ЭВОЛЮЦИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА 12673 ПО ДАННЫМ РАТАН-600 И SDO

Абрамов-Максимов В.Е.¹, Боровик В.Н.¹, Опейкина Л.В.², Тлатов А.Г.¹

¹ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

²САО РАН, Нижний Архыз, Россия

EVOLUTION OF SOLAR ACTIVE REGION 12673 BY RATAN-600 AND SDO DATA

Abramov-Maximov V.E.¹, Borovik V.N.¹, Opeikina L.V.², Tlatov A.G.¹

¹Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia

²Special astrophysical observatory RAS, Nizhnii Arhiz, Russia

Context: We continue our previous researches of solar active regions (ARs) where strong flares occurred to reveal features indicate that a strong flare is about to take place.

Aims: The aim of this paper is to study AR NOAA 12673 on pre-flare phase in the beginning of September 2017. We focus on the behavior of microwave emission and magnetic field structure before the first M-class flare on September 4.

Methods: We studied microwave emission and magnetic-field characteristics of AR as based on RATAN-600 and SDO/HMI data. For comparison we considered a well-developed AR NOAA 12674, in which there were only a few weak flares of the C-class.

Results: As in the previously investigated cases, we registered a sharp increase of the magnetic field gradient with its decrease directly before the flare and a significant increase of microwave emission before the first M-class flare in NOAA 12673. In NOAA 12674 it was not detected significant changes in the gradient of the magnetic field and microwave radiation. The distance between regions of opposite magnetic polarity decrease initially. Then it begins to increase. On the phase of its increasing the flares occurred. The increase of microwave emission may be interpreted as a result of development of neutral line associated source.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-15-18

Работа продолжает цикл работ авторов по выявлению признаков подготовки больших вспышек по микроволновому излучению и магнитографическим характеристикам активных областей (АО) Солнца [1–3, 9]. Подробная история проблемы и обзор современной литературы по данной теме приведены в [1], обзор последних работ авторов дан в [9].

В данной работе представлены результаты анализа микроволнового излучения и магнитографических характеристик АО NOAA 12673, в которой произошли 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 в рассматриваемой АО вспышечная активность было низкой. Начиная с 4 сентября, в АО начинается высокая вспышечная активность. Поэтому мы сделали акцент на изучении параметров АО перед первой вспышкой класса М, т.е. 3–4 сентября. В эти дни АО располагалась вблизи центрального

меридиана, что соответствует используемым нами критериям отбора АО для исследований [1]. Для сравнения мы также проанализировали развитую АО NOAA 12674, вспышечная активность которой была низкой.

Рис. 1.

В работе были использованы многоволновые спектрально-поляризационные наблюдения Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне 1.8–4.0 см с использованием многооктавного спектрально-поляризационного комплекса высокого разрешения [4] с регистрацией интенсивности (параметр Стокса I) и круговой поляризации (параметр Стокса V). Диаграмма направленности радиотелескопа имеет ножевую форму, и ее размер на волне 2 см составляет 17 угл. сек. по горизонтали и 13 угл. мин. по вертикали.

На рис. 1 приведены фрагменты одномерных сканов на нескольких волнах за 3 и 4 сентября для АО NOAA 12673 и 12674 в интенсивности (сплошные линии) и на волне 2.35 см в круговой поляризации (штриховые линии). Сканы наложены на изображения АО в континууме и магнитограммы, полученные на космической обсерватории SDO/HMI. 3 и 4 сентября структура микроволнового источника АО 12674 остается неизменной, в то время как в АО 12673 как в микроволновом излучении, так и в магнитном поле происходят существенные изменения. Отметим еще, что степень поляризации микроволнового источника, связанного с головным пятном АО 12674, на волне 2.35 см составляет около 100%. Степень поляризации источника, связанного с АО 12673, на той же волне не превышает 30%. АО 12673 имела компактную структуру, и ее невозможно разделить на компоненты. Поэтому мы измеряли интегральные потоки от всей АО. На рис. 3 приведены интегральные спектры микроволновых источников, связанных с обеими АО.

Магнитографический анализ выполнялся по данным SDO/HMI по методике, описанной в [8]. Вычислялись потоки магнитного поля, локальные горизонтальные градиента магнитного поля в различных частях АО, расстояние между областями максимальных магнитных полей противоположных полярностей, суммарный градиент и положение максимального градиента. Основное отличие данной методики от многих других заключается в том, что метод основан на анализе не только магнитограмм, но и изобра-

жений в континууме, на которых на первом этапе выделяются контуры пятен, накладываемые потом на магнитограммы, что позволяет исключить из рассмотрения слабые поля.

Рис. 2.

На рис. 2 (слева) приведены результаты магнитографического анализа. Черными сплошными линиями показаны максимальные градиенты магнитного поля для обеих АО, красной штриховой линией показано расстояние между областями максимальных магнитных полей противоположных полярностей для АО 12673. Вертикальными линиями отмечены моменты вспышек: синими тонкими линиями – вспышки класса М, красными более толстыми линиями – вспышки класса Х, зелеными линиями – вспышки класса С в АО 12674. Вертикальный размер линий пропорционален баллу вспышек. Справа приведены изображения обеих АО в континууме (4 сентября, 18:46 UT) и магнитограммы (5 сентября, 00:46 UT).

Подытожим основные наблюдательные факты: в АО NOAA 12673 примерно за день до первой вспышки класса М наблюдается резкий рост градиента магнитного поля с последующими его локальными падениями перед вспышками; расстояние между областями максимальных магнитных полей противоположных полярностей сначала уменьшается, а затем начинает увеличиваться одновременно с возрастанием вспышечной активности; одновременно с этим происходит увеличение примерно на порядок интенсивности микроволнового излучения АО; интегральный спектр микроволнового излучения становится более крутым; степень поляризации на волне 3 см 4 сентября уменьшается по сравнению с 3 сентября. В АО NOAA 12674, в которой не было заметной вспышечной активности, градиент магнитного поля и микроволновое излучение не испытывают существенных изменений.

Рис. 3.

Обнаруженные наблюдательные факты находятся в хорошем соответствии с ранее выявленными фактами по результатам исследования событий 2011–2015 гг. [9]. Аналогичный характер изменения расстояния между областями максимальных магнитных полей противоположных полярностей обнаружен и другими авторами [5] и может быть объяснен моделью магнитного жгута, зажатого между двумя сближающимися магнитными центрами (пятнами), согласно которой сначала сближение пятен обеспечивает накопление свободной магнитной энергии в жгуте, а затем, при расхождении пятен, в нем начинается вспышечное энерговыделение [6, 7]. Выявленные свойства микроволнового излучения (резкое возрастание интенсивности, увеличение наклона спектра, уменьшение степени поляризации на 3 см) позволяют предположить, что 4 сентября в АО развился NLS-источник [1], который может рассматриваться как предвестник больших вспышек.

Работа частично поддержана Программой 28 Президиума РАН.
А.Т. благодарит РФФИ за поддержку в рамках проекта 15-12-20001.

Литература

1. Abramov-Maximov V., Borovik V., Opeikina L., Tlatov A. // Solar. Phys., 2015, **290**, 53.
2. Abramov-Maximov V.E., Borovik V.N., Opeikina L.V., Tlatov A.G. // Geomagnetism and Aeronomy, 2015, **55**, № 8, 1097.
3. Abramov-Maximov V., Borovik V., Opeikina L., Tlatov A., Yasnov L. // Geomagnetism and Aeronomy, 2017, **57**, No. 8, 978.
4. Богод В.М., Алесин А.М., Перваков А.А. // Астрофиз. бюллетень, 2011, **66**, № 2, с. 223.
5. Korsos M.B. et al. // Journal of Astrophysics and Astronomy, 2015, 36, Issue 1, 111.
6. Solov'ev A.A., Murawski K. // Astrophysics and Space Science, 2014, **350**, No.1, 11.
7. Соловьев А.А., Курчечек Е.А. // Письма в АЖ, 2015, **41**, № 5, 234.
8. Tlatov A.G., Vasil'eva V.V., Makarova V.V., Otkidychev P.A. // Solar Phys. 2014, **289**, 1403.
9. Tlatov A.G., Abramov-Maximov V.E., Borovik V.N., Opeikina L.V. // Geomagnetism and Aeronomy, 2018, **58**, No. 8, 1087.