

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ МИКРОВОЛНОВЫМ И МЕТРОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
ВСПЛЕСКА НА ФАЗЕ СПАДА КРУГОВОЙ ВСПЫШКИ 22 МАЯ 2021 г.
ПО ДАННЫМ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА
И ИРКУТСКОГО РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙНИЯ**

И.Д. Мотык, А.Г. Сетов, Ю.Н. Шамсутдинова, Д.А. Жданов, Л.К. Кашапова

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
ilymotyk@gmail.com

**STUDYING RELATIONSHIP BETWEEN MICROWAVE AND METER EMISSIONS
OF THE BURST AT THE DECAY PHASE OF THE CIRCULAR RIBBON FLARE ON MAY 22, 2021,
ACCORDING TO DATA FROM THE SIBERIAN RADIOHELIOGRAPH
AND IRKUTSK INCOHERENT SCATTER RADAR**

I.D. Motyk, A.G. Setov, Yu.N. Shamsutdinova, D.A. Zhdanov, L.K. Kashapova

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
ilymotyk@gmail.com

Аннотация. В данной работе был проведен поиск источника микроволнового всплеска, обнаруженного с помощью Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) на частоте 161 МГц во время фазы спада круговой вспышки. Для определения пространственного положения источника мы использовали данные Сибирского радиогелиографа на частоте 5.6 ГГц. Анализ изображений в микроволновом диапазоне показал, что источники, связанные со вспышкой и всплеском, находятся в одной области, однако не являются пространственно-связанными.

Ключевые слова: солнечные вспышки, всплески в метровом диапазоне, Сибирский радиогелиограф.

Abstract. In this study, we searched for a microwave burst source detected by the Irkutsk Incoherent Scatter Radar at 161 MHz during the decay phase of a circular ribbon flare. We used 5.6 GHz data from the Siberian Radioheliograph to locate the source. Microwave image analysis showed that sources of the circular ribbon flare and burst were located in the same region but were not spatially related.

Keywords: solar flares, meter radio bursts, Siberian Radioheliograph.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время увеличился интерес к неклассическим круговым вспышкам из-за их необычной структуры [Kashapova et al., 2020; Ning et al., 2022]. Во время классической вспышки наблюдаются две вспыхивающие ленты, регистрируемые в белом свете, На и ультрафиолете. Эти ленты находятся в областях с противоположными магнитными полярностями и соединяются вспыхивающими аркадами. В случае круговой вспышки ленты имеют форму окружности или полуокружности, а магнитная структура имеет куполообразную форму, переходящую в магнитную трубку, которая или соединена с удаленным источником, или имеет условно открытую магнитную конфигурацию. Часто такие вспышки связаны с джетами, что может приводить к возникновению интересных явлений в метровом и дециметров диапазонах.

Во время круговой вспышки класса C6.0 по GOES классификации 22 мая 2021 г. ИРНР зарегистрировал мощный всплеск на частоте 161 МГц во время фазы спада вспышки. В данном исследовании мы попытаемся ответить на вопрос, связаны ли всплеск, обнаруженный на ИРНР, и круговая вспышка и если связаны, то каким образом.

ДАнные И МЕТОды

Для анализа временных профилей события были использованы ИРНР наблюдения Солнца на частоте 161 МГц [Сетов и др., 2020], наблюдения в метровом диапазоне спектрографа e-Callisto [Benz et al., 2005] на частотах 160–164 МГц и корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа (СРГ) [Лесоч-

вой и др., 2017] на частоте 5.6 ГГц. На рис. 1 показаны временные профили, полученные на различных инструментах. По данным ИРНР в 06:16:49 UT был зарегистрирован всплеск на частоте 161 МГц. Наблюдения спектрографа e-Callisto в этом спектральном диапазоне подтверждают солнечное происхождение зарегистрированного явления. Корреляционная кривая СРГ на частоте 5.6 ГГц показала наличие отклика в микроволновом диапазоне на фоне фазы спада круговой вспышки.

По корреляционной кривой СРГ был выбран промежуток времени 06:16:43–06:16:53 UT для локализации всплеска и построены изображения на частоте 5.6 ГГц. Были построены также изображения до начала

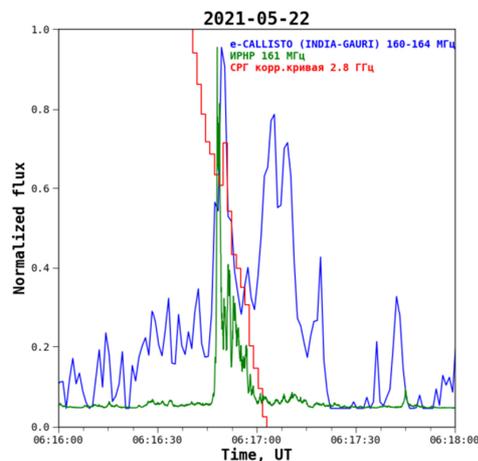


Рис. 1. Временные профили микроволнового и метрового излучения по наблюдениям ИРНР, СРГ и спектрографа сети e-Callisto

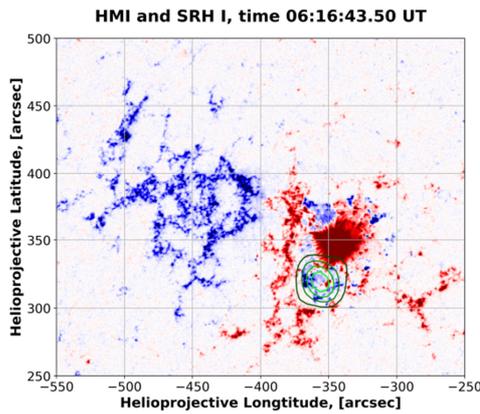


Рис. 2. Положение радиосточника на частоте 5.6 ГГц относительно магнитограммы активной области HMI/SDO. Контурами показаны величина потока 40, 60, 80, 100 % от максимальной интенсивности источника. Цветами обозначены положительная (красный) и отрицательная (синий) полярности магнитного поля

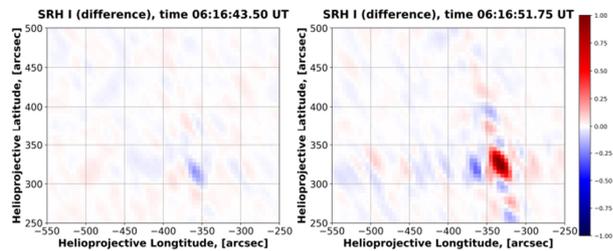


Рис. 3. Изменение яркости в относительных нормированных единицах по сравнению с предыдущим изображением. Синий цвет — уменьшение яркости, красный — увеличение

вспышки и в момент ее максимума для контроля ориентации диска Солнца. На рис. 2. для проверки правильности местоположения круговой вспышки радиоизображения сравнивались с изображениями в ультрафиолете 304 Å, AIA/SDO [Lemen et al., 2012] и магнитограммой HMI/SDO [Scherrer et al., 2012]. Затем, чтобы обнаружить изменения яркости во время всплеска, использовались разностные изображения для ближайших моментов времени. На рис. 3 показано изменение яркости по сравнению с предыдущим изображением за среднее время ~1.375 с. Видно, что яркость источника, связанного с круговой вспышкой, падает (левая панель), в то же время появляется новый источник, по времени связанный со всплеском на ИРНР (справа).

Отметим, что вблизи этого источника находится протуберанец. По изображениям AIA 304 Å после всплеска в этой области виден джет, представляющий выброс плазмы из полутени пятна. Петельная структура, видимая на изображениях в УФ, указывает на ориентацию магнитной трубки, связывающей куполообразную магнитную конфигурацию с удаленным источником в направлении, противоположном источнику всплеска в метровом диапазоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ изображений СРГ на частоте 5.6 ГГц показал, что всплеск, зарегистрированный ИРНР на частоте 161 МГц, и круговая вспышка произошли в одной области, но не являются пространственно-связанными событиями. Однако процессы, произошедшие во время круговой вспышки, могли послужить триггером исследуемого события, как это было показано в [Ning et al., 2022]. Для дальнейших исследований необходимо восстановление 3D-топологии магнитного поля и совместный анализ изображений в микроволновом и в ультрафиолетовом диапазонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Кочанов А.А. и др. Сибирский радиогелиограф: первые результаты. *Солнечно-земная физика*. 2017. Т. 3, № 1. С. 3–16.
- Сетов А.Г., Кушнарв Д.С., Васильев Р.В., Медведев А.В. Длительные наблюдения солнечного потока в 2011–2019 гг. на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР). *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 33–39.
- Benz A.O., Monstein C., Meyer H. Callisto: A new concept for solar radio spectrometers. *Solar Phys.* 2005. Vol. 226, no. 1. P. 143–151.
- Kashapova L.K., Kupriyanova E.G., Xu Z., et al. The origin of quasi-periodicities during circular ribbon flares. *Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 642. P. A195 (11).
- Ning Z., Wang Y., Hong Z., Li D. Detections of multi-periodic oscillations during a circular ribbon flare. *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 1. P. 2–26.
- Scherrer P.H., Schou J., Bush R.I., et al. The Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) investigation for the Solar Dynamics Observatory (SDO). *Solar Phys.* 2012. Vol. 275, no. 1-2. P. 207–227.
- Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J., et al. The Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on the Solar Dynamics Observatory (SDO). *Solar Phys.* 2012. Vol. 275, no. 1-2. P. 17–40.