

ПРЕДВСПЫШЕЧНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Абрамов-Максимов В.Е.¹, Бакунина И.А.²

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

²Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики,
Нижегород, Россия

PRE-FLARE FLUCTUATIONS OF THE MICROWAVE EMISSION OF ACTIVE REGIONS

Abramov-Maximov V.E.¹, Bakunina I.A.²

¹Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia

²HSE University, Nizhny Novgorod, Russia

We present a study of quasi-periodic fluctuations (QPFs) of microwave emission of solar active regions (ARs) on pre-flare stage. We used observational data on the Nobeyama radioheliograph (NoRH) (correlation plots). We analyzed all flares of X and M classes (according GOES classification) that occurred during the time intervals of observations on NoRH. In a significant part of the considered cases, the appearance (or significant enhancement) of fluctuation processes is observed before flares. The QPFs periods are different in different cases: from several seconds to several minutes. The duration of the preflare trains of oscillations in the periods of oscillations is approximately the same in all cases and does not exceed 10 pulses. Character of pre-flare fluctuations different in different cases. In some events there are almost harmonic oscillations, in some ones they look more like a sequence of weak flares. Possibly, the nature of pre-flare fluctuations different in different cases.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-9-12

Связь параметров квазипериодических флуктуаций (КПФ) микроволнового излучения Солнца [1] со вспышечной активностью была обнаружена более 50-ти лет назад [2–5]. В частности, был обнаружен эффект усиления мощности КПФ микроволнового излучения непосредственно перед вспышкой [6–10]. Более того, был обнаружен аналогичный эффект усиления пульсаций геомагнитного поля перед протонными вспышками и его связь с пульсациями радиоизлучения Солнца [11, 12]. Подобный эффект усиления КПФ перед вспышками наблюдается также в мягком рентгеновском излучении [13–15].

Ряд случаев возрастания мощности КПФ перед вспышками с периодами от 3-х до 100 минут был обнаружен с использованием данных наблюдений на радиогелиографе Нобейама (NoRH) [16-21].

Целью данной работы является исследование частоты встречаемости эффекта усиления мощности КПФ перед вспышкой. Для работы были использованы наблюдения Солнца, выполненные на NoRH на частоте 17 ГГц (1.76 см) в интенсивности (параметр Стокса I). В наших предыдущих рабо-

тах мы выполняли синтез радиоизображений по нестандартной методике, что требует значительного времени и поэтому не позволяет рассмотреть быстро большое количество событий. В данной работе мы использовали так называемые корреляционные кривые (correlation plots). Корреляционные кривые отражают усредненные корреляции между антенными парами с исключением пар антенн с короткими базами. Корреляция возрастает при сильных сигналах, например, от вспышек. 1% корреляции (или 0.01 для кривых, нормированных на 1) соответствует 30 SFU плотности потока. Использование корреляционных кривых позволяет быстро проанализировать большое количество событий. При этом надо учитывать, что это усредненная характеристика. Если два и более события происходят одновременно в разных активных областях, мы не сможем их разделить, что ограничивает количество вспышек, которые мы можем проанализировать. С другой стороны, эта “усредненность” позволяет предположить, что часть предвспышечных КПФ в корреляционных кривых мы не видим, но реально они есть и были бы обнаружены при анализе двумерных изображений с высоким пространственным разрешением. Т.е. из анализа корреляционных кривых мы получаем нижнюю границу оценки количества событий с предвспышечными КПФ.

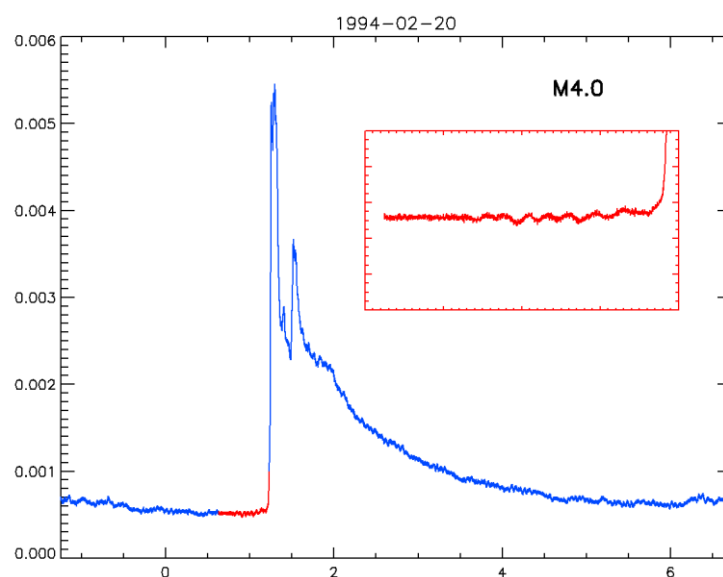


Рис. 1. Корреляционная кривая (синяя кривая), полученная на радиогелиографе Нобеля 20 февраля 1994 г. Ось абсцисс – время UT в часах, 0 соответствует моменту 00:00 20.02.1994. Ось ординат – корреляция, нормированная на 1. На корреляционной кривой красным цветом выделен предвспышечный цуг перед вспышкой класса M4.0. Этот фрагмент показан отдельно на красной вставке.

Мы отобрали все вспышки классов M и X (по GOES), которые произошли с 1992 по 2015 гг. в интервале времени наблюдений NoRH (23:00–06:00 UT). Примерно половина из них оказалась непригодна для анализа из-за наличия большого количества слабых вспышек перед вспышкой M

или X класса, что приводило к невозможности выделить предвспышечные флуктуации. Основным критерием отбора было наличие “спокойного” участка корреляционной кривой перед вспышкой.

Среди исследователей нет единого мнения, какие вспышки считать мощными. Часто к мощным вспышкам относят вспышки класса M5 и мощнее. Поэтому вспышки класса M мы разделили на две группы (слабее M5 и мощнее) и рассмотрели их отдельно.

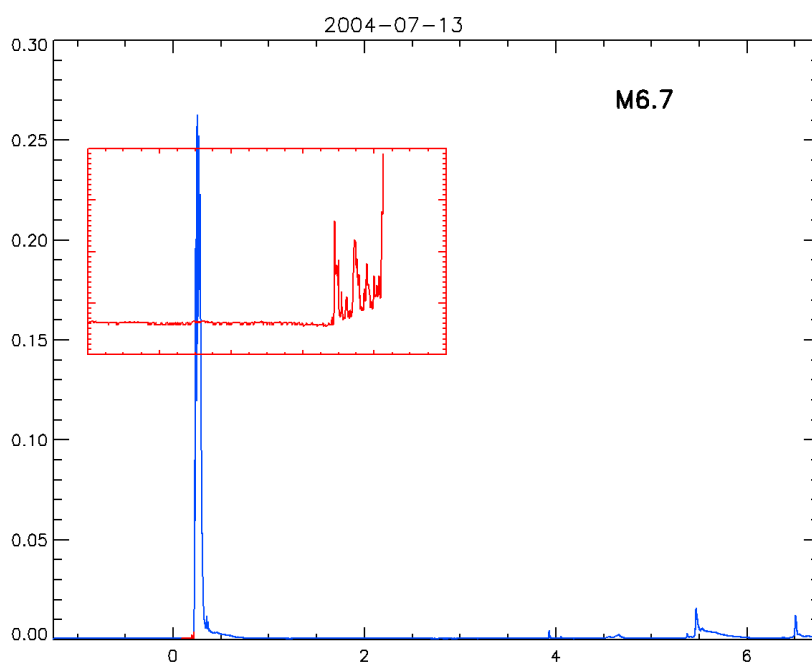


Рис. 2. Корреляционная кривая (синяя кривая), полученная на радиогелиографе Нобеля 13 июля 2004 г. Ось абсцисс – время UT в часах, 0 соответствует моменту 00:00 13.07.2004. Ось ординат – корреляция, нормированная на 1. На корреляционной кривой красным цветом выделен предвспышечный цуг перед вспышкой класса M6.7. Этот фрагмент показан отдельно на красной вставке.

Всего было проанализировано 323 события классов X и M, удовлетворяющих нашим критериям отбора. На рис. 1 и 2 приведены два примера. В таблице приведена количественная сводка. Во втором столбце дано число вспышек классов M и X вместе, в третьем – только X-вспышки, в четвертом – вспышки класса M5 и мощнее, в пятом – слабее M5. Отметим, что по характеру флуктуаций, все события можно разделить на два класса. В одних случаях наблюдаются почти гармонические колебания (рис. 1), в других – КПФ выглядят, скорее, как последовательность слабых вспышек (рис. 2). На основе этого факта можно предположить, что в различных случаях КПФ являются проявлениями различных процессов, происходящих на начальных этапах развития солнечных вспышек. В тех случаях, в которых КПФ выглядят как гармонические, они могут отражать волновые процессы в активных областях. В случаях с нерегулярными КПФ, возможно, они являются проявлением процессов ускорения частиц.

Таблица. Количество событий с предвспышечными КПФ и без них.

	X+M	X	>M5	M1-M5
Есть КПФ	198 (61%)	32 (71%)	63 (75%)	103 (53%)
Нет КПФ	125 (39%)	13 (29%)	21 (25%)	91 (47%)
Всего	323	45	84	194

Основные выводы следующие

По данным корреляционных кривых у 50–75% рассмотренных событий разной мощности наблюдаются предвспышечные флуктуации микроволнового излучения. Поскольку корреляционная кривая – это усредненная характеристика, полученную оценку можно рассматривать как нижнюю границу количества событий с КПФ. В разных случаях выявлены различные длительности предвспышечных цугов: от 2–3 до 60–70 минут. Наблюдаются различные периоды флуктуаций: от нескольких секунд до нескольких минут. Длительность предвспышечных цугов колебаний в периодах колебаний составляет, в среднем, 5 периодов. По характеру КПФ можно разделить на две группы: гармонические и спорадические. Возможно, в разных событиях КПФ имеют разную природу.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (№ 1021032422589-5, Многоволновое активное Солнце – Изучение солнечной активности, цикличности, солнечно-земных связей и солнечно-звездных аналогий на различных временных шкалах на основе многоволновых наблюдений).

Литература

1. Durasova M.S., Kobrin M.M., Yudin O.I. // Nature, 1971, **229**, 82.
2. Кобрин и др. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 1350.
3. Кобрин М.М. и др. // Солнечные данные, 1973, N10, 79.
4. Алешин В.И., Кобрин М.М., Коришунов А.И. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 747.
5. Коришунов А.И., Прокофьева Н.А. // Солнечные данные, 1976, N2, 52.
6. Аверьянихина Е.А. и др. // Иссл. Солнца и красных звезд. Рига, Зинатне, 1982, **16**, 61.
7. Берулис И.И. и др. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 1362.
8. Арбузов С.И. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1979, **22**, 1165.
9. Берулис И.И. и др. // АЖ, 1983, **60**, 974.
10. Авдюшин С.В. и др. // Доклады АН СССР, 1985, т.283, N1, с.67.
11. Bystrov et al. // Soviet Astronomy Letters, 1978, v.4, p.76.
12. Bystrov et al. // Geomagnetism and Aeronomy, 1979, v.19, p.197.
13. Zhdanov A.A., Charikov Y.E. // Soviet Astronomy Letters, 1985, v.11, p.88.
14. Tan B. et al. // Astrophys. J., 2016, **83**, id 206.
15. Зимовец И.В. и др. // Геомагнетизм и Аэрномия, 2022, т.62, стр.436.
16. Gelfreikh G.B., Nagovitsyn Yu.A., Nagovitsyna E.Yu. // Publ.Astr.Soc.Japan, 2006, **58**, 29.
17. Sych R., Nakariakov V.M., Karlicky M., Anfinogentov S. // A&A, 2009, **505**, 791.
18. Abramov-Maximov V.E., Gelfreikh G.B., Shibasaki K. // Solar Phys., 2011, **273**, 403.
19. Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А. // Ядерная физика, 2018, **81**, N 3, с. 366.
20. Abramov-Maximov V.E., Bakunina I.A. // Geomag. and Aeronomy, 2019, **59**, No. 7, 822.
21. Abramov-Maximov V.E., Bakunina I.A. // Geomag. and Aeronomy, 2020, **60**, No. 7, 846.