Секция А. Астрофизика и физика Солнца. БШФФ-2024. С. 74–76.

УДК 537.86 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-74

СОЗДАНИЕ КАТАЛОГА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Д.В. Рожкова, Л.К. Кашапова

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия, dariarozhkova@iszf.irk.ru

CREATING CATALOG OF SOLAR FLARES OBSERVED BY THE SIBERIAN RADIOHELIOGRAPH: FIRST RESULTS

D.V. Rozhkova, L.K. Kashapova

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, dariarozhkova@iszf.irk.ru

Аннотация. Мы представляем первые результаты создания каталога солнечных вспышек, наблюдавшихся на Сибирском Радиогелиографе (СРГ). Для отбора событий-кандидатов предложена методика, основанная на анализе поведения производной временного профиля микроволнового излучения. Методика протестирована на временных профилях мягкого рентгеновского излучения, полученных космическим аппаратом GOES, и применена для выявления солнечных вспышек, наблюдавшихся на СРГ в диапазоне 3–24 ГГц в июле 2023 г. Алгоритм показал хороший результат при применении его к корреляционным кривым СРГ, выявив не только мощные, но и слабые вспышки. Показаны примеры обнаруженных событий, обсуждаются пути улучшения алгоритма.

Ключевые слова: солнечные вспышки, Сибирский Радиогелиограф, каталог событий

Abstract. We present the first results of creating a catalog of solar flares observed by the Siberian Radioheliograph (SRH). We proposed a technique based on analysis of the intensity of microwave emission variations over time to reveal potential solar flares. The technique was tested on the time profiles of soft X-ray emission obtained by the GOES spacecraft, and applied for detection of solar flares observed by the SRH within the 3–24 GHz range in July 2023. Our method was successful in detecting both powerful and weak flares. We showed examples of the event which were identified, and discussed ways of the method improving.

Keywords: solar flares, Siberian Radioheliograph, catalog of events

ВВЕДЕНИЕ

С появлением новых инструментов с высоким временным и пространственным разрешением поток получаемой информации резко возрастает. Объем информации, требующей первичную каталогизацию, возрастает в несколько раз. Возникает проблема автоматизации отбора событий. В настоящее время, в области физики Солнца, такие алгоритмы применяются к наблюдениям космических инструментов, например, к наблюдениям в мягком рентгеновском диапазоне космического аппарата (КА) GOES. Отметим, что применение этих алгоритмов не всегда дает удовлетворительный результат, могут пропускаться более слабые или медленно развивающиеся события. С началом работы Сибирского Радиогелиографа (СРГ) появилась необходимость в разработке программного обеспечения, позволяющего автоматизировать первичный отбор солнечных вспышек, зарегистрированных прибором, и при этом учитывающий специфику наблюдений в микроволновом диапазоне.

Целью данной работы являлась разработка и тестирование алгоритма для автоматического выявления событий на основе данных, полученных с помощью СРГ. Мы также представляем первые результаты создания каталога солнечных вспышек, наблюдавшихся в диапазоне 3–24 ГГц, отобранных с использованием оригинальной методики.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ТЕСТИРОВАНИЕ

Используемые в работе подход основан на анализе производной временного профиля излучения в какой-либо спектральной полосе. Это вызвано тем, что эволюцию солнечных вспышек во всех спектральных диапазона можно охарактеризовать как сочетание резкого подъёма уровня сигнала или потока излучения с последующим спадом. Так как изменения происходят непрерывно, начало, максимум и окончание солнечной вспышки (события) можно определить, анализируя производную временного профиля, заданного численной функцией. Прежде всего, для каждой спектральной полосы или диапазона длин волн вычисляется стандартное отклонение производной временного профиля в интервале времени, где отсутствуют события. Если значение производной временного профиля находится вне интервала, определяемого как три значения стандартного отклонения, то считается, что оно соответствует событию. Начало события определяется как момент времени, где производная меняет знак с отрицательного на положительный, что указывает на резкое возрастание временного профиля, а конец события — момент, где производная меняет знак с положительного на отрицательный. Точный момент максимума определяется как максимальное значение временного профиля между найденными моментами начала и окончания события.

Методика протестирована на данных КА GOES в полосе 1–8 А для 13 июля 2023 г. В период времени с 00:00 до 10:15 UT в каталоге КА GOES зафиксировано 8 событий, в то время как наш алгоритм выявил 15 солнечных вспышек разных интенсивностей (рис. 1).

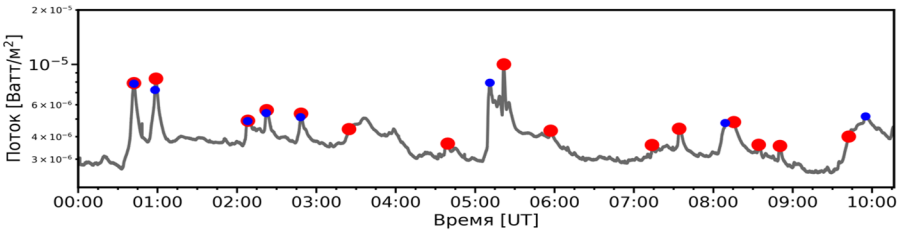

Рис. 1. Временной профиль в полосе 1–8 А КА GOES для 13 июля 2023 г. Синие точки — события из каталога вспышек КА GOES, красные — события, обнаруженные алгоритмом

Можно заметить, что наш метод отбирает события и в некоторых случаях обнаруживает более слабые события, чем методика, используемая КА GOES. Таким образом, разработанный алгоритм способен обнаруживать как сильные солнечные вспышки класса X, M и C, так и более слабые события классов A и B, которые могут быть пропущены стандартным алгоритмом отбора событий, используемым для анализа данных КА GOES.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ К ДАННЫМ СРГ

Разработанную методику мы применили к наблюдаемым данным Сибирского Радиогелиографа. СРГ представляет собой интерферометр, состоящий из трех независимых антенных решеток, диапазоны частот которых составляют 3–6, 6–12, 12–24 Ггц [Алтынцев и др., 2020]. Одним из видов данных, получаемых с СРГ, являются корреляционные кривые, представляющие собой сумму комплексных ковариаций, вычисляемых для различных пар антенн. Благодаря чувствительности этих корреляционных кривых можно выявлять и исследовать слабые всплески микроволнового излучения [Лесовой, Кобец, 2017]. Поэтому именно эти временные профили лучше всего подходят для целей нашего исследования. Был проведен анализ данных за июль 2023 г., когда наблюдения проводились на всех решетках, в диапазоне 3–24 ГГц. Из-за особенностей наблюдения СРГ, а также по физическим причинам максимумы всплесков на различных частотах могут не совпадать. А также алгоритм может распознавать как событие артефакты, например КА. Пример обнаружения всплесков показан на рис. 2 для наблюдений 13 июля 2023 г. Так как солнечные вспышки, наблюдаемые в микроволновом диапазоне, могут отсутствовать среди событий, отобранных в каталог КА GOES, то для автоматического нахождения события были определено следующее условие. Для того, чтобы обнаруженный всплеск считался вспышкой, необходимо, чтобы в интервале величиной до 200 сек наблюдался отклик как минимум на 15 частотах или не менее 5 частот в двух спектральных диапазонах. Далее с помощью отобранных моментов максимумов мы определяли начало, конец, минимальную и максимальную частоту события. Для наблюдений 13 июля 2023 г. было отобрано 17 событий (рис. 2). Полученные данные в каталоге представлены в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1.

start event	maximum event	end event	min freq GHz	max freq GHz
00:34:34	00:40:01	00:48:14	3.0	24.0

Использование корреляционных кривых позволяет отбирать события разной мощности. Пример того, как выглядят события разной мощности, отобранное нашим алгоритмом на динамическом спектре, сконструированном из корреляционных кривых и с помощью потоков микроволнового излучения (солнечные единицы потока, sfu), можно видеть на рис. 3 и рис. 4.

ОБСУЖДЕНИЯ И ВЫВОДЫ

В ходе работы нами был разработан и реализован в виде программного кода алгоритм, для автоматического выявления событий. Тестирование на наблюдениях КА GOES показало, что с помощью нашей методики отбираются вспышки, которые уже были внесены в каталог событий КА GOES, а также менее интенсивные события. Поэтому разработанную методику можно применять к данным КА GOES для отбора слабых вспышек A и B классов. Алгоритм показал хороший результат при

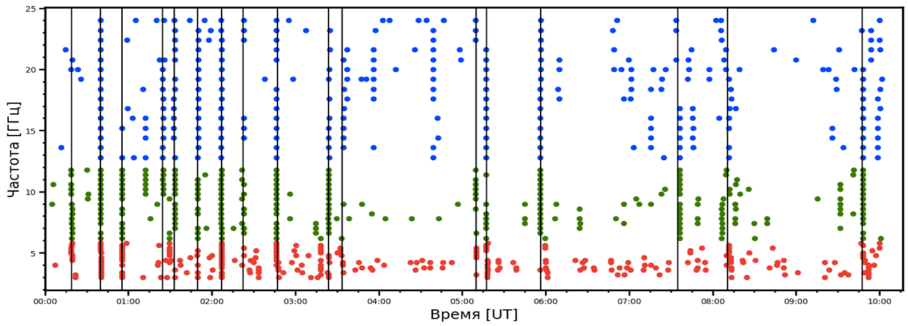

Рис. 2. Моменты максимумов, отобранных событий для каждой частоты (красные точки — 3-6 ГГц, зеленые — 6–12 ГГц, синие — 12–24 ГГц). Черные вертикальные линии — отобранные нами события

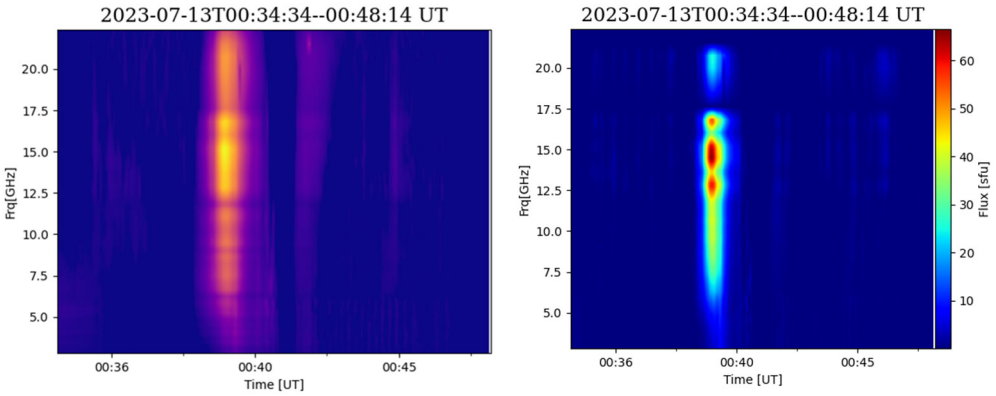

Рис. 3. Динамические спектры солнечной вспышки с простой спектрально-временной структурой, реконструированные с помощью корреляционных кривых (левая панель) и потока излучения (правая панель)

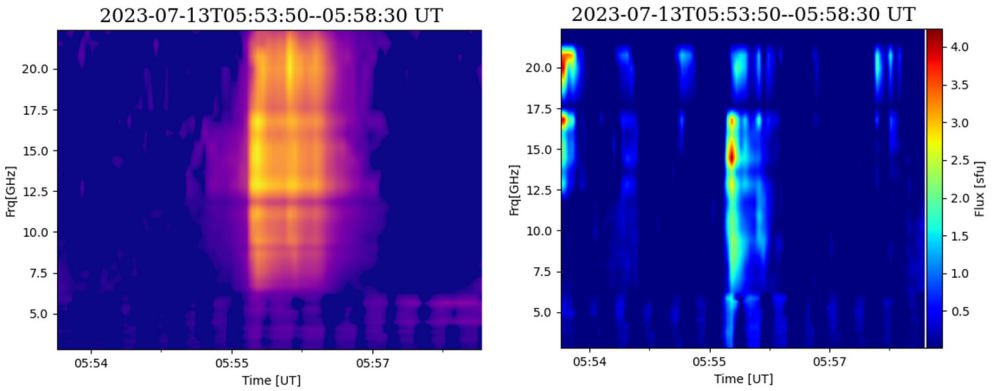

Рис.4. Динамические спектры слабой солнечной вспышки, реконструированный с помощью корреляционные кривых (левая панель) и потока излучения (правая панель)

применении его к корреляционным кривым СРГ, выявляя слабые события. В настоящее время методика направлена на отбор широкополосных событий, чтобы избежать проявления узкополосных артефактов. Было отмечено также, что уровень шума на решетке 12–24 Ггц выше, чем других диапазонах, то часть событий также могут оказаться артефактами. Поэтому в дальнейшем планируется усовершенствовать условия отбора. Разработанный метод анализа позволяет идентифицировать солнечные вспышки различной мощности и отделить их от фоновой активности Солнца, что особенно важно для выявления слабых событий на фоне более интенсивной солнечной активности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00315, https://rscf.ru/project/24-22-00315/

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Глоба М.В. и др. Многоволновый сибирский радиогелиограф // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 37–50.

Лесовой С.В., Кобец В.С. Корреляционные кривые Сибирского Радиогелиографа // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 17–21.