КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПУЛЬСАЦИИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО ДАННЫМ RHESSI, KONUS-WIND

Глобина В.И.¹, Шабалин А.Н.², Овчинникова Е.П.², Чариков Ю.Е.²

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

HARD X-RAY QUASI-PERIODIC PULSATIONS IN SOLAR FLARES ACCORDING TO RHESSI AND KONUS-WIND DATA

Globina V.I.¹, Shabalin A.N.², Ovchinnikova E.P.², Charikov Yu.E.²

¹The Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia

²Ioffe Institute of RAS, St. Petersburg, Russia

Hard X-ray quasi-periodic pulsations from local sources of a solar flare loop are analyzed. Results of RHESSI data analysis for a solar flare of May 13, 2013 15:52 UT are presented. Analysis revealed the presence of hard X-ray QPPs from all of the local sources with periods of 10–30 s. Detected QPPs arise during different flare phases and have various periods depending on the local source. Hard X-ray of different energies from a single local source shows the presence of QPPs with different properties except for one of the footpoint sources. One of the most appropriate mechanisms to interpret such QPPs is the model of the collapsing magnetic traps.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-107-110

Введение

Изучение квазипериодических пульсаций (КПП) жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) солнечных вспышек является дополнительным каналом информации для уточнения моделей ускорения и распространения ускоренных электронов, а также для диагностики параметров плазмы во вспышечных областях. До сих пор анализ КПП проводился преимущественно на основе интегральных по пространству всей вспышечной области потоков ЖРИ. В настоящей работе выполнен анализ квазипериодических пульсаций жесткого рентгеновского излучения из **локальных** источников вспышечной петли на основе данных космического аппарата RHESSI, обладающего пространственным разрешением, и данных аппарата Konus-Wind.

Методика анализа квазипериодических пульсаций

Поиск квазипериодических пульсаций проводился с помощью стандартных методов спектрального анализа – процедуры вейвлетного преобразования и алгоритма быстрого преобразования Фурье. На первом этапе была выполнена предварительная обработка данных, которая заключалась в вычитании тренда из исходного временного ряда с последующей интер-

поляцией данных для получения равномерного шага по времени, если это было необходимо. Процедура вейвлетного преобразования, применяемая в данной работе, полностью соответствует методике, описанной в работе [1]. В качестве материнского вейвлета была выбрана функция Морле. Для оценки значимости гармоник Фурье-спектра был применен метод Монте-Карло, который заключался в сопоставлении Фурье-спектров анализируемого временного ряда и случайных временных рядов. Случайные ряды были сгенерированы на основе модели красного шума (авторегрессионный процесс первого порядка). Всего было сгенерировано 1000 случайных рядов. Спектральная гармоника считалась значимой на уровне 95% (или 99%), если в более чем 95% (или 99%) случаев амплитуда соответствующей гармоники в случайном Фурье-спектре была меньше амплитуды этой же гармоники в исходном Фурье-спектре.

Результаты анализа квазипериодических пульсаций жесткого рентгеновского излучения из локальных источников

На данный момент выполнен анализ КПП жесткого рентгеновского излучения 4 солнечных вспышек: 13-05-2013 UT15:52, 21-04-2002 UT01:23, 24-10-2003 UT02:50, 23-09-2014 UT23:08. В данной работе представлены результаты для лимбовой вспышки класса X2.8 13-05-2013 UT15:52. Подробный анализ данной вспышки приведен в [2]. По изображениям, полученным аппаратом RHESSI, были отождествлены локальные источники ЖРИ вспышечной петли, соответствующие двум основаниям (северному и южному) и вершине петли. Для данной вспышки анализировалось излучение из трех энергетических каналов: 18.6–24.2 кэВ, 31.4–40.7 кэВ, 89–115.6 кэВ. Спектральный анализ выявил наличие КПП жесткого рентгеновского излучения с характерными периодами 10–30 с во всех энергетических диапазонах и локальных источниках. КПП, обнаруженные в различных источниках, обладают различающимися характеристиками. На рисунках 1–3 представлены вейвлетные спектры и Фурье-спектры сигналов, соответствующие трем источникам, из канала 31.4–40.7 кэВ. Очевидно, что КПП появляются в различных фазах вспышки и имеют различные периоды в зависимости от локального источника. Также важно отметить, что КПП жесткого рентгеновского излучения различных энергий из одного и того же источника имеют преимущественно различные характеристики (рис. 1 и 4). Исключение составляет лишь источник, соответствующий южному основанию, который характеризуется наличием КПП, обладающих идентичными характеристиками при различных энергиях ЖРИ.

Возможный механизм генерации квазипериодических пульсаций жесткого рентгеновского излучения

Одна из возможностей интерпретации найденных в данной работе КПП основана на идее о коллапсирующей магнитной ловушке [3, 4].

Рис. 1. Результаты анализа КПП жесткого рентгеновского излучения из локального источника, соответствующего северному основанию петли (31.4–40.7 кэВ). а) временной профиль сигнала; б) Фурье-спектр сигнала с выделенными гармониками, являющимися значимыми на уровне 99% выше уровня красного шума; в) вейвлетный спектр мощности с уровнями значимости 99% выше уровня красного шума (черные контуры).

Рис. 2. Результаты анализа КПП жесткого рентгеновского излучения из локального источника, соответствующего южному основанию петли (31.4–40.7 кэВ). а), б), в) см. рис. 1.

Суть модели состоит в том, что в результате магнитного пересоединения в короне образуется система магнитных ловушек, взаимодействие которых приводит к их попеременному сжатию и расширению. В результате этих процессов происходят периодические изменения величины пробочного отношения, что может приводить к появлению периодических вариаций жесткого рентгеновского излучения из оснований и вершины вспянутой петли ввиду появления чередующихся фаз накопления и высыпания ускоренных электронов.

Рис. 3. Результаты анализа КПП жесткого рентгеновского излучения из локального источника, соответствующего вершине петли (31.4–40.7 кэВ). а), б), в) см. рис. 1.

Рис. 4. Результаты анализа КПП жесткого рентгеновского излучения из локального источника, соответствующего северному основанию петли (89–115.6 кэВ). а), б), в) см. рис. 1.

Работа Глобиной В.И. поддержана грантом РФФИ мол_а № 18-32-00405. Работа Шабалина А.Н., Овчинниковой Е.П., Чарикова Ю.Е. поддержана грантом ПРАН №28.

Литература

1. Torrence C., Compo G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis // Bulletin of the American Meteorological Society. 1998. № 1 (79). С. 61–78.
2. Charikov Yu.E., et al. Time evolution of the Energy Spectra of Accelerated Electrons and Hard X-Rays from Local Sources of Solar Flares // Geomagnetism and Aeronomy. 2018. №7 (58). С. 1001–1007.
3. Jakimiec J., Tomczak M. Investigation of Quasi-periodic Variations in Hard X-rays of Solar Flares // Solar Physics. 2010. № 2 (261). С. 233–251.
4. Jakimiec J., Tomczak M. Investigation of Quasi-periodic Variations in Hard X-Rays of Solar Flares. II. Further Investigation of Oscillating Magnetic Traps // Solar Physics. 2012. № 2 (278). С. 393–410.