НАКОПЛЕНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ МНОВОВЕЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

**Мельников В.Ф.¹, Бакунина И.А.², Моргачев А.С.^{1,3},
Кузнецов С.А.¹, Шаин А.В.¹**

¹ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

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

³Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород, Россия

ENERGY ACCUMULATION AND RELEASE IN THE ACTIVE REGION FROM MULTI-WAVELENGTH OBSERVATIONS WITH HIGH SPATIAL RESOLUTION

**Melnikov V.F.¹, Bakunina I.A.², Morgachev A.S.^{1,3},
Kuznetsov S.A.¹, Shain A.V.¹**

¹Pulkovo Observatory of RAS, St. Petersburg, Russia

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

³Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

In this paper, we describe the spatial structure and time characteristics of the microwave emission of active region AR 12673 during the rapid changes in the magnetic flux on September 4, 2017 using Nobeyama Radioheliograph observations. It is shown that the microwave emission of the active region exhibits extremely dynamic behavior of its spatial brightness distribution as well as a very non-stationary, impulsive, emission from the specific position where M1.2 class flare happens later. It is shown from comparison of microwave and EUV maps that the strong non-stationary microwave flare happens at the position where a system of intersecting compact EUV loops appears.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-275-278

В сентябре 2017 г. активная область (АО) NOAA 12673 эволюционировала от разрушающегося пятна северной магнитной полярности до самой активной АО 24-го цикла солнечной активности. С 4-го по 10 сентября она произвела 52 вспышки рентгеновского класса C, M и X, в том числе 4 вспышки класса выше GOES X1 (включая вспышку X9.3 06 сентября 2017 года и событие X8.2 на лимбе 10 сентября) и 8 вспышек класса выше GOES M3. Её высокая вспыхивающая активность связана со всплытием нового магнитного потока. Всплытие магнитного потока началось 3 сентября к юго-востоку от старого пятна (остатка от AR 12665 и 12670) и продолжалось вплоть до захода АО за край лимба 10 сентября (см., например, Verma 2018, и др.). При этом наблюдалось вращение против часовой стрелки основных пятен группы, образования шировых сдвигов между пятнами и образование S-образной структуры. Кроме того, обнаружено существование

магнитных жгутов между главными солнечными пятнами до начала каждой из перечисленных больших вспышек.

Микроволновое излучение является очень чувствительным индикатором изменения параметров активной области (концентрации нетепловых электронов, температуры и плотности плазмы, напряженности и пространственной структуры магнитного поля). Поэтому использование его наблюдаемых характеристик для диагностики процессов, происходящих перед

Рис. 1.

вспышками и корональными выбросами массы (КВМ) представляется очень перспективным. К настоящему времени нет публикаций с анализом развития АО 12673 в микроволновом диапазоне с пространственным разрешением. Цель данной работы – выяснить характер изменений в пространственной структуре и в других параметрах микроволнового излучения АО 12673, происходящих в период быстрых изменений магнитного потока в интервале нескольких часов перед вспышкой класса M1.2 (05:36) 4 сентября 2017 г.

Анализ развития АО по наблюдениям 4 сентября 2017 г.

Анализ выполнен на основе радиокарт Солнца, полученных на радиогелиографе Нобейма (NoRH) на частоте 17 ГГц с двумерным простран-

ственным разрешением $10''$ – $15''$, с временным интервалом между изображениями 10 сек и временем усреднения 10 сек.

Рис. 2.

Период наблюдений на радиогелиографе Нобеяма пришелся на интервал в несколько часов перед вспышкой класса M1.2 (05:36) 4 сентября 2017 г. В течение всего этого времени пространственное распределение радиояркости кардинально изменяется от двух почти параллельных петлеобразных структур, вытянутых в направлении «север-юг» (рис. 1, верхняя панель) с положительной поляризацией южных оснований и отрицательной – северных оснований в начале наблюдений (22:50 UT), до появления за ~ 2.5 часа до начала вспышки яркой петлеобразной структуры, вытянутой в направлении «восток-запад» (рис. 1, нижняя панель). Эта поперечная структура в дальнейшем продолжала усиливаться и стала источником относительно мощного микроволнового излучения вспышки рентгеновского класса M 1.2 (05:36). Наиболее вероятными причинами такого перераспределения радиояркости являются перестройка пространственной структуры магнитного поля активной области перед вспышкой либо активация других (ортогональных) магнитных трубок с возможным ускорением электронов в них.

В этой связи представляется интересным то, что излучение из южной части петлеобразной структуры, вытянутой в направлении «север-юг», демонстрирует высокую степень нестационарности яркости в течение 6.5 часов (рис. 1, верхняя панель), тогда как излучение из её центральной и северной частей имеет существенно более плавный временной профиль без резких импульсов излучения, характерных для южной части этой структуры. Возникшая впоследствии поперечная структура демонстрирует нестационарность яркости излучения из обеих её частей (западной и восточной), однако её временные профили также плохо коррелируют друг с другом (рис. 1, нижняя панель).

Непохожесть временных профилей из разных частей петлеобразных структур позволяет предположить, что каждая из этих структур на самом деле состоит из двух или более изолированных компактных магнитных петель, в которых идет независимое энерговыделение или ускорение излучающих электронов. Для проверки этого предположения дополнительно привлечены данные наблюдений AIA/SDO в КУФ диапазоне с более высоким пространственным разрешением (1.5"), чем обеспечивает радиогелиограф Нобейма (17"). Важно, что КУФ излучение в «горячих» линиях 94 А и 131 А отражает наличие высокотемпературной плазмы ($T = 6$ млн К и $T = 20$ млн К).

На рис. 2 показаны карты яркости КУФ излучения с наложенными на них контурами микроволновой яркости на 17 ГГц для четырех различных моментов времени. В начале наблюдений (23:11 UT, левая верхняя панель рис. 2) в КУФ четко видны три системы петель (возможно, скрученных магнитных жгутов). В целом они совпадают со структурой источников, видимых на радиогелиографе Нобейма (кроме горизонтальной). Позднее, в 01:42 UT (правая верхняя панель рис. 2), становится видно, что петлеобразная структура, вытянутая в направлении «север-юг» распадается на две хорошо различимых петли. Одна из них хорошо совпадает с северной частью радиоисточника, вторая – с южной. Аналогичное подтверждение нашего предположения реализуется и для поперечной петлеобразной структуры, вытянутой в направлении «восток-запад». Действительно, на нижних левой и правой панелях видно, что к моменту 04:16 UT поперечная структура в ультрафиолете распадается на две ярких компактных петли, а к моменту 05:38 UT на правой панели видно как минимум четыре пересекающихся между собой ярких компактных петли.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № № 18–02–00856, 17-52-80064 и РНФ 16-12-10448.

Литература

1. *Verma M.* // *Astronomy & Astrophysics*, 2018, V. 612, A101
2. *Hou Y.J., Zhang J., Li T. et al.* // 2018, arXiv:1808.06795 [astro-ph.SR]