ПРИЗНАКИ ПОДГОТОВКИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ

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

SIGNS OF PREPARATION OF SOLAR FLARES IN MICROWAVE RANGE

Abramov-Maximov V.E.¹, Bakunina I.A.²

¹Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia

²National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod, Russia

We present a study of the spatial distribution of quasiperiodic oscillations of microwave emission in active region 11302 before the M4.4 flare on September 25, 2011. We used the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) daily observations at 1.76 cm. We found that the oscillations are localized in a compact zone of the active region, which coincides with the place of maximum brightness during a flare.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-15-18

Квазипериодические колебания (КПК) радиоизлучения Солнца были открыты около 50-ти лет назад [1]. Тогда же были получены первые указания на существование связи параметров КПК со вспышечной активностью [2–5]. Был обнаружен эффект усиления мощности КПК микроволнового излучения непосредственно перед вспышкой. Наличие этого эффекта отмечали разные авторы [6–12]. Более того, был обнаружен аналогичный эффект усиления пульсаций геомагнитного поля перед протонными вспышками и его связь с пульсациями радиоизлучения Солнца [13, 14].

Во время вспышечного процесса происходит перестройка магнитного поля активной области и изменение параметров плазмы, что, вероятно, и приводит к изменению характеристик КПК. Этот факт может быть использован для диагностики корональной плазмы. С одной стороны, исследование предвспышечных колебаний излучения активных областей может помочь продвинуться в понимании процессов, приводящих к началу вспышки, а с другой стороны, возможно, разработать новые краткосрочные прогностические критерии.

Новые возможности исследования КПК в микроволновом диапазоне открылись благодаря созданию радиогелиографа Нобейа (NoRH) [15, 16]. На радиогелиографе проводились непрерывные наблюдения Солнца с 1992 по 2020 гг. по 7–8 ч ежедневно с временным разрешением 1 с в штатном режиме на частотах 17 и 34 ГГц с регистрацией интенсивности (параметр Стокса I) и круговой поляризации (параметр Стокса V, только на 17 ГГц).

Угловое разрешение составляет $10''$ – $20''$ на частоте 17 ГГц, что позволяет выделять в активных областях пятенные и межпятенные источники радиоизлучения. С использованием данных наблюдений NoRH был обнаружен ряд случаев возрастания мощности КПК перед вспышками с периодами от 3-х до 100 минут [17–21]. Аналогичный эффект был обнаружен в мягком рентгеновском излучении по данным GOES [22].

Целью данной работы является исследование пространственного распределения КПК, наблюдаемых перед вспышкой в активной области (АО) NOAA 11302. Для работы были использованы наблюдения Солнца, выполненные на NoRH на частоте 17 ГГц (1.76 см) в интенсивности (параметр Стокса I) 25 сентября 2011 г. В таблице приведена информация о вспышках классов М и С, которые произошли в интервале времени наблюдений на NoRH, согласно Space Weather Prediction Center (SWPC) PRF 1882. С момента начала наблюдений на NoRH до вспышки М4.4 в 2:23 вспышек не было, что позволяет использовать этот интервал для выявления КПК.

Таблица. Данные о вспышках 25 сентября 2011 г. в интервале времени наблюдений на NoRH по данным SWPC PRF 1882.

Begin	Max	End	X-ray class
02:27	02:33	02:37	M4.4
03:27	03:32	03:38	C7.9
04:31	04:50	05:05	M7.4

В таблице: Первая колонка – момент начала вспышки (UT), вторая колонка – момент максимума вспышки, третья колонка – момент окончания вспышки, четвертая колонка – рентгеновский класс вспышки по данным GOES.

Рис. 1. Изображение АО NOAA 11302 по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма 25 сентября 2011 г. на волне 1.76 см в интенсивности (параметр Стокса I). Указаны участки АО, для которых построены временные профили радиоизлучения, приведенные на рис.2.

Рис. 2. Временные профили микроволнового излучения различных участков АО NOAA 11302 (участки указаны на рис. 1) на волне 1.76 см в интенсивности (параметр Стокса I) по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма 25 сентября 2011 г. Красным цветом показан предвспышечный фрагмент профиля. На всех панелях оси абсцисс – время в минутах UT, оси ординат – яркостная температура в МК.

Был выполнен синтез радиоизображений в нестандартном режиме с шагом по времени 1 мин и временем усреднения 10 сек по алгоритму Koshix. Далее на всех изображениях выделялась исследуемая АО (field-of view – FOV) с учетом вращения Солнца и строились временные профили яркостных температур в 6-ти участках АО. На рис. 1 приведено изображение исследуемой АО, на котором указаны положения участков, для которых построены временные профили яркостных температур.

Полученные временные профили представлены на рис. 2. Видно, что в участке 1, соответствующем головному пятну, ни вспышка, ни колебания не проявляются. В участках 2,3,5 и 6 вспышка видна в той или иной степени, но заметных колебаний не видно. Наиболее сильно предвспышечный цуг, состоящий из 4-х импульсов, наблюдается только в участке 4. Длительность цуга составляет примерно 2 часа, длительность импульсов изменяется от 40 до 20 минут. Следует отметить, что именно в участке 4 наблюдается наибольшая яркостная температура во время вспышки.

Таким образом, в АО 11302 за 2 часа до вспышки класса М4.4 наблюдаются КПК микроволнового излучения, локализованные в компактной зоне, в которой была наибольшая яркостная температура во время вспышки.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема 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 М.М. и др.* // Солнечные данные, 1973, N10, 79.
4. *Алешин В.И., Кобрин М.М., Коршунов А.И.* // Изв.ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 747.
5. *Коршунов А.И., Прокофьева Н.А.* // Солнечные данные, 1976, N2, 52.
6. *Кобрин М.М., Коршунов А.И., Арбузов С.И. и др.* // Препринт N83, НИРФИ 1975, 20с.
7. *Кобрин М.М. и др.* // Астр.циркуляр, 1981, N1201, 1.
8. *Аверьянихина Е.А. и др.* // Иссл. Солнца и красных звезд. Рига, Зинатне, 1982, **16**, 61.
9. *Берулис И.И. и др.* // Изв.ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 1362.
10. *Арбузов С.И.* // Изв.ВУЗов, Радиофизика, 1979, **22**, 1165.
11. *Берулис И.И. и др.* // АЖ, 1983, **60**, 974.
12. *Авдюшин С.В. и др.* // Доклады АН СССР, 1985, т.283, N1, с.67.
13. *Bystrov et al.* // Soviet Astronomy Letters, 1978, v.4, p.76.
14. *Bystrov et al.* // Geomagnetism and Aeronomy, 1979, v.19, p.197.
15. *Gelfreikh G.B., Grechnev V.V., Kosugi T., Shibasaki K.* // Solar Phys., 1999, **185**, 177.
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. *Tan B. et al.* // Astrophys. J., 2016, **83**, id 206.