ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ФОТОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕК

Гопасюк О.С.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

FEATURE CHANGES OF THE PHOTOSPHERIC MAGNETIC FIELDS OF ACTIVE REGIONS DURING FLARES

Gopasyuk O.S.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

The physical state of matter at the base of the coronal hole at the level of the chromosphere was studied from observations in the H α and He I 10830 Å lines. The polar coronal hole was observed in the northern hemisphere in 2015–2017 during 24 Carrington rotations. Boundaries of the coronal hole were determined from observations in the 193 Å line. Intensities in the lines were expressed in units of the unperturbed Sun. For the He I 10830 Å line, the relative intensity of coronal holes varied within 1.0046–1.0355, for the H α line – within 0.9676–0.9753. Models of the chromosphere explaining the observed features are calculated. Models are built based on calculations of the He I and H α line profiles in the non-LTE approximation. The difference in the atmospheres of coronal holes and the quiet Sun begins at the level of the upper photosphere at $T > 4 \cdot 10^3$ K. Throughout the chromosphere, the temperature and density in the coronal hole is lower than in the undisturbed chromosphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-115-118

Введение

Во время мощных вспышек происходит существенное изменение фотосферного магнитного поля. Наблюдения показывают два вида изменений. Первый вид, это необратимые изменения измеренного магнитного поля от состояния перед вспышкой до состояния после вспышки. Такие изменения обычно наблюдаются в виде появления или исчезновения магнитного потока и рассматриваются как реальные изменения магнитного поля. Второй вид, изменения, происходящие только во время вспышки, "транзиенты" или "магнитные аномалии". При этом измеренные магнитные поля возобновляют свое предвспышечное состояние после события. В некоторых случаях магнитная аномалия принимает форму обращения знака, т. е. измеренные магнитные поля временно меняют свои полярности на противоположные.

Наблюдения и их анализ

Было выбрано четыре вспышки текущего 24-го солнечного цикла: 3 М- и 1 X-класса. Критерий отбора заключался в том, что во время каждого события в магнитном поле активной области должна была наблюдаться

временная инверсия полярности. В таблице 1 представлено описание дат, времени начала, максимума и окончания вспышки по данным GOES, ее рентгеновский и оптический класс, а также NOAA номер активной области в которой произошла вспышка.

Таблица 1.

Дата	Start, UT	Peak, UT	End, UT	Class	NOAA
10.05.2012	04:11	04:18	04:23	M5.7/2B	11476
04.07.2012	09:47	09:55	09:57	M5.3/2B	11515
10.03.2015	03:19	03:24	03:29	M5.1/2B	12297
11.03.2015	16:11	16:22	16:19	X2.1/2B	12297

Мы использовали магнитограммы продольного поля и изображения в континууме полного диска Солнца, полученные на HMI/SDO [1] во время вспышек с пространственным и временным разрешением $0''.5$ пиксел⁻¹ и 45 с, соответственно.

На рис. 1 показаны изображения в континууме (верхняя панель) активных областей в момент максимальной фазы каждой вспышки. Разностные изображения (рис. 1, нижняя панель) между магнитограммами в момент максимума и начала вспышки показывают области, в которых во время вспышки произошли существенные изменения (темные структуры). Прямоугольником отмечена область инверсии знака магнитного поля. Магнитные транзиенты наблюдались в тени пятен в сильных магнитных полях. В NOAA 11476 изменения произошли в пятне простой конфигурацией, в то время как в остальных активных областях это были пятна с δ -конфигурацией. Во время вспышки 10 марта 2015 года в NOAA 12297 инверсия магнитного поля наблюдалась одновременно в двух пятнах противоположной полярности.

Рис. 1.

Определение изменения продольного поля для каждого пиксельного временного ряда было проведено с помощью функции [2]:

$$B(t) = a + bt + c(1 + \frac{2}{\pi} \tan^{-1}(n(t - t_0))), \quad (1)$$

где t – время, a и b моделируют эволюцию фонового поля, c – 0.5 амплитуды шага, n – параметр обратного времени, связанный с наклоном шага, t_0 – время в середине шага. Магнитное поле в каждом пиксельном временном ряду было представлено уравнением (1). Согласно [2] амплитуда изменений магнитного поля определена как $\Delta B = 2c$.

Все дальнейшие исследования проводились в выбранных областях (рис. 1). В каждой магнитной аномалии были вычислены амплитуды изменений поля ΔB . Построены распределения количества изменений от модуля амплитуды изменений магнитного поля в аномалии. Распределения показали идентичный ход и были объединены. На рис. 2 показано общее для пяти аномалий распределение.

Рис. 2.

Самое слабое наблюдаемое изменение поля составило 36 Гс, самое сильное – 2608 Гс. Более 45% всех изменений превысило 500 Гс.

Среднеквадратичные значения напряженности магнитного поля $\langle B^2 \rangle^{1/2}$ в каждой магнитной аномалии как функции времени, вместе с соответствующими изменениями относительных интенсивностей I/I_0 в фотосферной линии и потока мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 Å, полученного на GOES-15, показаны на рис. 3. Ось времени выражена в минутах от времени начала вспышки по GOES минус 3 минуты. Напряженность поля постоянна с различными значениями до и после вспышки. Значительные изменения магнитного поля происходили только вблизи максимума рентгеновского излучения. После окончания вспышки магнитный поток восстанавливает свои предвспышечные значения. Скорость изменения магнитного поля в области магнитной аномалии менялась от 82 до 682 Гс мин⁻¹. Изменения сопровождались импульсным увеличением средней интенсивности до 17%. Транзиенты существовали несколько минут.

Рис. 3.

Заключение

Проведен анализ изменений продольного магнитного поля в течение 1 X- и 3 M- класса вспышек по данным HMI/SDO. Инверсия полярности магнитного поля наблюдалась в сильных магнитных полях во время вспышек. Получены следующие важные характеристики транзиевтов.

Структуры наблюдались в тени пятен и существовали в течение нескольких минут. Пятна имели как простую, так и δ -конфигурацию.

Обнаружены изменения магнитных полей в диапазоне от 36 до 2600 Гс. Необратимые изменения составили от 40 до 65%. Более 45% изменений поля имели амплитуду больше 500 Гс. Скорость изменения магнитного поля составила порядка сотен гауссов в минуту. Изменение магнитного поля в этих структурах сопровождалось сильным увеличением средней относительной интенсивности импульса (до 17%).

Существует хорошая корреляция между изменениями мягкого рентгеновского потока в диапазоне 1–8 Å, магнитного потока в аномалии и изменениями средней интенсивности в фотосферной линии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-02-00221 А.

Литература

1. Schou J. et al. // Solar Phys. 2012. V. 275. P. 229.
2. Sudol J.J., Harvey J.W. // Astrophys. J. 2005. V. 635. P. 647.