

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Ф И З И К А К О С М О С А

Труды 50-й Международной
студенческой научной конференции
(Екатеринбург,
30 января — 3 февраля 2023 г.)

Екатеринбург
2023

УДК 52(063)
ББК22.3я43
Ф50

Печатается по решению
организационного
комитета конференции

Редколлегия:

Э. Д. Кузнецов (ответственный редактор), Д. З. Вибе (Институт астрономии РАН),
А. Б. Островский, С. В. Салий, А. М. Соболев (Уральский федеральный университет),
Б. М. Шустов (Институт астрономии РАН)

Ф50 **Физика** космоса : труды 50-й Международной студенческой научной кон-
ференции (Екатеринбург, 30 янв. — 3 февр. 2023 г.) / Министерство науки
и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный уни-
верситет. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. — 634 с. : ил. — ISBN
978-5-7996-3700-2. — Текст : электронный

ISBN 978-5-7996-3700-2

В сборнике представлены доклады и сообщения студенческой научной кон-
ференции, которая ежегодно проводится в Астрономической обсерватории
Уральского федерального университета. Цель конференции — обобщить дости-
жения в области астрономии и астрофизики и способствовать формированию
навыков и способностей молодых исследователей.

Сборник предназначен для профессиональных астрономов и физиков,
студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

УДК 52(063)
ББК22.3я43

ISBN 978-5-7996-3700-2

© Уральский федеральный
университет, 2023

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВСПЫШЕЧНОГО ИСТОЧНИКА
ДЛЯ СОБЫТИЯ SOL2022-02-03T04:21UT
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА**

С. А. Полухина¹, Л. К. Кашапова²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет,*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН*

В работе представлены результаты исследования солнечной вспышки, произошедшей 3 февраля 2022 г. в 04:21UT. Данное событие класса C1 по GOES и длительностью менее 100 с имело сложный временной профиль, состоящий из нескольких всплесков. Была проведена локализация источников всплесков, обнаруженных с помощью данных Сибирского радиогелиографа, на частоте 5.8 ГГц. Анализ разностей изображений Солнца, полученных до начала события и во время вспышки, показал, что все источники всплесков относились к одному событию и произошли в активной области NOAA 12936. Сделана оценка потока источников микроволнового излучения вспышки на частоте 5.8 ГГц, его значения не превышали 1 солнечную единицу потока (С. Е. П.).

**FLARE SOURCE LOCALIZATION OF SOL2022-02-03T4:21UT EVENT
USING MICROWAVE OBSERVATIONS BY SIBERIAN RADIOGELIOGRAPH**

S. A. Polukhina¹, L. K. Kashapova²

¹*Saint-Petersburg State University,* ²*ISTP SB RAS*

In the paper, we present the analysis results obtained for the solar flare occurred at 04:21UT on February 3, 2023. The C1 GOES class event with duration less 100 seconds had a complicated time profile consisting of several bursts. Location of burst sources, found in the microwave time profile of the flare, was obtained using data by the Siberian radiogeoliograph. Analysis of solar image differences obtained before the event and during the bursts showed that all sources were part of the same event and occurred in the active region NOAA 12936. Estimated flux of microwave emission sources at a frequency of 5.8 GHz was less than 1 sfu. Keywords: solar flares, flares, microwaves.

Введение

В солнечной атмосфере одни из самых мощных явлений — взрывные процессы, которые мы называем солнечными вспышками. Их излучение регистрируется в диапазоне электромагнитного спектра от рентгеновского до радиоволн [1]. Излучение солнечных вспышек принято разделять по природе механизма, его генерирующего — на тепловое и нетепловое. В процессе вспышки выделяется энергия, которая уходит на нагрев плазмы (тепловые электроны, генерирующие рентгеновское излучение низких энергий) и ускорение частиц (например, электроны, ускоренные до больших энергий, которые генерируют микроволновое и нетепловое рентгеновское излучение) [2]. Анализируя различные виды излучения можно понять, какие процессы происходили во время исследуемого события. Прямым индикатором процессов ускорения является рентгеновское излучение на энергиях выше 20 кэВ, но пороговая чувствительность современных приборов в этом спектральном диапазоне недостаточно высока для слабых вспышек. Магнитотормозной (гиротронный) механизм,

который является доминирующим механизмом излучения солнечных вспышек в микроволновом диапазоне, делает его более чувствительным к слабым потокам ускоренных электронов и полезным инструментом для исследования солнечных вспышек.

Солнечные вспышки классифицируются по значению максимального потока в полосе 1–8 Å космического аппарата GOES, используя для распознавания событий временной профиль излучения в этом диапазоне. Вспышки класса X (самые мощные) и M (считаются средними по мощности, их максимальный поток примерно в 10 раз меньше событий класса X) совсем несложно обнаружить на временном профиле. Слабые вспышки класса C и меньше в диапазоне 1–8 Å выявить очень сложно, особенно в период высокой солнечной активности. При этом микроволновое излучение более чувствительно к потокам ускоренных частиц, чем рентгеновское. Поэтому часть интересных событий, зафиксированных в микроволновом диапазоне, не попадают в каталог солнечных вспышек. Еще одним из недостатков использования временных профилей, полученных космическим аппаратом GOES для Солнца как звезды, является то, что произошедшие близко по времени события могут произойти в разнесенных на большие расстояния областях Солнца. Целью данной работы является анализ положения источников и мощности их потока на частоте 5.8 ГГц солнечной вспышки класса C1, произошедшей 3 февраля 2022 года около 04:21UT (SOL2022-02-03T04:21UT).

Данные и результаты обработки

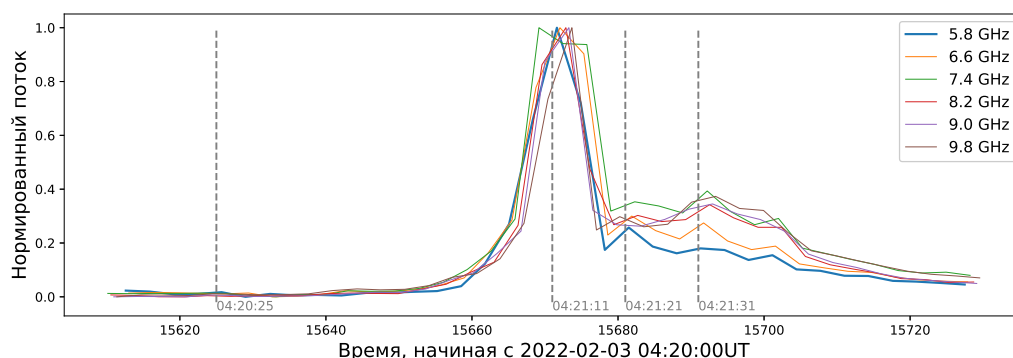


Рис. 1. Корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа, нормированные на максимум. Вертикальными линиями отмечены моменты, выбранные для построения изображений на частоте 5.8 ГГц

Исследование микроволнового излучения солнечной вспышки SOL2022-02-03T04:21UT было проведено по данным, полученным с помощью Сибирского радиогелиографа (СРГ) [3]. Мы использовали изображения на частоте 5.8 ГГц и корреляционные кривые этого инструмента [4]. Корреляционные кривые представляют собой сумму коэффициентов корреляции между парами антенн. Этот способ представления данных чувствителен к появлению слабых событий. Корреляционные кривые, нормированные на максимум, для нескольких частот представлены на рис. 1. Видно, что событие SOL2022-02-03T04:21UT длительностью менее 100 секунд и состоит из нескольких импульсов: максимум **первого** всплеска в 04:21:11UT, максимум **второго** всплеска в 04:21:21UT, максимум **третьего** всплеска в 04:21:31UT.

Для каждого всплеска построена разность изображений, полученных на момент времени минус фон. В качестве фона взято изображение, когда согласно корреляционным кривым отсутствовала всплещечная активность, то есть на момент 04:20:25UT (рис. 2). По таким

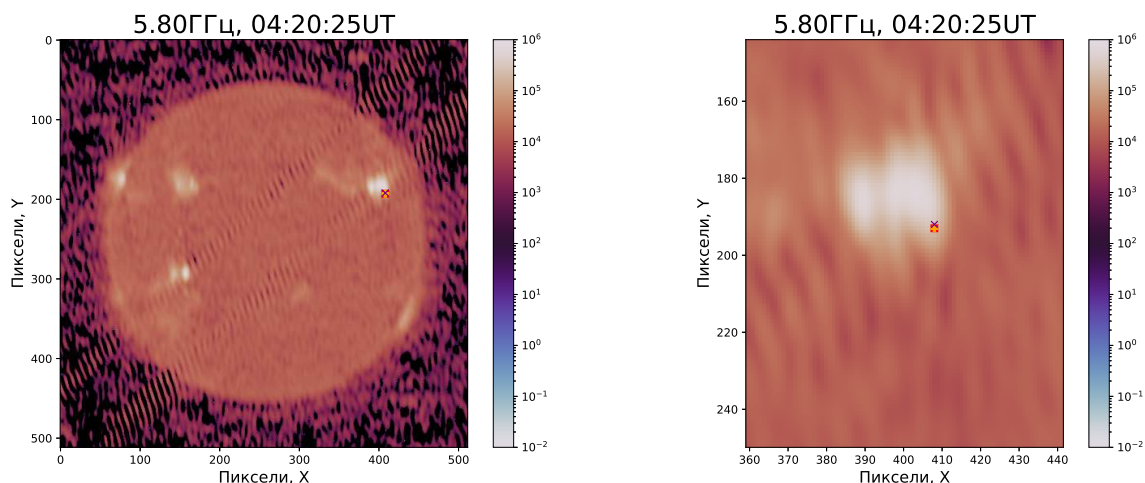


Рис. 2. Изображение СРГ на частоте 5.8 ГГц на момент перед началом вспышки 04:20:25UT. Отмечены положения вспыхивающих источников на моменты: красный «квадрат» для 04:21:11UT, оранжевый «плюс» для 04:21:21UT, фиолетовый «крест» для 04:21:31UT

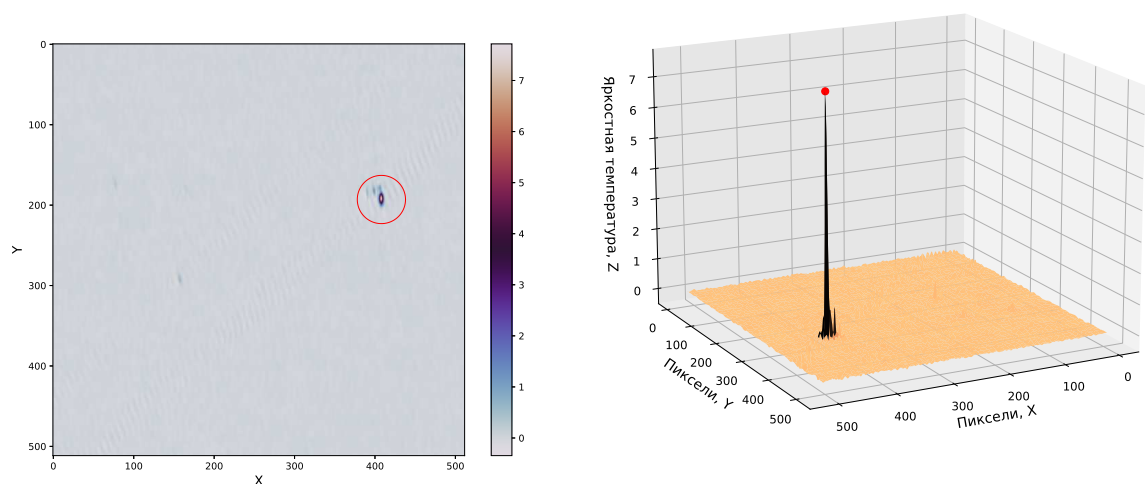


Рис. 3. Разностное изображение для всплеска 04:21:11UT, 3D диаграмма разностного изображения (T_B здесь в 10^{-5} К). Центр круга на карте (левая панель) соответствует максимуму яркостной температуры, отмеченному красной точкой на диаграмме (правая панель)

разностным изображениям можно выявить появление нового источника излучения, связанного с солнечной вспышкой, и определить его положение (на рис. 2 обозначены вспыхивающие источники для всех трех импульсов на частоте 5.8 ГГц). С использованием разностных изображений (рис. 3, левая панель) строились 3D-диаграммы (рис. 3, правая панель), где в плоскости XY находится разностное изображение, а по оси Z яркостная температура. По диаграмме посчитана площадь на полувысоте для каждого момента времени. Зная яркостную температуру на полувысоте вычисляется интенсивность I_ν принятого излучения по формуле приближения Рэлея — Джинса для закона Планка (1):

$$I_\nu = \frac{2\nu^2 k T_B}{c^2}, \quad (1)$$

где I_ν — интенсивность излучения на частоте $\nu = 5.8$ ГГц; T_B — яркостная температура на

полуширине; и P , поток принятого излучения, по формуле (2):

$$P = I_{\nu} \Omega n_{pix} \cdot 10^{19}, \quad \Omega = \left(\frac{\pi}{3600 \cdot 180} \right)^2, \quad (2)$$

где размерность P — [солнечные единицы потока] (С. Е. П.); $\Omega \cdot n_{pix}$ — площадь на полуширине. 1 [С. Е. П.] = $1 \cdot 10^5$ [Ян] = 10^{-22} [Вт см⁻² Гц⁻¹].

Оценка потока микроволнового излучения на частоте 5.8 ГГц для различных всплесков. T_B — яркостная температура на полуширине

Время (UT)	$T_B(K)$	Поток (С. Е. П.)
04:21:11	$3.9 \cdot 10^5$	1.0
04:21:21	$1.4 \cdot 10^5$	0.3
04:21:31	$1.0 \cdot 10^5$	0.3

Обсуждение результатов и выводы

Как видно на рис. 2, во время исследуемой вспышки на диске одновременно присутствовали не менее четырех активных областей. С помощью разностных изображений удалось локализовать положение всех источников всплесков на частоте 5.8 ГГц. Источники всех всплесков расположены в активной области NOAA 12939. На рис. 2 (правая панель) видно, все всплески совпадают по положению, из чего можно сделать вывод, что все всплески были связаны и относились к одному событию. Оценки потоков для трех всплесков представлены в таблице. Величина микроволнового потока первого всплеска около 1 С. Е. П., что находится на границе чувствительности большинства современных спектрометров микроволнового диапазона. Величина потока последующих всплесков около 0.3 С. Е. П. Это согласуется с тем, что видно на корреляционных кривых, где самым сильным всплеском вспышки был первый.

Библиографические ссылки

- [1] *Benz Arnold*. Flare Observations // Living Reviews in Solar Physics. — 2008. — Vol. 5. — P. 1–64.
- [2] *Алтынцев А. Т., Кашанова Л. К.* Введение в радиоастрономию Солнца. — Иркутск, Россия : ФБГОУ ВПО «ИГУ», 2014. — 203 с.
- [3] *Altyntsev A. T. et al.* Multiwave Siberian Radiogeliograph // Solar-Terrestrial Physics. — 2020. — Vol. 6, № 2. — P. 30–40.
- [4] *V. Lesovoi S., Kobets V. S.* Correlation plots of the Siberian Radiogeliograph // Solar-Terrestrial Physics. — 2017. — Vol. 3, № 1. — P. 3–18.

Научное издание

Физика Космоса

50-я Всероссийская с международным участием студенческая научная конференция
(Екатеринбург, Россия, 30 января — 3 февраля 2023 г.)

Сборник научных трудов

Ответственная за выпуск Д. Д. Залесова

Редактор Е. Е. Крамаревская

Корректор Е. Е. Крамаревская

Оригинал-макет Д. З. Вибе, Э. Д. Кузнецов, А. Б. Островский, С. В. Салий

Дата выхода в свет 14.08.2023. Формат 70 × 100 1/16.

Уч.-изд. л. 66,67. Объем данных 3.92 Мб

Гарнитура Times.

Издательство Уральского университета
620000, Екатеринбург-83, ул. Тургенева, 4.

Тел.: +7(343) 358-93-06, 350-58-20

Факс +7(343) 358-93-06

E-mail: press-urfu@mail.ru

<http://print.urfu.ru>

Данное электронное сетевое издание размещено
в электронном архиве УрФУ: elar.urfu.ru