

КОЛЕБАНИЯ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА НА ПРЕДВСПЫШЕЧНОЙ СТАДИИ

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

OSCILLATIONS IN SOLAR ACTIVE REGIONS ON PRE-FLARE PHASE

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 quasi-periodic oscillations (QPOs) of microwave emission from some solar active regions (ARs) on pre-flare phase. 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. We found that in most of the cases an increase in the power of QPOs before flares is observed. The periods of oscillation are different and vary from 3 to 100 minutes. The duration of pre-flare wavetrains in periods of oscillations is approximately the same for all cases and is about 5 pulses. The effect of the occurrence of the QPOs before flares can be interpreted as a relationship between MHD waves propagating along the magnetic flux tube of sunspot and beginning of the flares and can be considered as a flare precursor.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-7-10

Квазипериодические колебания (КПК) солнечного радиоизлучения были обнаружены около 50 лет назад [1, 2]. Практически сразу же были получены указания на существование связи параметров КПК со вспышечной активностью [3]. Был обнаружен эффект усиления мощности КПК микроволнового излучения перед вспышкой [4–6]. Этот эффект, первоначально обнаруженный на малых антеннах, был подтвержден наблюдениями на РТ-22 ФИАН, РТ-22 КраО и ТНА-1500 [7–10].

С использованием данных наблюдений радиогелиографа Нобеяма (NoRH) были детально исследованы КПК микроволнового излучения с различными периодами [11, 12]. Был обнаружен ряд случаев возрастания мощности КПК перед вспышками с различными периодами: 3 минуты [13, 14], 10 минут [15], 100 минут [16]. Причем во всех случаях длительность предвспышечных цугов в периодах колебаний оказалась примерно одинаковой. Аналогичный эффект был обнаружен в мягком рентгеновском излучении по данным GOES [17].

Целью данной работы является дальнейшее исследование обнаруженного эффекта усиления КПК перед вспышками.

Для работы были использованы ежедневные наблюдения Солнца, выполненные на NoRH на частоте 17 ГГц (1.76 см). Основные этапы обработки данных описаны, например, в работе [14]. Для вейвлет-анализа использовался вейвлет Морле 6-го порядка. Для вычитания тренда использовался полином 4-го порядка.

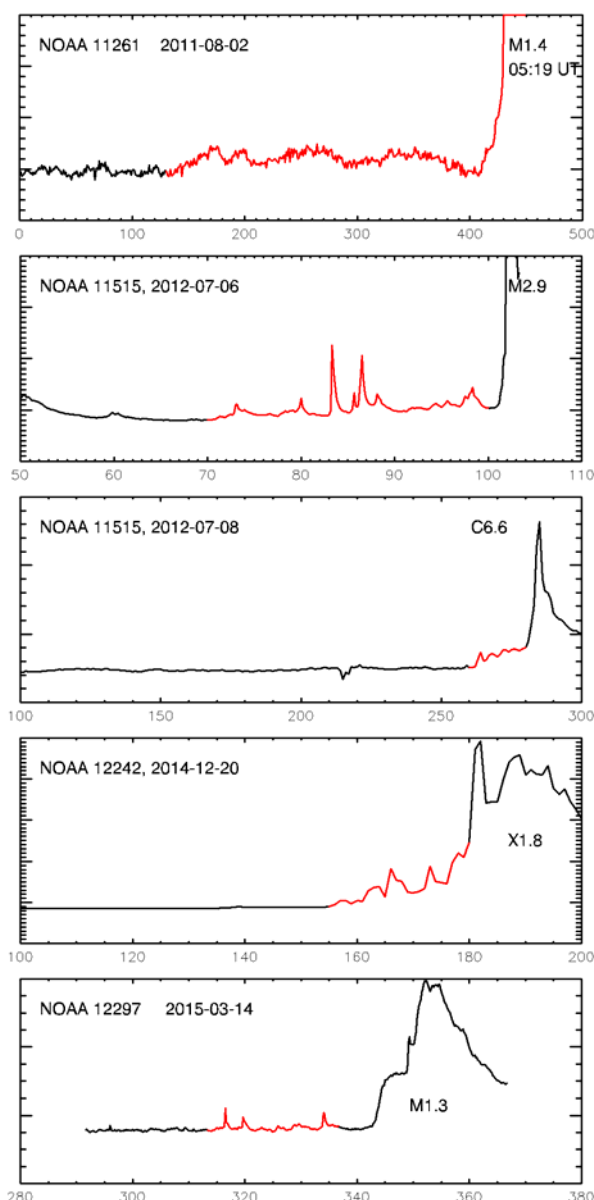


Рис. 1. Временные профили микро-волнового излучения четырех активных областей на волне 1.76 см в интенсивности (параметр Стокса I) по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма перед вспышками. Оси абсцисс – время в минутах, оси ординат – интенсивность радиоизлучения в произвольных единицах. Красным цветом выделены участки временных профилей, на которых усилены предвспышечные пульсации радиоизлучения.

На рис. 1 приведены временные профили интенсивности (параметр Стокса I) радиоизлучения для пяти вспышечных событий разной мощности. Во всех случаях перед вспышками наблюдается возникновение (или значительное усиление) флуктуационных процессов (соответствующие

участки временных профилей выделены красным цветом). Периоды КПК в различных случаях разные: от 3-х до 100 минут.

Рассмотрим подробнее два случая: вспышка M1.4 2 августа 2011 г. и M1.3 15 марта 2015 г. На рис. 2 приведен вейвлет-спектр временного профиля для первого из указанных событий. Примерно за 4–5 часов до вспышки проявились КПК с периодом 90–100 минут. КПК проявлялись не во всей активной области (АО), а были локализованы в компактной области, которая отмечена крестиком на рис. 2. Положение этой области не совпадает с наиболее яркими микроволновыми источниками и, по-видимому, приходится на межпятенную область. Это совпадает с результатами, полученными в работе [16], в которой тоже анализируется случай появления КПК с периодами около 100 минут предположительно в микроволновом источнике над нейтральной линией фотосферного магнитного поля.

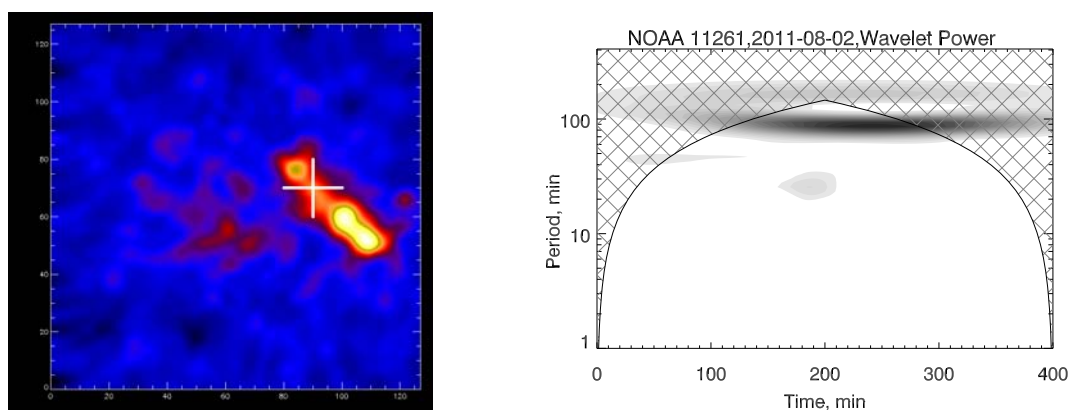


Рис. 2. Слева: радиоизображение активной области NOAA 11261 на волне 1.76 см по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма 2.08.2011. Крестиком указано место, в котором получен временной профиль радиоизлучения, приведенный на верхней панели рис. 1. Справа: вейвлет-спектр соответствующего временного профиля.

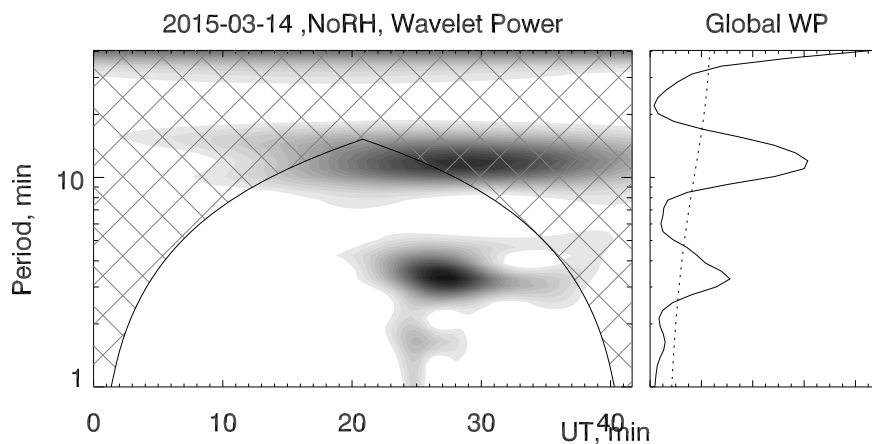


Рис. 3. Вейвлет-спектр временного профиля интенсивности (параметр Стокса I) радиоизлучения АО NOAA 12297 14 марта 2015 г.

На рис. 3 показан вейвлет-спектр для временного профиля радиоизлучения АО NOAA 12297, в которой 14 марта 2015 г. произошла вспышка M1.3. В данном случае примерно за 20 минут до вспышки усилились 3-х минутные КПК. Этот случай подобен случаям, описанным в [13, 14].

Таким образом, основные выводы следующие. Подтверждается существование связи между спектром КПК микроволнового излучения активных областей Солнца и вспышечной активностью. Выявлено несколько случаев усиления КПК микроволнового излучения активных областей перед вспышками. В разных случаях наблюдаются различные периоды от трех до нескольких десятков минут. Длительность предвспышечных цугов колебаний в периодах колебаний составляет в среднем 5 периодов. Эффект усиления КПК перед вспышками может рассматриваться как прогностический фактор.

Использование данных наблюдений NoRH с одной стороны дает возможность локализовать область, в которой происходят КПК. С другой стороны, использование данных NoRH требует довольно сложной обработки, что затруднит применение их для практического прогноза. Имеет смысл провести аналогичные исследования с использованием корреляционных кривых, получаемых на NoRH, данных NoRP, RSTN, а также наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне на SDO/AIA.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема 0041-2019-0019), при частичной поддержке Программой фундаментальных исследований РАН П-12 "Вопросы происхождения и эволюции Вселенной с применением методов наземных наблюдений и космических исследований".

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. Алешин В.И., Кобрин М.М., Коришунов А.И. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1973, **16**, 747.
4. Кобрин М.М. и др. // Солнечные данные, 1973, N10, 79.
5. Кобрин М.М. и др. // Астр. циркуляр, 1981, N1201, 1.
6. Аверьянихина Е.А. и др. // Исследование Солнца и красных звезд. Рига, Зинатне, 1982, вып.16, с.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. Gelfreikh G.B., Grechnev V.V., Kosugi T., Shibasaki K. // Solar Phys., 1999, **185**, 177.
12. Gelfreikh G.B., Nagovitsyn Yu.A., Nagovitsyna E.Yu. // Publ.Astr.Soc.Japan, 2006, **58**, 29.
13. Sych R., Nakariakov V.M., Karlicky M., Anfinogentov S. // A&A, 2009, **505**, 791.
14. Abramov-Maximov V.E., Gelfreikh G.B., Shibasaki K. // Solar Phys., 2011, **273**, 403.
15. Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А. // Ядерная физика, 2018, **81**, N 3, с. 366.
16. Abramov-Maximov V.E., Bakunina I.A. // Geomag. and Aeronomy, 2019, **59**, No. 7, 822.
17. Tan B. et al. // Astrophys. J., 2016, **83**, id 206.