

ПРЕДВСПЫШЕЧНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА

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

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

²Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,
Нижний Новгород, Россия

PRE-FLARE FLUCTUATIONS OF THE RADIO EMISSION OF SOLAR ACTIVE REGIONS

Abramov-Maximov V.E.¹, Bakunina I.A.²

¹Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia

²HSE University, Nizhny Novgorod, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-7-10>

We present a case of simultaneous recording of pre-flare fluctuations of radio emission from the Sun on the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) and on the Radio Solar Telescope Network (RSTN). We used correlation plots obtained at NoRH at 17 GHz and observations of the total solar radio flux at 245 MHz at Learmonth Observatory in Western Australia. In the data obtained on both instruments, a pre-flare wave-train of fluctuations is observed before a flare of class M6.7 (according to GOES). The wave-train at 17 GHz begins approximately 2 minutes earlier.

Квазипериодические флуктуации (КПФ) радиоизлучения Солнца были открыты полвека назад [1]. Практически сразу же выявилась их связь со вспышечной активностью [2–5], и был обнаружен эффект усиления мощности КПФ микроволнового излучения перед вспышкой [6–10]. Более того, был обнаружен эффект усиления пульсаций геомагнитного поля перед протонными вспышками и его связь с пульсациями радиоизлучения Солнца [11, 12]. Позднее эффект усиления КПФ перед вспышками наблюдался также в мягком рентгеновском излучении [13–15].

Много случаев возрастания мощности КПФ перед вспышками с большим разнообразием квазипериодов от 3-х до 100 минут были обнаружены с использованием данных наблюдений на радиогелиографе Нобейма (NoRH) [16–21].

До сих пор мы использовали только данные наблюдений, полученные на радиогелиографе Нобейма [22]. Данные наблюдений на радиогелиографе имеют хорошее качество, однако интервал наблюдений (обычно примерно с 22:45 до 6:30 UT) составляет около 7 часов, т.е. почти 70–75% событий выпадает из рассмотрения. Целью данной работы является попытка использовать данные наблюдений сети RSTN (Radio Solar Telescope Network) [23]. RSTN состоит из четырех обсерваторий, равномерно расположенных по долготам, что позволяет вести непрерывный мониторинг пол-

ного потока солнечного радиоизлучения на 8-ми частотах: 245, 410, 610, 1415, 2695, 4995, 8800 и 15400 МГц. В данной работе мы ограничились анализом данных только одной из станций RSTN – Learmonth, расположенной на западе Австралии, потому что интервал наблюдений Learmonth (примерно с 23 до 10 UT) пересекается с интервалом наблюдений в Нобеяме, что дает возможность сопоставить результаты, получаемые на двух инструментах.

Для работы были использованы наблюдения Солнца, выполненные на NoRH на частоте 17 ГГц (1.76 см) в интенсивности (параметр Стокса I). 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. Корреляция в 1% (или 0.01 для кривых, нормированных на 1) соответствует 30 SFU (Solar Flux Unit, $10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) плотности потока.

На рис. 1 показана корреляционная кривая (синяя кривая), полученная на радиогелиографе Нобеяма 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 (по GOES). Этот фрагмент показан отдельно на красной вставке.

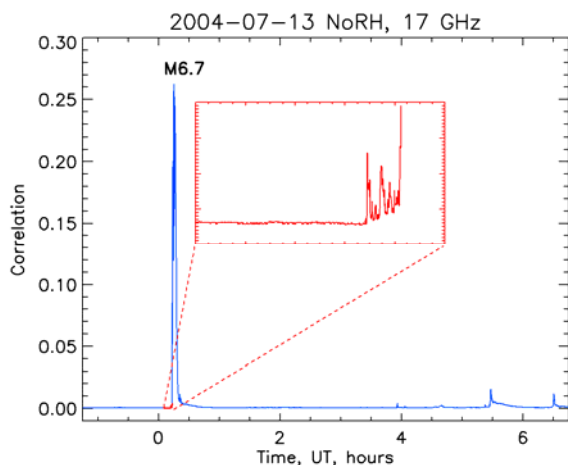


Рис. 1.

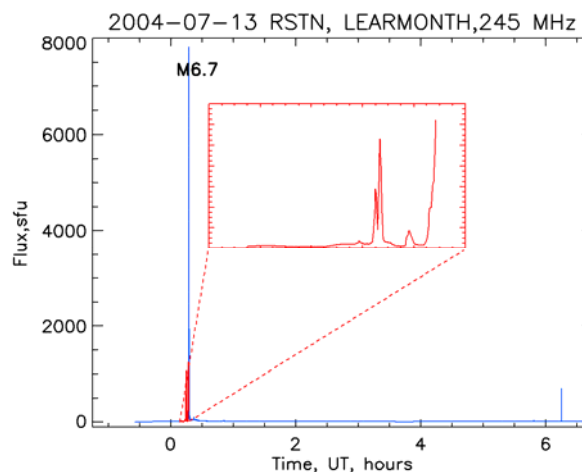


Рис. 2.

На рис. 2 показана запись полного потока радиоизлучения Солнца в тот же день по наблюдениям на станции Learmonth сети RSTN на частоте 245 МГц (синяя кривая). Ось абсцисс – время UT в часах, 0 соответствует моменту 00:00 13.07.2004. Ось ординат – полный поток радиоизлучения Солнца в SFU. Красным цветом выделен и показан отдельно на красной вставке предвспышечный цуг перед вспышкой.

На рис. 3 приведены совмещенные по шкале времени фрагменты корреляционной кривой по данным NoRH и полного потока радиоизлучения

Солнца по данным RSTN. Ось абсцисс – время UT в минутах, 0 соответствует моменту 00:00 13.07.2004. Ось ординат – условные единицы. На обеих кривых проявляется предвспышечный цуг примерно одинаковой длительности, но более ярко – на частоте 17 ГГц. На частоте 17 ГГц предвспышечный цуг наблюдается примерно на две минуты раньше, чем цуг в полном потоке по данным RSTN.

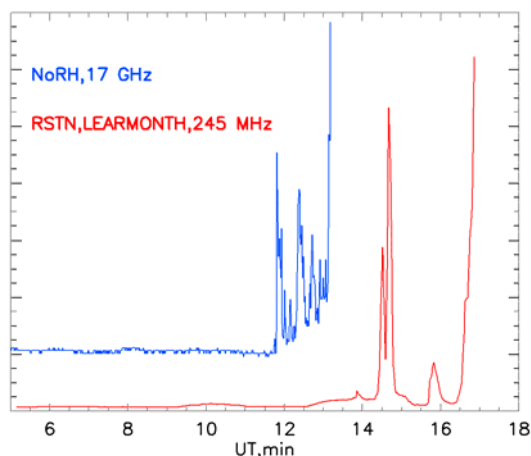


Рис. 3.

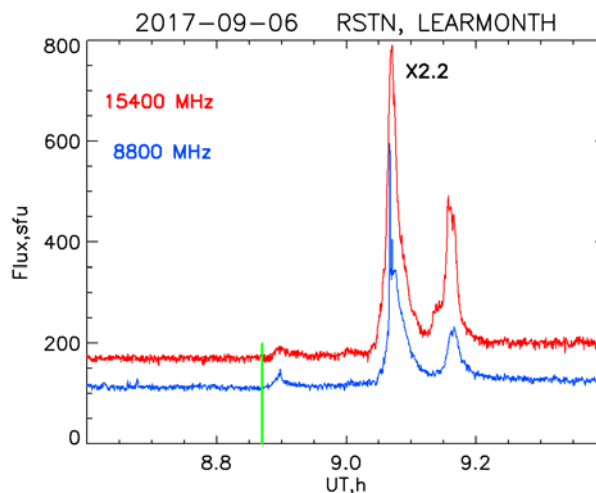


Рис. 4.

На рис. 4 показаны фрагменты записей полного потока радиоизлучения Солнца на двух частотах по данным RSTN за 6 сентября 2017 г. в интервал времени, когда произошла вспышка X2.2 в АО NOAA 12673. Ось абсцисс – время UT в часах, 0 соответствует моменту 00:00 6.09.2017. Ось ординат – полный поток радиоизлучения Солнца в SFU. Вертикальной зеленой линией отмечен момент начала предвспышечных цугов. Характер цугов выглядит таким же, как и в событиях, анализируемых по данным NoRH. Более четко предвспышечный цуг длиной 4 импульса проявляется на более высокой частоте. Это совпадает с ранее полученными авторами результатами, заключающимися в том, что, как правило, длительность предвспышечных КПФ составляет примерно 5 импульсов.

Таким образом, предварительный анализ данных RSTN выявил случаи предвспышечных КПФ и показал их пригодность для исследования этого эффекта. Более того, тот факт, что наблюдения на RSTN ведутся на 8-ми частотах и обеспечивают непрерывный мониторинг радиоизлучения Солнца, позволяет надеяться исследовать большее количество событий.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 1021032422589-5.

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 M.M. и др. // Солнечные данные, 1973, N10, 79.

4. Алешин В.И., Кобрин М.М., Кориунов А.И. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 747.
5. Кориунов 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 Аэрономия, 2022, т. 62, с.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.
22. Nakajima H. et al. // Proc. IEEE, 1994, **82**, 705.
23. Guidice D.A. et al. // Bull. AAS, 1981, **13**, 553.