ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ С ВЗРЫВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.²

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, Троицк, Россия*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

INVESTIGATION OF THE MAGNETIC PROPERTIES OF SUNSPOTS IN ACTIVE REGIONS WITH EXPLOSIVE PROCESSES

Zagainova Yu.S.¹, Fainshtein V.G.²

¹*N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,
RAS, Moscow, Troitsk, Russia*

²*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia*

We continue our series of papers studying the effect of explosive processes (EP) in solar active regions (AR) on the magnetic characteristics of umbrae (EP are solar flares with no coronal mass ejections (CME) formed or CMEs formed in AR). Earlier, the focus was on examining the influence of EPs on the behaviour of the minimum angle α in the umbra, between magnetic field direction and the radial direction from the solar centre, ($\alpha_{\min}$), and the mean angle α in the umbra, $\langle\alpha\rangle$. This paper discusses the influence of EPs on the maximum, $B_{\max}$, and mean value, $\langle B \rangle$, of magnetic induction in the umbra. Moreover, we attempt to find which EP factor (flare or CME) has a higher effect on the magnetic properties of the umbra.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-127-130

1. Введение

Магнитное поле в тени солнечных пятен подвержено вариациям на различных масштабах времени [1, 2]. В ряде работ исследовались колебания магнитного поля в пятнах с периодами от нескольких минут до более 10 часов (о долгопериодических колебаниях см. [3]). При этом до последнего времени не было исследований, направленных на выяснение влияния взрывных процессов (ВП – вспышек, формирования корональных выбросов массы (КВМ)) в активных областях (АО) на магнитные свойства тени солнечных пятен в них. Мы решили восполнить этот пробел, опубликовав первые результаты исследования на эту тему в статьях [4, 5]. Наиболее подробная работа [5] посвящена изучению влияния ВП на минимальный $\alpha_{\min}$ и средний $\langle\alpha\rangle$ угол наклона вектора магнитной индукции к радиальному направлению из центра Солнца в пределах тени солнечного пятна. В данной работе добавлены результаты исследования влияния ВП на характеристики магнитного поля в пределах тени пятна – $B_{\max}$ (максимум магнитной индукции) и $\langle B \rangle$ – среднее значение магнитной индукции. Кроме этого, попытались выяснить относительную роль во влиянии на магнитные свойства тени пятна отдельно вспышек и КВМ.

2. Данные, методы их обработки и подходы к анализу результатов

В работе исследованы и сопоставлены влияния ВП на вариации углов $\alpha_{\min}$ и $\langle\alpha\rangle$, а также $V_{\max}$ и $\langle V \rangle$ в тени солнечных пятен в следующих событиях: (1) в АО NOAA 11429, в которой сформировался быстрый KBM (т.е. его линейная проекционная скорость $V_{\text{lin}} \geq 1300$ км/с) и была зарегистрирована мощная солнечная вспышка рентгеновского балла X5.4; (2) в АО NOAA 11563, в которой сформировался быстрый KBM и произошла слабая вспышка балла C8.1; (3) в АО NOAA 12192, в которой произошла мощная вспышка балла X1.6 без формирования KBM; (4) в АО NOAA 11618 сформировался медленный KBM ($400 < V_{\text{lin}} \leq 600$ км/с) и возникла относительно сильная вспышка с баллом M3.5; (5) в АО NOAA 12146 сформировался медленный KBM и произошла слабая вспышка баллом C2.2; (6) в АО NOAA 12686, где не были зарегистрированы, ни KBM, и связанная с ним солнечная вспышка. Мы анализировали вариации характеристик магнитного поля в тени солнечных пятен в течение 6 часов до начала вспышки и 6 часов после ее начала. Для события без вспышки и KBM аналогом момента начала вспышки была середина временного интервала длительностью 12 часов.

Характеристики магнитного поля в тени пятен находились с использованием векторных измерений фотосферного поля инструментом SDO/HMI. Угол наклона линий поля α находился с использованием соотношения: $\cos(\alpha) = |B_r|/B$. Здесь B_r – радиальная компонента поля. Величина B_r находилась с помощью соотношения, включающего измеряемые величины: модуль вектора магнитной индукции B , угол δ между направлением поля и лучом зрения (inclination) и азимут – угол ψ , измеряемый в плоскости неба против часовой стрелки между направлением столбцов массива ПЗС-матрицы и проекцией вектора поля на эту плоскость. Положение пятен в области эрупции определялись по изображениям Солнца, полученным в континууме инструментом SDO/HMI.

3. Результаты

Наш анализ показал, что ВП заметно влияют на изменение в тени пятен поведения $V_{\max}$ и $\langle V \rangle$ после начала вспышки. В отдельных пятнах могут наблюдаться резкие скачки параметров магнитного поля, смена слабого изменения $V_{\max}$ и $\langle V \rangle$ со временем до начала вспышки на длительные нарастание или уменьшение и др. Но, в отличие от $\alpha_{\min}$ и $\langle\alpha\rangle$, которые после начала ВП могут измениться в несколько раз, $V_{\max}$ и $\langle V \rangle$ изменяются не более чем на несколько десятков процентов. Оказалось, что характер изменения параметров поля и углов как до, так и после начала вспышки может существенно различаться. Наиболее существенно параметры $\alpha_{\min}$, $\langle\alpha\rangle$, $V_{\max}$ и $\langle V \rangle$ в тени пятен меняются во время события, связанного с

инициацией быстрого КВМ и мощной солнечной вспышкой. Вышесказанное иллюстрируют рисунки для некоторых рассмотренных событий.

Рис. 1. Иллюстрация влияния ВП на $\alpha_{\min}$ и $\langle\alpha\rangle$ (левая панель) и $B_{\max}$ и $\langle B\rangle$ (правая панель) в тени одного из пятен для события в АО NOAA 11429 (быстрый КВМ, мощная вспышка).

Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для события в АО в АО NOAA 12192 (сильная вспышка без формирования КВМ).

Рис. 3. То же, что на рис. 1, 2, но для события в АО NOAA 12686 (отсутствие ВП).

Из рис. 3 следует, что даже в отсутствие ВП углы и параметры поля демонстрируют заметные хаотические изменения со временем. Отметим, что характер изменения углов и параметров поля практически во всех пятнах АО существенно различается. Однако в тени отдельных пятен (см. рис. 1) можно наблюдать изменение характера поведения исследуемых параметров магнитного поля с момента начала ВП в АО.

Из приведенных рисунков видно, что на фоне хаотических изменений параметров магнитного поля можно выделить периоды колебаний этих параметров. Мы построили спектры мощности таких колебаний для каждой рассмотренной АО, определенным образом усреднив спектры мощности колебаний параметров поля для пятен в группе. Сравнение спектров мощности колебаний $B_{\max}$ для события без ВП и для события с мощной X-вспышкой показано на рис. 4. Видно, что в последнем случае спектр мощности обогащается в широком диапазоне частот, и, особенно – высокими частотами. Обогащение высокими частотами наблюдается и для события с быстрым КВМ и мощной X-вспышкой, но, преимущественно, это видно на спектре мощности колебаний $\alpha_{\min}$.

Рис. 4. Спектры мощности колебаний $B_{\max}$ для события без ВП (панель слева) и для события с мощной вспышкой без формирования КВМ (панель справа), где ALL означают спектры за весь период в 12 часов, BFL – период до начала ВП, AFL – после начала ВП.

Также были сопоставлены события с быстрым КВМ и мощной или слабой вспышкой, и с медленным КВМ с относительно сильной или слабой вспышкой. Оказалось, что быстрый КВМ со слабой вспышкой практически не влияет на поведение после начала вспышки углов наклона вектора магнитного поля, но заметно влияет на поведение $B_{\max}$ и $\langle B \rangle$, которые в большинстве рассмотренных пятен растут перед началом вспышки и выходят на плато или слабо уменьшаются после ее начала. В событиях с медленным КВМ и слабой вспышкой практически не удалось обнаружить влияние ВП на поведение углов и значений поля после начала вспышки.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16 и при частичной поддержке гранта РФФИ 20-02-00150.

Литература

1. Pen M.J., Livingston, W. // Ap. J., 2006, 649, L45.
2. Pevtsov A.A., Bertello L., Tlatov A.G., et al. // Solar Phys., 2014, 289, 593.
3. Griñón-Marín A.B., A. Pastor Yabar, H. Socas-Navarro et al. // A&A, 2020, 635, A64.
4. Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. // G&A., 2017, 57, 835.
5. Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G. // G&A., 2021 (в печати).