КОЛЕБАНИЯ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА ПЕРЕД ВСПЫШКАМИ

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

¹ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Нижний Новгород, Россия

OSCILLATIONS IN SOLAR ACTIVE REGIONS BEFORE FLARES

Abramov-Maximov V.E.¹, Bakunina I.A.²

¹Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia

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

Context: We continue research the oscillation parameters in solar active regions (ARs) in connection with their flare activity.

Aims: The aim of this paper is to study oscillations of microwave emission of AR NOAA 12673 before first M-class flare in September 2017.

Methods: We used the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) daily observations. The radio maps of the whole solar disk were synthesized in non-standard mode with a cadence of ten seconds and ten seconds averaging. We computed the time series of maximum brightness temperature and total flux over selected field-of-view (FOV) and used spectral wavelet analysis of the time series.

Results: The first M-class flare occurred on September 4, 2017 at 05:36-06:05 UT. We found that 100-minute oscillations were observed on September 4 during a few hours before M1.2 flare. At the same time, there were no noticeable oscillations on September 3. The observed effect is similar to the previously detected effect for 3-minute and 10-minute oscillations, namely, before radio burst there was increase of the power of oscillations. The effect can be interpreted as a relationship between MHD waves propagating along the magnetic flux tube of sunspot and beginning of the flares.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-11-14

Исследование колебательных процессов, которые наблюдаются практически во всех структурах солнечной атмосферы в различных диапазонах электромагнитного спектра [1–4], является мощным инструментом диагностики корональной плазмы [5].

Квазипериодические колебания (КПК) солнечного радиоизлучения были обнаружены почти 50 лет назад [6]. Тогда же были получены первые указания на существование связи параметров КПК со вспышечной активностью [7]. Также был обнаружен эффект усиления мощности квазипериодических колебаний микроволнового излучения непосредственно перед вспышкой. Наличие этого эффекта отмечали разные авторы [8–11].

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 исполь-

зован для диагностики корональной плазмы, а также, возможно, для разработки новых прогностических критериев. Однако возможности инструментов того времени были ограничены и не позволяли провести детальные исследования для отдельных активных областей.

Новые возможности исследования КПК в микроволновом диапазоне [12] открылись благодаря созданию радиогелиографа Нобеяма (NoRH). На радиогелиографе ведутся непрерывные наблюдения Солнца с 1992 года по 7–8 ч ежедневно с временным разрешением 1 сек 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 и исследовать колебательные процессы в них. С использованием данных наблюдений NoRH были детально исследованы КПК микроволнового излучения с периодами от 2–3 до 100–200 мин [13].

В работе [14] по данным NoRH была показана связь между трехминутными колебаниями микроволнового излучения солнечных пятен и квазипериодическими пульсациями радиоизлучения во вспышках. Было найдено два случая возрастания мощности трехминутных колебаний микроволнового излучения перед вспышками. Колебания микроволнового излучения были проинтерпретированы как проявление медленных магнитозвуковых волн. Аналогичные события показаны в работах [15, 16].

Рис. 1. Радиоизображения Солнца по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма в момент местного полудня 4 сентября 2017 г. на волне 1.76 см в интенсивности (слева) и круговой поляризации (справа).

Целью данной работы является исследование колебаний на предвспышечной стадии в АО NOAA 12673, в которой произошла серия больших вспышек, в том числе самые мощные вспышки 24-го цикла солнечной активности. Первая вспышка класса М (M1.2) произошла 4 сентября: начало

05:36 UT, максимум 05:49, окончание 06:05 (согласно SWPC PRF 2193). До этого 3–4 сентября в этой АО были только слабые вспышки класса C1. А начиная с 4 сентября, в АО наблюдалась высокая вспышечная активность. Поэтому мы сделали акцент на анализе колебаний микроволнового излучения АО перед первой вспышкой класса M, т.е. 3–4 сентября. В эти дни АО располагалась вблизи центрального меридиана (рис. 1).

Мы использовали ежедневные наблюдения Солнца, выполненные на NoRH на частоте 17 ГГц. Основные этапы обработки данных следующие: синтез полных изображений Солнца в интенсивности и круговой поляризации (параметры Стокса I и V) с шагом по времени и временем усреднения 10 сек, интерактивное выделение фрагмента изображения (field-of view – FOV) с исследуемым источником на одном из изображений, вычисление положения FOV на всех остальных изображениях с учетом вращения Солнца, выделение FOV на всех изображениях, вычисление максимальной яркостной температуры и потока на каждом FOV, построение временного профиля, вейвлет-анализ полученных временных профилей. Для вейвлет-анализа использовался вейвлет Морле 6-го порядка. Для вычитания тренда использовался полином 4-го порядка.

Рис. 2. Временные профили интегрального потока интенсивности (параметр Стокса I) радиоизлучения АО NOAA 12673 на волне 1.76 см по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма 3 сентября (слева) и 4 сентября (справа) 2017 г.

На рис. 2 представлены временные профили микроволнового излучения АО NOAA 12673 на волне 1.76 см за 3 и 4 сентября. Видно, что 4 сентября по сравнению с 3-м характер радиоизлучения заметно изменился, стал более нестабильным, т.е. правомерно говорить об усилении КПК. На рис.3 показан временной профиль микроволнового излучения исследуемой АО с вычтенным трендом и его вейвлет-спектр. Можно выделить колебания с периодом около 100 минут. Возможно, непосредственно перед вспышкой период колебаний уменьшается до 40 минут. Амплитуда колебаний составляет 7–8%. Поскольку здесь приведены временные профили

для интегрального потока радиоизлучения по FOV, в которую попала вся АО и участок спокойного Солнца, реальная амплитуда колебаний больше.

Рис. 3. Слева: временной профиль интегрального потока интенсивности (параметр Стокса I) радиоизлучения АО NOAA 12673 на волне 1.76 см по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма 4 сентября 2017 г. с вычтенным трендом. Справа: вейвлет-спектр временного профиля интегрального потока интенсивности (параметр Стокса I) радиоизлучения АО NOAA 12673 4 сентября 2017 г.

Таким образом, как минимум за 7 часов до первой вспышки М-класса, после которой началась сильная вспышечная активность в АО NOAA 12673, включая вспышки Х-класса, произошло появление или усиление мощности долгопериодических колебаний микроволнового излучения. Возможная интерпретация эффекта – связь между МГД волнами, распространяющимися в магнитном поле пятна и вспышечными процессами.

Работа частично поддержана Программой 28 Президиума РАН.

Литература

1. Lites B.W., Thomas J.H., Bogdan T.J., Cally P.S. // *Astrophys. J.*, 1998, **497**, 464.
2. Bogdan T.J. // *Solar Phys.*, 2000, **192**, 373.
3. Fludra A. // *Astron. Astrophys.*, 2001, **368**, 639.
4. Bogdan T.J., Judge P.G. // *Philos. Trans. R. Soc. A*, 2006, **364**, 313.
5. Nakariakov V.M., Erdelyi R. *Space Sci. Rev.*, 2009, **149**, 1.
6. Durasova M.S., Kobrin M.M., Yudin O.I. // *Nature*, 1971, **229**, 82.
7. Алешин В.И., Кобрин М.М., Кориунов А.И. // *Изв. ВУЗов, Радиофизика*, 1973, **16**, 747.
8. Кобрин М.М., Кориунов А.И., Снегирев С.Д., Тимофеев Б.В. // *Солнечные данные*, 1973, № 10, 79.
9. Кобрин М.М., Семенова С.В., Пахомов В.В., и др. // *Астр. циркуляр*, 1981, N1201, 1.
10. Аверьянихина Е.А., Паупере М.Э., Озолиньш Г., Эллиас М. *Исследование Солнца и красных звезд*. Рига, Зинатне, 1982, вып. 16, с. 61.
11. Авдюшин С.В. и др. // *Доклады АН СССР*, 1985, т. 283, № 1, с. 67.
12. Gelfreikh G.B., Grechnev V.V., Kosugi T., Shibasaki K. // *Solar Phys.*, 1999, **185**, 177.
13. Gelfreikh G.B., Nagovitsyn Yu.A., Nagovitsyna E.Yu. // *Publ. Astr. Soc. Japan*, 2006, **58**, 29.
14. Sych R., Nakariakov V.M., Karlicky M., Anfinogentov S. // *A&A*, 2009, **505**, 791.
15. Abramov-Maximov V.E., Gelfreikh G.B., Shibasaki K. // *Solar Phys.* 2011, **273**, 403.
16. Abramov-Maximov V.E., Bakunina I.A. // *Physics of Atomic Nuclei*, 2018, **81**, N 3, p. 379.