

# Природа квазипериодических колебаний с очень короткими периодами (1.5 – 8 сек) в круговой ленточной вспышке 6 августа 2002 г.

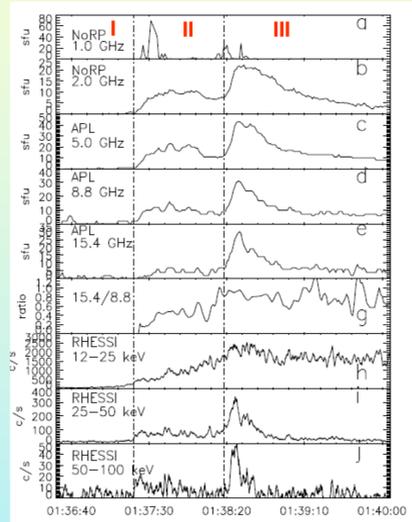
Н.С. Мешалкина<sup>1</sup>, А.Т. Алтынцев<sup>1</sup>, Р.А. Сыч<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия  
nata@iszf.irk.ru

**Аннотация.** Представлены результаты многоволновой визуализации и спектроскопических наблюдений множественных импульсов ускорения электронов во время круговой ленточной вспышки класса GOES C8.3 SOL2002-08-06T01:43. Одновременные наблюдения проводились Сибирским солнечным радиотелескопом на частоте 5.7 ГГц, радиогелиографом Nobeyama на 17 и 34 ГГц, телескопами RHESSI в жестком рентгеновском излучении и TRACE в крайнем ультрафиолете.

Во время предвспышечной стадии и во время вспышки, наблюдалось около двух десятков всплесков с периодичностью 1.5 - 8 сек в жестком рентгеновском и микроволновом диапазонах.

Задачей исследования являлись количественные оценки физических параметров источников квазипериодических колебаний (КПК) и исследование механизмов КПК с такими короткими периодами.



1. Вспышка C8.3 произошла в АО 10051 в западной части солнечного диска (S67W55). Вертикальные линии на рис.1 ограничивают стадии вспышки: предимпульсная (I), импульсная (II) и основная (III). На световых кривых различных частот (энергий) микроволнового и рентгеновского излучения наблюдаются в I и II стадиях субпика. Прослеживается высокая степень согласия между субпиками в радио и рентгене.

Рис.1. Вспышечные световые кривые. Микроволновые данные NoRP, RSTN (a-e); g) отношение потоков на 15.4 и 8.8 ГГц, жесткое рентгеновское излучение, RHESSI в трех каналах (h, i, j). Вертикальные линии отмечают стадии вспышки.

## Структура вспышечной области

3. Микроволновое излучение на 5.7 ГГц генерировалось в протяженных петлях, охватывающих основной и удаленный источник к востоку, а высокочастотное (17 и 34 ГГц), как и жесткое рентгеновское излучение, генерировалось в коротких петлях в основном западном источнике (Рис.2, 3).

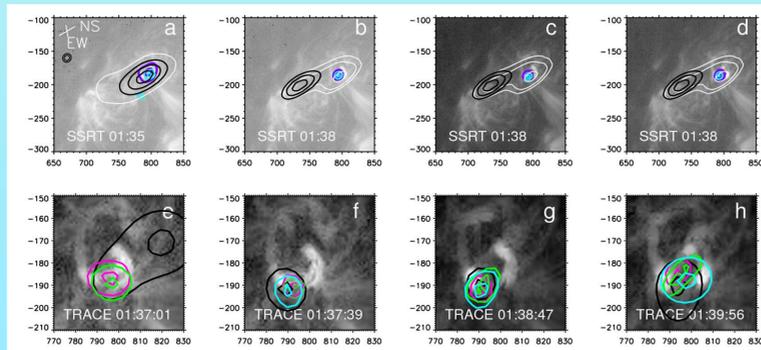


Рис.2. Эволюция конфигурации в различных стадиях вспышки. Фон - это изображения TRACE в 171 Å.

**Верхний ряд:** белые/черные контуры показывают яркость 5.7 ГГц температуры по интенсивности/правая поляризация. Пурпурные/голубые контуры представляют 17/34 ГГц источники по интенсивности. Крест в левом верхнем углу показывает диаграмму направленности ССРТ, круги представляют диаграмму Нобейама.

**Нижний ряд:** цветные контуры показывают изолинии жесткого рентгеновского излучения: 3-6 кэВ (черный), 6-12 кэВ (розовый), 12-25 кэВ (зеленый) и 25-50 кэВ (синий).

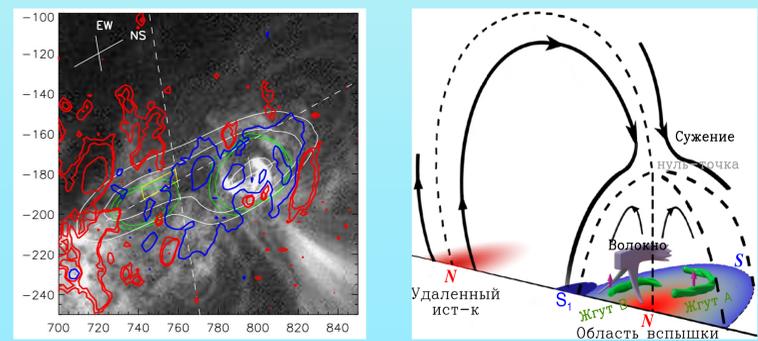


Рис.3. а) фон - TRACE, 171 Å. Синие/Красные контуры - показывают южную/северную компоненту магнитного поля по лучу зрения. Зелёные контура - вариационная карта в поляризации 17 ГГц (NORH) в период 01:34-01:50.

Сплошные белые контура показывают интенсивность, ССРТ 5.7 ГГц. Желтый фрейм ограничивает местоположение отдельных субсекундных импульсов в серии.

Кресты в левом верхнем углу показывают направления сканирования ССРТ. Вертикальные белые пунктирные линии показывают направление сканирования ССРТ.

4. Для определения агента, синхронизирующего импульсы в ядре (основном источнике) и удаленном источнике был выполнен кросс-корреляционный анализ данных ССРТ, NORP. В интервале перед разрывом EW в данных (Рис.4), коэф. корреляция = 0.75, а субпика в удаленном источнике задержаны на 0.2 с. В интервале после разрыва в данных коэф. корреляции = 0.6 и задержка возросла до 0.3 с.

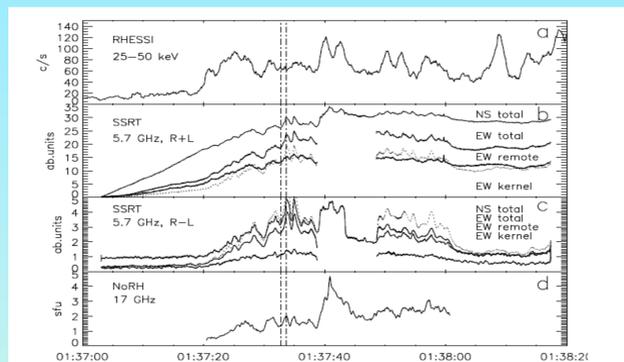


Рис. 4. Временные профили с подпиками. а) Канал RHESSI 25-50 кэВ (0.1 сек); б) ССРТ профили вычисленные из 1 D сканов (0.014 сек) в интенсивности для общего источника с использованием массивов EW и NS отдельно, из ядра (сплошная) и удаленной (пунктирная) части скана EW. в) то же, что и а), но в круговой поляризации; д) NoRH профиль на 17 ГГц, рассчитанный по изображениям через 0,1 с. Вертикальные линии показывают моменты до и в максимуме одного из субпиков.

## Вейвлет-анализ

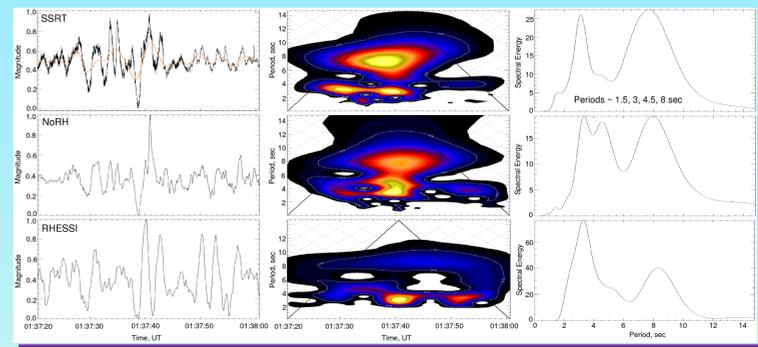


Рис. 5. Результаты вейвлет-анализа излучения на 5.7 ГГц (ССРТ/NS), 17 ГГц (NoRH) и 25-50 кэВ (RHESSI) в течение I и II стадии вспышки. Слева: нормализованные временные профили. Средняя колонка: спектры вейвлет-мощности. Справа: глобальные вейвлет-спектры.

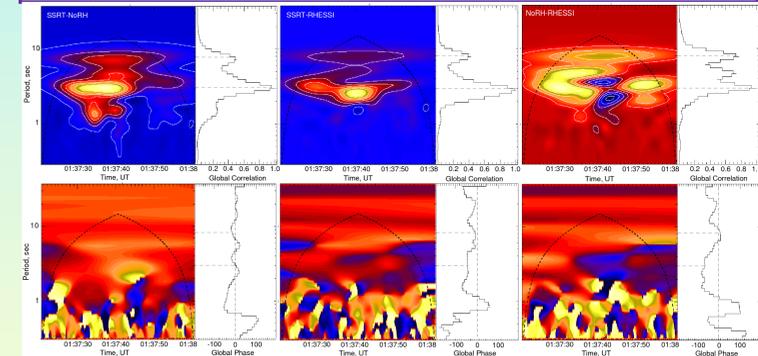


Рис. 6. Вейвлет кросс-корреляция и фазовые соотношения.

## 6. Предварительные результаты:

Самый короткий период из всех возможных режимов имеет сосисочная мода, представляющая собой последовательность расширения при сокращении поперечного сечения петли, сопровождаемые изменением плотности плазмы и магнитного поля. Магнитные изменения модулируют пробочное отношение в основаниях петель и, следовательно, скорость распространения нетепловых электронов. Как следствие, вариации наблюдаются в жестком рентгеновском и гирсинхротонном микроволновом излучении. Периоды режимов сосисочной моды продольных волновых чисел  $n_L$  определяются длиной  $L$  колеблющейся петли,  $P_{\text{sous}} \approx 2L / n_L V_{\text{ph}}$ , где  $V_{\text{ph}}$  - фазовая скорость. Для  $n_L = 1$  и  $V_{\text{Ao}} > V_{\text{Ае}}$  получаем оценку  $P_{\text{sous}}$  для глобального режима, который согласуется с наблюдаемым периодом 3 с.

5. В течении I и II фазы вспышки наблюдаются пульсации с разными периодами, основные - 3 и 8 сек (Рис.5, 6). Ядро вспышки представляет собой сложный комплекс ярких петель, видимых в УФ, расположенных внутри отрицательного домена магнитного поля электронов, его окружают компактные пятна положительной полярности.

В удаленном источнике наблюдаются пульсации с периодом 3 сек. на частоте 5.7 ГГц. Кросс-корреляционный анализ показал их задержку относительно пульсаций в жестком рентгене 0.2 - 0.3 сек. Колебания с периодом 8 с вызваны модуляцией жесткости нетепловых электронов в ядре вспышки. Можно предполагать, что колебания с 3 с периодом вызваны модуляцией процесса высывания нетепловых электронов из вспышечной петли, вызванной МГД колебаниями.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, РФФИ (грант № 21-52-10012), РФФ (грант № 21-12-00195).

Ссылки: Altynsev et al. ApJ, 883 (38), 13, 2019  
Masson et al. ApJ, 700(1), 559, 2009  
Sun et al. ApJ, 778(139), 17, 2013