

УДК 523.98

Магнитные поля активных областей NOAA 11476 и NOAA 11515 во время вспышек

О.С. Гопасюк

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
olg@craocrimea.ru

Поступила в редакцию 15 ноября 2017 г.

Аннотация. По данным инструмента HMI/SDO проведены исследования магнитного поля активных областей NOAA 11476 и NOAA 11515. Во время максимальной фазы вспышек M5.7/2B (NOAA 11476) и M5.3/2B (NOAA 11515) в магнитном поле активных областей появились транзистентные структуры. Эти транзистенты располагались в тени пятен, существовали в течение нескольких минут и показали пространственное и временное соответствие ядрам вспышек, наблюдаемым в H_{α} . Мы исследуем эти особенности магнитного поля и их связь с различными аспектами вспышек.

MAGNETIC FIELDS OF ACTIVE REGIONS NOAA 11476 AND NOAA 11515 DURING FLARES, *by O.S. Gopasyuk*. We investigate the magnetic fields of active regions NOAA 11476 and NOAA 11515 using the HMI/SDO data. The transient features appeared in the magnetic fields of active regions during the peak phase of the M5.7/2B (NOAA 11476) and M5.3/2B (NOAA 11515) flares. These transients were located in the sunspot umbrae and existed for a few minutes. The transient features showed spatial and temporal correspondence with the H_{α} flare kernels. We examine these features and their relationship with various aspects of the flares.

Ключевые слова: Солнце, фотосфера, магнитные поля, вспышки

1 Введение

Во время мощных вспышек X- и M-класса происходят значительные изменения фотосферного магнитного поля (Ванг, 1992; Ванг и др., 1994; Косовичев, Жаркова, 2001; Судол, Харви, 2005; Маура и др., 2012; Бурцева и др., 2015). Наблюдения показывают два вида изменений магнитного поля во время вспышек. Первый вид – это необратимые изменения измеренного магнитного поля от состояния перед вспышкой до состояния после вспышки. Обычно наблюдаются в виде появления или исчезновения потока и рассматриваются как реальные изменения магнитного поля. Второй вид – “транзистенты” – наблюдаются только во время вспышек, 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.

В данной работе мы исследуем транзистентные структуры магнитного поля двух активных областей и связь этих структур с различными аспектами вспышек.

2 Данные наблюдения и их анализ

Были использованы данные космических инструментов HMI (Шоу и др., 2012), установленного на борту SDO, и инструмента GOES, а также данные наземных солнечных обсерваторий Концельхое (KCO), Удайпур (UCO) и Мауна Лоа (MCO).

HMI/SDO получает магнитограммы и изображения в континууме полного диска Солнца в фотосферной линии поглощения Fe I 6173.3 Å с пространственным и временным разрешением $0.5''$ пиксель⁻¹ и 45 с соответственно. Магнитограммы и изображения в континууме активных областей были получены на HMI/SDO 10 мая 2012 г. во время вспышки M5.7/2B (NOAA 11476) и 4 июля 2012 г. во время вспышки M5.3/2B (NOAA 11515).

Для определения местоположения вспышек были использованы наземные хромосферные H α -наблюдения, полученные на KCO, а также данные обсерваторий UCO и MCO, входящих в сеть GONG. Пространственное разрешение этих данных $1''$ пиксель⁻¹.

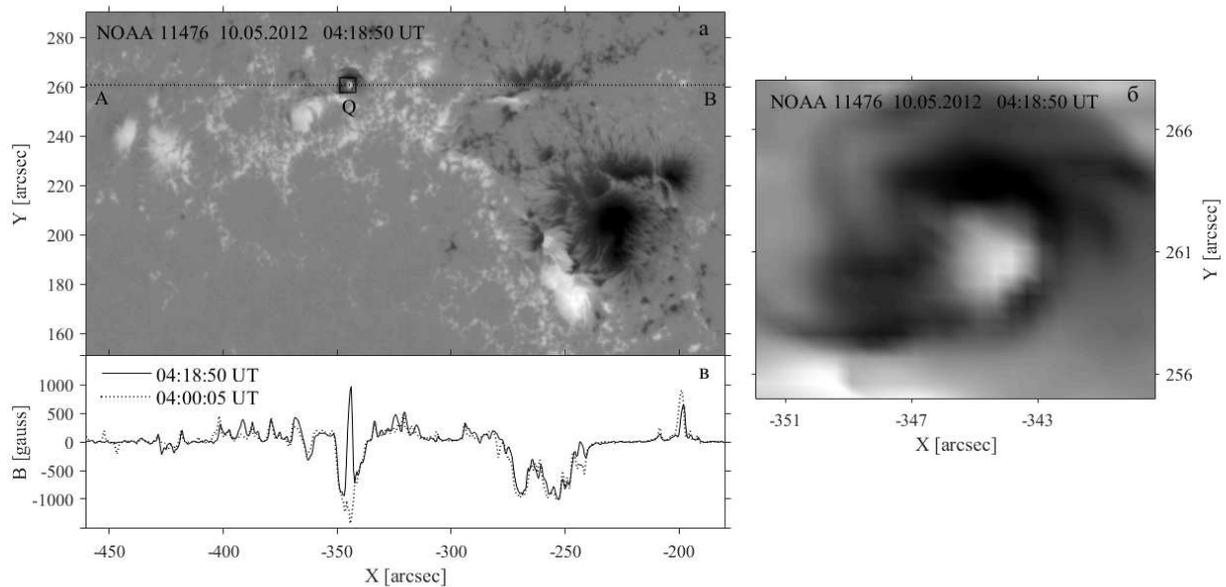


Рис. 1. (а) – Магнитограмма активной области NOAA 11476, полученная на HMI/SDO 10 мая 2012 г. во время максимальной фазы вспышки M5.7/2B. Прямоугольником “Q” выделена область, в которой во время максимальной фазы вспышки наблюдалась инверсия знака магнитного поля. (б) – в увеличенном масштабе магнитограмма области “Q”. (в) – магнитный поток вдоль линии АВ перед вспышкой (пунктирная кривая) и во время максимальной фазы вспышки (сплошная кривая). Белые/черные области в магнитограммах представляют положительные/отрицательные полярности

За время прохождения по диску Солнца активные области (АО) NOAA 11476 и NOAA 11515 показали высокую вспышечную активность. 10 мая 2012 г. в NOAA 11476 произошло 17 вспышек C- и M-класса. Активная область находилась в южном полушарии и на момент вспышки M5.7/2B была вблизи центрального меридиана на долготе E22. В NOAA 11515 4 июля 2012 г. произошло 15 вспышек C- и M-класса. АО находилась в северном полушарии, во время вспышки M5.3/2B она была в западном полушарии на долготе W18.

На рис. 1а и рис. 2а представлены магнитограммы активных областей NOAA 11476 и NOAA 11515 во время максимальной фазы вспышек M5.7/2B и M5.3/2B соответственно. Прямоугольником выделены области “Q”, в которых в момент максимальной фазы вспышек наблюдалась

аномалия магнитного поля. На рис. 1б и рис. 2б область магнитной аномалии “Q” представлена в более крупном масштабе. Магнитные аномалии в обеих активных областях появились в тени пятен. В сильных магнитных полях отрицательной полярности возникли области положительной полярности. В NOAA 11476 аномалия наблюдалась в тени пятна простой конфигурации, в то время как в NOAA 11515 пятно было дельта-конфигурации. Для обеих активных областей был исследован маг-

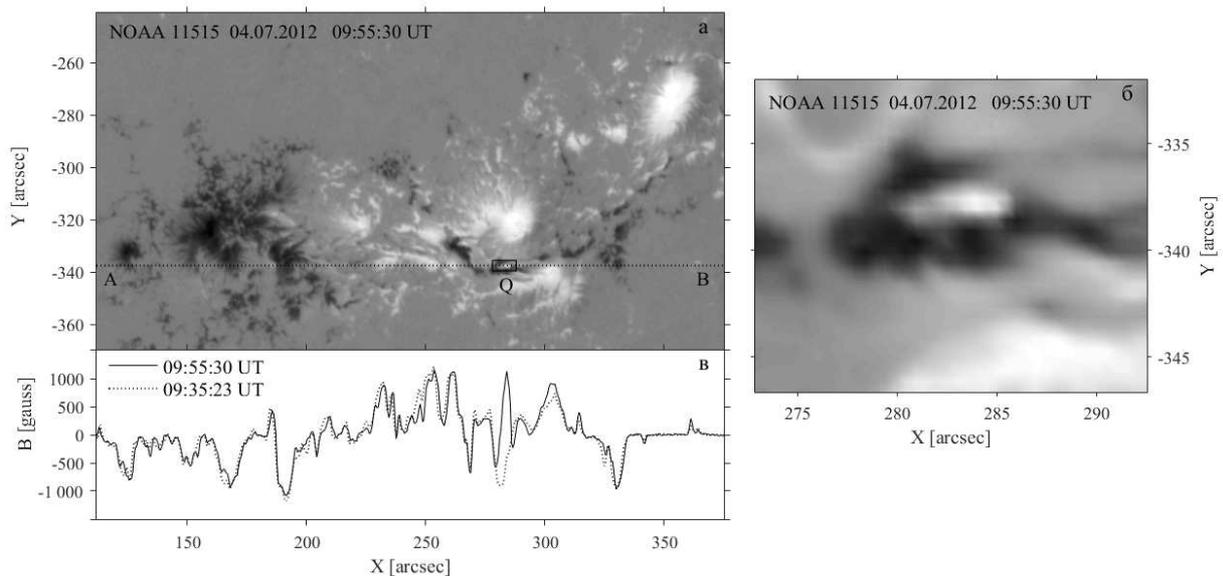


Рис. 2. (а) – Магнитограмма активной области NOAA 11515, полученная на HMI/SDO 4 июля 2012 г. во время максимальной фазы вспышки M5.3/2B. Прямоугольником “Q” выделена область, в которой во время максимальной фазы вспышки наблюдалась инверсия знака магнитного поля. (б) – в увеличенном масштабе магнитограмма области “Q”. (в) – магнитный поток вдоль линии АВ перед вспышкой (пунктирная кривая) и во время максимальной фазы вспышки (сплошная кривая). Белые/черные области в магнитограммах представляют положительные/отрицательные полярности

нитный поток вдоль горизонтальной линии АВ, проведенной через область “Q”, до вспышки и во время максимальной фазы вспышки. Профили магнитного потока вдоль линии АВ в области “Q” для NOAA 11476 и NOAA 11515 показаны на рис. 1в и рис. 2в, где пунктирная и сплошная кривые представляют магнитный поток до вспышки и во время ее максимальной фазы соответственно. Профиль магнитного потока в предвспышечной и максимальной фазах совпали во всех точках вдоль АВ, за исключением области аномалии “Q”. В обоих случаях в области аномалии напряженность магнитного поля менялась примерно от -1000 Гс (в момент до вспышки) до $+1000$ Гс (во время максимальной фазы вспышки).

Для исследования вариаций со временем магнитного потока аномалии были построены пространственно-временные карты магнитного поля вдоль АВ. Такие же пространственно-временные карты были построены для изображений АО в линии H_{α} . На рис. 3 представлены пространственно-временные карты магнитного поля области “Q” вдоль линии АВ с соответствующими H_{α} вспышечными интенсивностями. Эти карты показывают четкую структуру магнитных транзиентов. В обеих активных областях магнитная аномалия располагалась в узлах вспышек и не меняла местоположение в течение всего времени своего существования. Отметим, что площадь, занимаемая магнитной аномалией, существенно меньше площади узла вспышки в H_{α} .

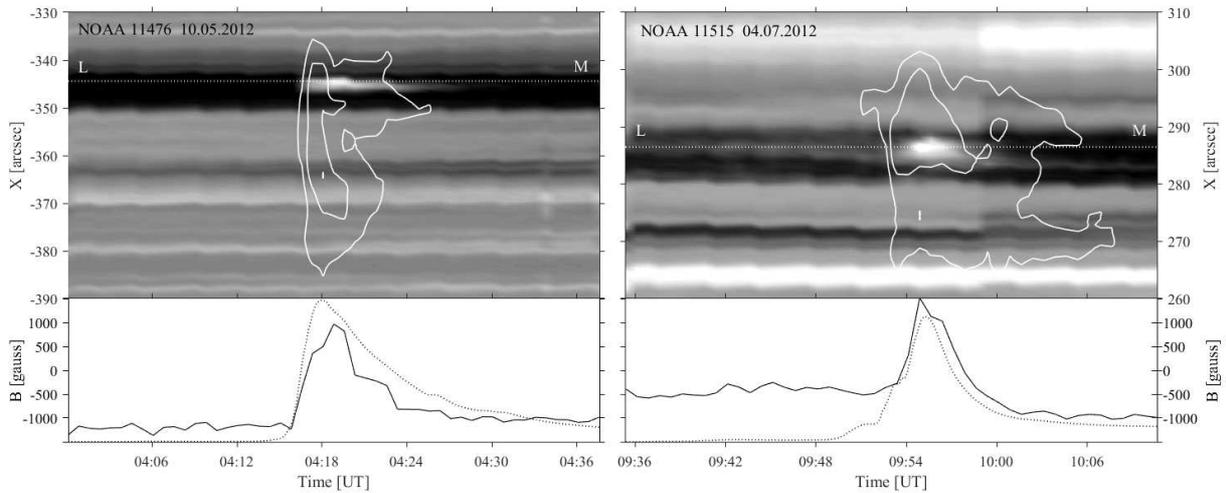


Рис. 3. Пространственно-временные карты магнитного потока в области “Q” NOAA 11476 (верхняя панель, слева) и NOAA 11515 (верхняя панель, справа) вдоль линии АВ (рис. 1а и рис. 2а) с соответствующими H_{α} вспышечными интенсивностями (белые сплошные кривые). На нижних панелях показаны профили магнитного потока вдоль линии LM (сплошная кривая) и интегрального потока излучения в мягком рентгене по данным GOES-15 в диапазоне 1.0–8.0 Å (пунктирная кривая)

На нижней панели рис. 3 показаны временные изменения магнитного потока вдоль линии LM и потока мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 Å, полученного на GOES-15. В обоих случаях рентгеновское излучение начинает расти на 1–2 минуты раньше магнитного потока. Максимум напряженности поля в магнитной аномалии NOAA 11476 наступает на 2 минуты позже максимума рентгеновского излучения. В NOAA 11515 напряженность в магнитной аномалии достигает своего максимального значения практически одновременно с максимумом рентгеновского излучения.

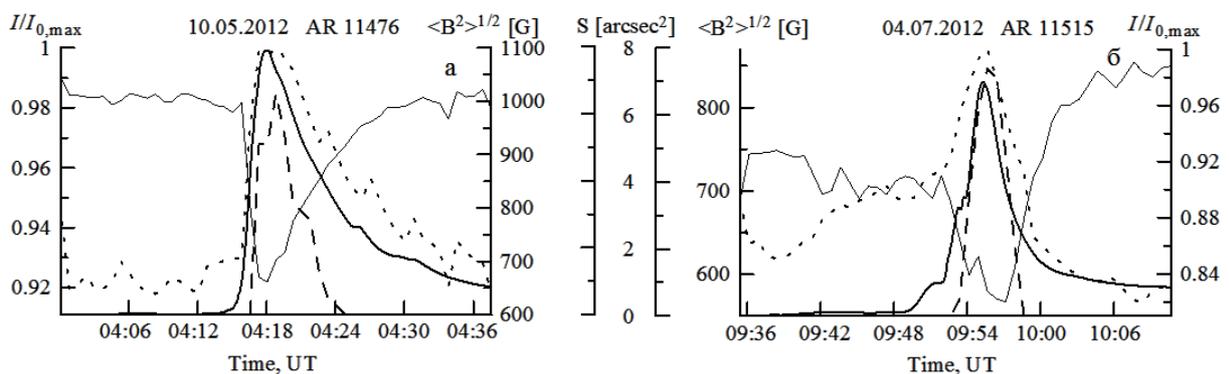


Рис. 4. Временные вариации в области “Q” активных областей NOAA 11476 (а) и NOAA 11515 (б) rms магнитного поля, $\langle B^2 \rangle^{1/2}$ (тонкая сплошная кривая), средней относительной интенсивности в континууме, $I/I_{0,max}$ (пунктирная кривая), площади магнитной аномалии S (штриховая кривая) и интегрального потока мягкого рентгеновского излучения по GOES-15 (жирная сплошная кривая)

Для обеих АО были определены некоторые характеристики магнитной аномалии. На рис. 4 показаны изменения со временем средней квадратичной плотности магнитного потока $\langle B^2 \rangle^{1/2}$, площади магнитной аномалии S , средней относительной интенсивности в линии Fe I 6173.3 Å $I/I_{0,\max}$ и потока мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 Å. Все кривые хорошо коррелируют между собой. Изменение магнитного поля в обеих АО сопровождалось сильным импульсным увеличением средней относительной интенсивности. Так, для NOAA 11476 увеличение составило 8 %, а для NOAA 11515 – 17 %.

В NOAA 11476 магнитная аномалия существовала 8 минут. Максимальная площадь аномалии составила 7 квадратных секунд дуги. В NOAA 11515 транзитная структура наблюдалась в течение 6 минут. Ее максимальная площадь составила также 7 квадратных секунд дуги.

3 Выводы

По данным инструмента HMI/SDO проведены исследования магнитного поля активных областей NOAA 11476 и NOAA 11515. Во время максимальной фазы вспышек M5.7/2B (NOAA 11476, 10 мая 2012 г.) и M5.3/2B (NOAA 11515, 4 июля 2012 г.) в магнитном поле обеих активных областей появились транзитные структуры. Этот феномен до сих пор не совсем понятен, остаются вопросы относительно физического механизма возникновения таких структур. Они могут иметь чисто инструментальную природу и быть вызваны изменением профиля спектральной линии вследствие бомбардировки фотосферной плазмы ускоренными электронами (Дин и др., 2002). В то же время это предположение не подтверждается расчетами Косовичева и Жарковой (2001).

Нами были получены следующие характеристики наблюдаемых магнитных аномалий. В сильных магнитных полях отрицательной полярности возникли области сильных полей положительной полярности. Напряженности магнитного поля менялись от –1000 Гс в предвспышечный момент до +1000 Гс во время максимальной фазы вспышек. Между изменениями потока мягкого рентгена в диапазоне 1–8 Å, магнитного потока в аномалии, ее площади и изменениями средней относительной интенсивности в фотосферной линии наблюдается хорошая корреляция. Изменение магнитного поля в транзитных структурах сопровождалось сильным импульсным увеличением средней относительной интенсивности (до 17 %). Эти структуры располагались в тени пятен, существовали в течение 6–8 минут и показали пространственное и временное соответствие ядрам вспышек, наблюдаемым в H_α . В обоих случаях площадь, занимаемая аномалиями, составила примерно 7 квадратных секунд дуги, что существенно меньше площади узла H_α -вспышки.

Аномальное изменение знака магнитной полярности во время мощных вспышек наблюдалось и по данным инструментов GONG и MDI, которые в своих измерениях используют линию Ni I (см. например, Косовичев, Жаркова, 2001; Маура, Амбастха, 2009), тогда как данные HMI для вспышек M5.7 и M5.3, исследованные в этой статье, основаны на измерениях в линии Fe I. Таким образом, транзитные структуры, возникающие во время максимальной фазы вспышек, по-видимому, не связаны с линией и инструментом, используемыми в измерениях. Следовательно, наблюдаемые магнитные транзиты можно рассматривать как наблюдательные характеристики физических процессов, происходящих в фотосфере активных областей во время максимальной фазы вспышки.

Благодарности. Эта работа использует данные GONG NSO под управлением AURA в соответствии с соглашением о сотрудничестве с NSF и при дополнительной финансовой поддержке NOAA, NASA и BBC США. Автор благодарен научной команде NASA/SDO и HMI за возможность доступа к базам данных по сети Интернет. Данные о мягких рентгеновских потоках GOES доступны в NASA/GSFC Solar Data Analysis Center (SDAC). Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 16-02-00221 А.

Литература

- Бурцева и др. (Burtseva O., Martínez-Oliveros J.C., Petrie G.J.D., Pevtsov A.A.) // *Astrophys. J.* 2015. V. 806. P. 173.
Ванг (Wang H.) // *Solar Phys.* 1992. V. 140. P. 85.
Ванг и др. (Wang H., Ewell Jr.M.W., Zirin H., Ai G.) // *Astrophys. J.* 1994. V. 424. P. 436.

- Дин и др. (Ding M.D., Qiu J., Wang H.) // *Astrophys. J.* 2002 V. 576. L. 83.
- Косовичев, Жаркова (Kosovichev A.G., Zharkova V.V.) // *Astrophys. J.* 2001. V. 550. P. L105.
- Маура, Амбастха (Maurya R.A., Ambastha A.) // *Solar Phys.* 2009. V. 258. P. 31.
- Маура и др. (Maurya R.A., Vemareddy P., Ambastha A.) // *Astrophys. J.* 2012. V. 747. P. 134.
- Судол, Харви (Sudol J.J., Harvey J.W.) // *Astrophys. J.* 2005. V. 635. P. 647.
- Шоу и др. (Schou J., Scherrer P.H., Bush R.I., et al.) // *Solar Phys.* 2012. V. 275. P. 229.