радиоисточника, здесь же площадь поглотителя оказалась  $\approx 12\%$  при условии затенения только областей спокойного Солнца. Высота поглощающего вещества над хромосферой также получилась больше (в [3] оценки составляли от 20 до 80 Мм, но то были эрупции волокон в активных областях). Оценка высоты в 120 Мм для исследуемого события кажется вполне реальной, поскольку средняя высота спокойных протуберанцев составляет 100 Мм [5].

Для оценки массы поглощающего облака желательно иметь оценку его геометрической толщины  $L$ . Как видно из рис. 1, подъем волокна происходил примерно в картинной плоскости, и оценить  $L$  из наблюдений с Земли невозможно. Но эрупция волокна в канале  $304 \text{ \AA}$

также наблюдалась телескопом STEREO-B/EUVI, гелиоцентрический угол между Землей и космическим аппаратом составлял  $\approx 138^\circ$ . По изображению STEREO-B/EUVI в 01:06:42 (рис. 1в) оценена ширина эруптивного волокна  $d \approx 100$  Мм. Реальную геометрическую толщину поглощающего облака можно оценить как  $L = d/\cos(138^\circ - 90^\circ) \approx 150$  Мм. Если принять  $L \sim 100\text{--}200$  Мм, то масса поглотителя будет  $(2,7\text{--}3,8) \cdot 10^{15}$  г, что по порядку величины сравнимо с массой крупного волокна и согласуется с оценками массы выбросов, полученными в других событиях [1, 3, 7].

### *КИНЕМАТИКА ЭРУПТИВНОГО ВОЛОКНА*

Мы исследовали кинематику эруптивного волокна, то есть измерили расстояния от его первоначального положения до внешнего края поднимающегося волокна, рассчитали значения начальной и конечной скорости и определили профиль ускорения согласно методике, описанной в [4, 8]. Для измерения положения волокна использовались изображения SDO/AIA в канале  $304 \text{ \AA}$  с интервалом в 2–4 мин. Результаты измерений показаны квадратами на рис. 4а, серым цветом отмечены ошибки измерений, которые не превышают 8 Мм. Волокно постепенно ускорялось от 9 до 82,5 км/с в течение десятков минут, максимум ускорения составил  $\approx 28 \text{ м/с}^2$ .

В ранее исследованных событиях [4, 8] происходило импульсное ускорение эруптивного волокна, то есть длительность ускорения была небольшой (несколько минут), а его величина достигала несколько километров в секунду за секунду. При этом возникало МГД-возмущение, которое быстро превращалось в ударную волну. При ее распространении в различных диапазонах спектра наблюдались такие явления, как «EIT-волна», радиовсплеск II типа, отклонения корональных лучей. Анализ наблюдений события 17.08.2013 г. показал, что в данном случае подобные явления отсутствовали.

Постепенное ускорение волокна и наблюдательные факты позволяют сделать вывод, что возмущение, возникшее при эрупции волокна, вероятно, было слабым и ударная волна в этом событии не возникла.

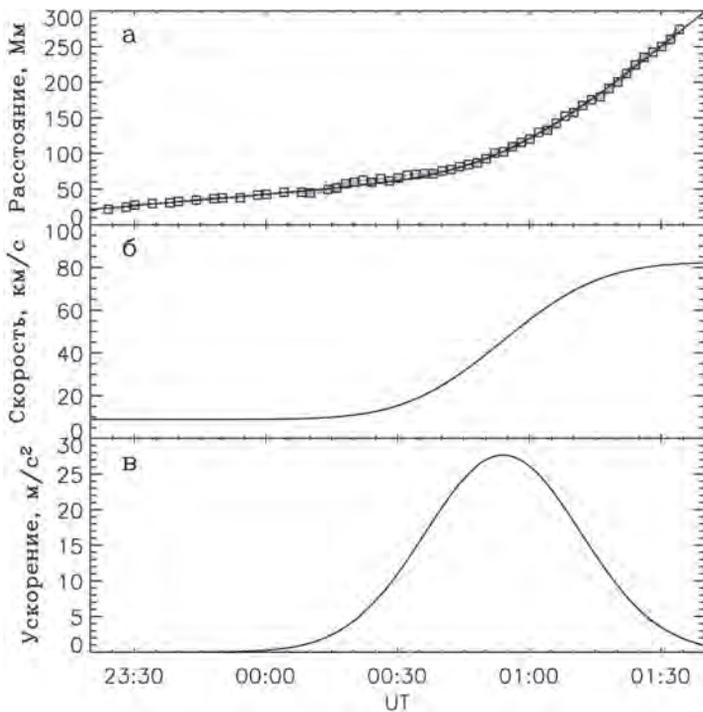


Рис. 4. Кинематика эруптивного волокна. Квадраты – измеренные расстояния от его начального положения по данным SDO/AIA в канале 304 Å, линия – их аппроксимация

## ВЫВОДЫ

Проведено исследование эруптивного события 17.08.2013 г., в ходе которого наблюдался изолированный отрицательный радиовсплеск. Анализ наблюдений в различных спектральных диапазонах показал, что активные области вблизи эруптивного волокна отсутствовали. При своем движении вещество волокна поглощало излучение областей спокойного Солнца, что явилось причиной изолированного отрицательного всплеска. Этот случай является предельным и наиболее простым в разработанной ранее модели оценки параметров поглощающего вещества по наблюдаемым величинам поглощения на разных частотах. Найдено, что температура поглощающего вещества

волокна была  $\sim 10^4$  К, площадь составила  $\approx 12\%$  от площади солнечного диска, масса оценена в  $3 \cdot 10^{15}$  г.

Исследование кинематики эруптивного волокна показало, что его ускорение было постепенным в течение десятков минут и достигло величины  $28 \text{ м/с}^2$ . Возникшее при эрупции возмущение было слабым и не превратилось в ударную волну. Ее отсутствие в этом событии также подтверждено анализом наблюдений в различных спектральных диапазонах.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 13 «Магнитная активность Солнца и эруптивные процессы в его атмосфере» (12-П-СО-02-07).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречнев В.В., Кузьменко И.В., Черток И.М., Уралов А.М. Солнечные вспышечные эрупции с длительной экранировкой излучения в линии He II 304 Å и в микроволновом диапазоне // Астрон. журн. 2011. Т. 88, № 7. С. 692–703.
2. Кузьменко И.В., Гречнев В.В. Исследование двух эруптивных событий с разными сценариями развития // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 53–64 (Ежегодник Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН, вып. 15).
3. Кузьменко И.В., Гречнев В.В., Уралов А.М. Исследования солнечных эруптивных событий с отрицательными радиовсплесками // Астрон. журн. 2009. Т. 86, № 11. С. 1114–1124.
4. Кузьменко И.В., Гречнев В.В., Уралов А.М. О характере возбуждения ударной волны в эруптивном событии 13 июля 2004 г. // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 87–92. (Ежегодник Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН, вып. 14).
5. Филиппов Б.П. Эруптивные процессы на Солнце. М.: Физматлит, 2007. 213 с.
6. Covington A.E. Decrease of 2800 MHz solar radio emission associated with a moving dark filament before the flare of May 19, 1969 // Solar Phys. 1973. Vol. 33. P. 439–444.
7. Grechnev V., Kuzmenko I., Uralov A., Chertok I., Kochanov A. Microwave negative bursts as indications of reconnection between eruptive filaments and large-scale coronal magnetic environment // Publ. Astron. Soc. Japan. 2013. Vol. 65. SP10.
8. Grechnev V.V., Uralov A.M., Chertok I.M., Kuzmenko I.V., Afanasyev An.N., Meshalkina N.S., Kalashnikov S.S., Kubo Y. Coronal shock waves, EUV waves, and their relation to CMEs. I. Reconciliation of «EIT waves», Type II radio bursts, and leading edges of CMEs // Solar Phys. 2011. Vol. 237. P. 443–460.
9. Sawyer C. Are «negative burst» due to absorption? // Solar Phys. 1977. Vol. 51. P. 203–215.