

# **ФИЗИКА КОСМОСА**

*Труды 51-й Всероссийской с международным участием  
студенческой научной конференции*

*(Екатеринбург, Россия, 29 января – 2 февраля 2024 г.)*



Министерство науки и высшего образования  
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 51-й Всероссийской с международным участием  
студенческой научной конференции

(Екатеринбург, Россия,

29 января — 2 февраля 2024 г.)

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2024

УДК 521(063)  
ББК 22.6я43  
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 51-й Всероссийской с международным участием студенческой научной конференции (Екатеринбург, Россия, 29 января — 2 февраля 2024 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2024. — 381 с. : ил. — ISBN 978-5-7996-3848-1. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-7996-3848-1

DOI 10.15826/B978-5-7996-3848-1.00

В сборнике представлены доклады и сообщения студенческой научной конференции, которая ежегодно проводится в Астрономической обсерватории Уральского федерального университета. Цель конференции — обобщить достижения 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 978-5-7996-3848-1

© Уральский федеральный  
университет, 2024

**ФИЗИКА КОСМОСА**  
**51-я ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**  
**СТУДЕНЧЕСКАЯ**  
**НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Организаторы**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Международная общественная организация  
«АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

**УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
Кафедра астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды  
Астрономическая обсерватория

**29 января — 2 февраля 2024 г.**

**Екатеринбург, Россия**

**Организационный комитет**

Э. Д. Кузнецов (председатель, Уральский федеральный университет), А. М. Соболев (заместитель председателя, Уральский федеральный университет), А. И. Васюнин (Уральский федеральный университет), Д. Э. Вибе (Институт астрономии РАН), В. В. Крушинский (Уральский федеральный университет), М. Г. Медведев (Уральский федеральный университет), А. Б. Островский (Уральский федеральный университет), С. В. Салий (Уральский федеральный университет)

### **Программный комитет**

А. М. Соболев (председатель, Уральский федеральный университет), А. Б. Островский (заместитель председателя, Уральский федеральный университет), А. И. Васюнин (Уральский федеральный университет), Д. З. Вибе (Институт астрономии РАН), И. И. Зинченко (Институт прикладной физики РАН), Э. Д. Кузнецов (Уральский федеральный университет), О. К. Сильченко (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова), В. Ш. Шайдулин (Санкт-Петербургский государственный университет), Б. М. Шустов (Институт астрономии РАН)

### **Жюри конкурса студенческих научных работ**

Д. З. Вибе (председатель, Институт астрономии РАН), Н. Б. Железнов (Институт прикладной астрономии РАН), А. Б. Островский (Уральский федеральный университет), О. К. Сильченко (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова), С. А. Хайбрахманов (Санкт-Петербургский государственный университет), В. Ш. Шайдулин (Санкт-Петербургский государственный университет)

### **Финансовая поддержка**

Отдел по делам молодежи администрации Октябрьского района г. Екатеринбурга

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ SOL2023-07-12 M7.2 С ПРЕРВАННОЙ ЭРУПЦИЕЙ

С. А. Полухина<sup>1</sup>, Л. К. Кашапова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,*

<sup>2</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН*

Представлены первые результаты исследования солнечной вспышки 12 июля 2023 г. по наблюдениям Сибирского радиогелиографа (СРГ). Особенностью события является наличие прерванной эрупции, наблюдавшейся в крайнем ультрафиолетовом диапазоне. Для анализа пространственной структуры события был разработан оригинальный алгоритм коррекции положения микроволновых источников. Проведено исследование пространственной структуры источника в диапазоне 3–12 ГГц с учетом результатов спектрального анализа для момента начала эрупции.

## STUDY OF THE SOLAR FAILED ERUPTION SOL2023-07-12 M7.2

S. A. Polukhina<sup>1</sup>, L. K. Kashapova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Saint Petersburg State University,* <sup>2</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics*

We present the study of the solar flare which occurred on July 12, 2023, and was observed by the Siberian Radioheliograph (SRH) in the microwaves. The event feature was the failed eruption, observed in the Extreme ultraviolet range. To analyze the spatial structure of the event, the original algorithm for correcting the position of microwave sources was developed. We carried out a study of the spatial structure of the sources within 3–12 GHz range, taking accounting the results of spectral analysis at the moment of the eruption onset.

## Введение

Развитие солнечной вспышки в большинстве случаев сопровождается возникновением эрупции, так как выделение энергии в процессе связано с изменением топологии магнитного поля и ростом газового давления при нагреве плазмы. Мощный сгусток плазмы,двигающийся с высокой скоростью от Солнца в межпланетное пространство, называется корональным выбросом массы и является причиной возмущения магнитосферы Земли и возникновения геоэффективных событий. Но не всегда эрупция, возникающая во время солнечной вспышки, является корональным выбросом массы. Существуют как явления более скромного масштаба (например, джеты), так и случаи эрупции, когда движение плазмы вдруг неожиданно прекращается. Такого типа эрупция называется «прерванной» [1]. Существует несколько гипотез, объясняющих прерванную эрупцию. Одна из них связана с тем, что структура магнитного поля активной области не позволяет плазме удаляться от поверхности Солнца. Однако видимое перемещение источника излучения не всегда может быть связано именно с эрупцией или движением плазмы. Например, наблюдатель может принять за движение постепенный нагрев токового слоя или модулирование излучения плазмы каким-либо волновым процессом. Ответ на то, какая гипотеза объясняет наблюдаемую прерванную эрупцию, может дать исследование динамики вспышечных источников, связанных с излучением нагретой плазмы и с излучением ускоренных электронов. Такую возможность дают многоволновые наблюдения в микроволновом диапазоне в комбинации

с наблюдениями в крайнем ультрафиолете (далее КУФ) и рентгеновском диапазоне. Мы представляем первые результаты анализа наблюдений солнечной вспышки класса  $M7.2$  по GOES, произошедшей около 8:50 UT — 9:00 UT 12 июля 2023 г. Во время данного события в полосе  $131 \text{ \AA}$  (КУФ) наблюдалось движение плазмы вверх, которое внезапно прекратилось. Таким образом, произошло явление прерванной эрупции. Цель работы — выявление особенностей структуры микроволновых всплщечных источников во время развития эрупции и сравнение их положения с динамикой, наблюдаемой в крайнем ультрафиолете.

## Данные и метод обработки

Исследование пространственно-временной эволюции события в микроволновом диапазоне проведено по данным Сибирского радиогелиографа (далее СРГ) [2] с помощью двух решеток, работающих в диапазонах 3–6 и 6–12 ГГц. В работе использованы два типа многоволновых данных СРГ: интегральные потоки излучения всего диска Солнца и радиоизображения. Временные профили интегральных потоков представлены на рис. 1. Информацию о механизме излучения и связи с излучением ускоренных электронов можно получить из спектра [3]. Спектр исследуемой вспышки (рис. 2) для двух моментов времени указывает на гиротронный (магнитоторомозной) механизм. Пиковая частота в максимуме излучения для исследуемой вспышки находится на 10.6 ГГц. Излучение выше этой частоты указывает на наличие только ускоренных электронов. Спектр, полученный в 8:58:02 UT, показывает необычный рост в области низких частот. Он может быть связан или с плазменным излучением, или с наличием второго источника, связанного со слабым магнитным полем. Многоволновая структура источников и будет исследоваться в дальнейшем для этого момента времени.

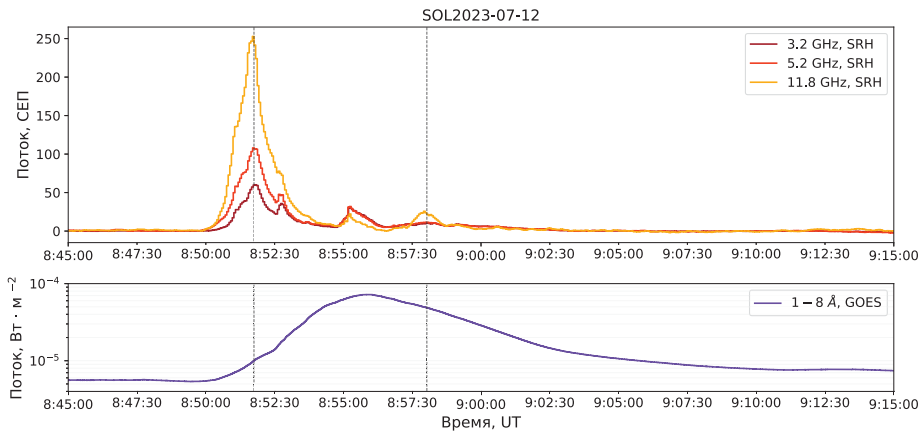


Рис. 1. Первая панель: потоки СРГ, временной профиль события в микроволновом диапазоне,  $1 \text{ СЕФ} = 10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ГГц}^{-1}$ . Вертикальными штриховыми линиями обозначены первый пик (8:51:45 UT) и третий пик (8:58:02 UT). Вторая панель: интегральный (по диапазону длин волн) рентгеновский поток в диапазоне  $1\text{--}8 \text{ \AA}$  космического аппарата GOES

Процесс обработки изображений в радиодиапазоне состоял из нескольких этапов. Во-первых, предварительная обработка: калибровка радиокарт [4] в избранные моменты времени по всем частотам; наиболее интересным, судя по спектральным данным, авторам представился третий пик. Далее автоматическая калибровка радиокарт для выбранных частотных каналов в моменты времени между 8:57 UT и 9:01 UT (третий пик) с времен-

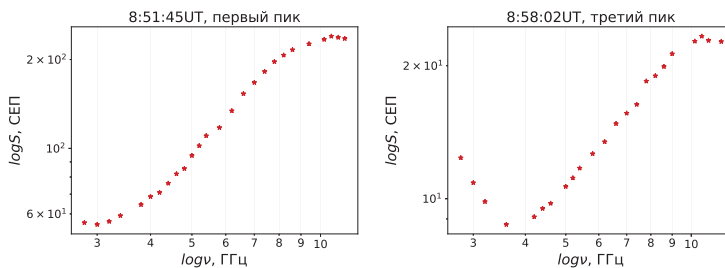


Рис. 2. Спектры для первого и третьего пиков события, построенные по данным потоков CPE

ным разрешением  $\sim 3.5$  с. Получилось 1760 изображений (80 кадров в каждом частотном канале). Во-вторых, необходимо центрирование диска Солнца на всех изображениях. Дело в том, что положение центра диска Солнца на синтезированных радиокартах может отличаться как для разных моментов времени, так и для разных частот в один момент времени. Это явление называется джилингом, его необходимо исключить дополнительной обработкой. Для этого выбирается контрольная активная область (далее АО), которая во время изучаемого события не производит вспышечной активности. Характер и интенсивность излучения этой АО не меняется в исследуемом промежутке времени. При точном наложении диска такие АО на разностных картах должны состоять только из шумовой компоненты. Радиокарта представляет собой двумерный массив чисел, содержащий информацию о яркостной температуре в каждом пикселе изображения. Строятся разностные карты по соседним моментам времени с разрешением  $\Delta t \approx 3.5$  с. Из каждой разностной радиокарты выделяется подмассив с контрольной АО. Двигаем две соседние карты друг относительно друга и ищем лучшее наложение с помощью метрики:

$$\rho(A, B) = \sqrt[\alpha]{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |a_{ij} - b_{ij}|^\alpha}{n \cdot m}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $A_{n \times m}$  и  $B_{n \times m}$  — матрицы подмассивов двух радиокарт, содержащие контрольную АО;  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  — элементы этих матриц соответственно. От показателя  $\alpha$  зависит точность наложения: необходимо, чтобы в результате вычитания оставался только шум. При  $\alpha = 2$  наложение получается хорошее, но недостаточно точное. При  $\alpha = 4$  локальные максимумы яркостной температуры на разностной карте вносят гораздо больший вклад в метрику, чем шум. При  $\alpha > 4$  точность наложения перестает заметно возрастать, но время вычисления и поиска наилучшего относительного сдвига карт сильно увеличивается. Поэтому решено было использовать значение показателя  $\alpha = 4$ . Используя данный метод, можно скорректировать положение центра диска на момент времени в каждом частотном канале или скорректировать положение центра диска на один момент времени для нескольких частот.

## Обсуждение результатов

На рис. 3 представлено положение источников микроволнового излучения в момент третьего пика. На изображении в полосе 131 Å AIA/SDO видно, что вспышка имеет куполообразную структуру, похожую на круговую вспышку [5]. Вспышки такого типа имеют куполообразную магнитную структуру, связанную высокой петлей с удаленным вспышечным источником. В сценарии вспышек такого типа отсутствуют волокна (или протуберанцы). Поэтому для данного случая не подходит модель, объясняющая наблюдения торможением



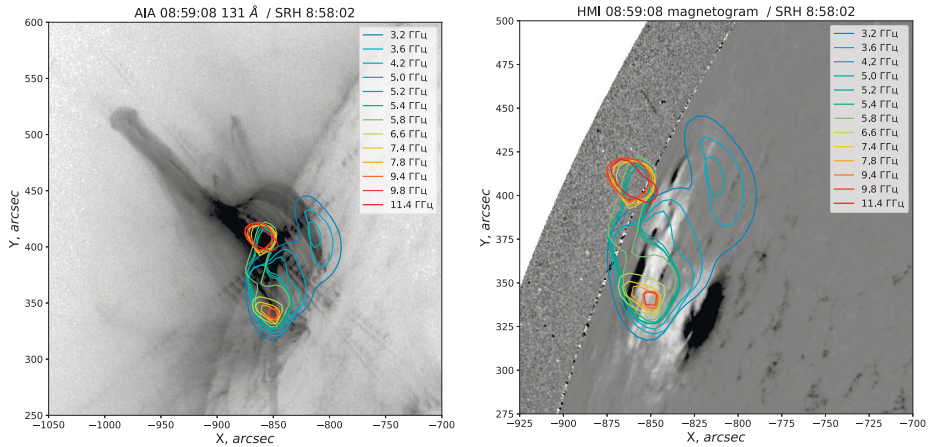


Рис. 3. Положение источников микроволнового излучения в 8:58:02 UT. Цветными контурами обозначено излучение активной области по данным СРГ. На фоне изображения в полосе 131 Å AIA/SDO — на первой панели и магнитограмма HMI/SDO — на второй панели. Оси изображений представлены в гелиоцентрических координатах

магнитным полем плазменных структур. В исследованиях круговых вспышек часто упоминают движение горячей плазмы от куполообразного вспышечного источника к удаленному источнику, связанному с ним высокой петлей. Возможно, наблюдавшаяся прерванная эрупция была результатом как раз такого движения. Мы также наблюдаем два микроволновых источника с излучением на частотах выше 10.6 ГГц. Один из них расположен в ногах петли и связан с мощными магнитными полями. Предположительно это пятенный источник. Еще один такой источник расположен в центре «купола» и может указывать на место первичного энерговыделения ускоренных электронов. Одно из оснований вспышечной петли излучает на частотах до 5 ГГц. Этот источник находится в области, где отсутствуют сильные магнитные поля. Именно он может формировать ту низкочастотную часть спектра, которую мы видим на рис. 2 для третьего пика. Данные выводы являются предварительными и нуждаются в дальнейшей проверке.

Исследования Л. К. Кашаповой выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России. Авторы благодарят М. В. Глобу за помощь при обработке наблюдений СРГ.

## Библиографические ссылки

- [1] *Mrozek T., Kołomański S., Stęślicki M., Gronkiewicz D.* Catalog of Solar Failed Eruptions and Other Dynamic Features Registered by SDO/AIA // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2020. — Vol. 249, № 2. — P. 21.
- [2] *Altyntsev A., Lesovoi S., Globa M. et al.* Multiwave Siberian Radioheliograph // *Solar - Terr. Phys.* — 2020. — Vol. 6, № 2. — P. 30–40.
- [3] *Dulk G. A.* Radio Emission from the Sun and Stars // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* — 1985. — Vol. 23. — P. 169–224.
- [4] *Globa M., Lesovoi S.* Calibration of Siberian Radioheliograph antenna gains using redundancy // *Solar - Terr. Phys.* — 2021. — Vol. 7, № 4. — P. 98–103.
- [5] *Wang H., Liu Ch.* Circular Ribbon Flares and Homologous Jets // *Astrophys. J.* — 2012. — Vol. 760, № 2. — P. 101.

Научное издание

**Физика космоса**

Труды 51-й Всероссийской с международным участием студенческой научной конференции  
(Екатеринбург, Россия, 29 января — 2 февраля 2024 г.)

Редактор Т. А. Федорова

Корректор Т. А. Федорова

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

Дата выхода в свет 14.08.2024. Формат 70 × 100 1/16.

Уч.-изд. л. 36,6. Объем данных 43.6 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](mailto:press-urfu@mail.ru)

<http://print.urfu.ru>

Данное электронное сетевое издание размещено  
в электронном архиве УрФУ: [elar.urfu.ru](http://elar.urfu.ru)