

ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕНИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ РАЗМЕРОВ И ПОЛОЖЕНИЯ

Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.², Руденко Г.В.²

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

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

INFLUENCE OF EXPLOSIVE PROCESSES IN ACTIVE REGIONS ON THE CHARACTERISTICS OF THE MAGNETIC FIELD IN THE UMBRA OF SUNSPOTS DEPENDING ON THEIR SIZE AND POSITION

Zagainova Iu.S.¹, Fainshtein V.G.², Rudenko G.V.²

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

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

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-115-118>

In a series of papers by the authors [1–3], it was shown that explosive processes (EPs) in active regions (flares, coronal mass ejections) can have a strong influence on the characteristics of the magnetic field in sunspot umbrae that are part of these active regions. The present work is the first of a planned series of papers that will investigate the various factors that determine the degree to which the magnetic field in sunspot umbrae is affected by EPs. Here, on the example of a single event, we tried to find out how sunspot square and the position of sunspots relative to the source of EP influence the intensity of the effect of EP on the magnetic field in sunspot umbrae.

1. Введение

В настоящее время надежно установлено, что взрывные процессы (ВП; вспышки и формирование корональных выбросов массы (КВМ)) в активных областях (АО) с пятенными группами на Солнце могут оказывать большое влияние на характеристики магнитного поля в тени солнечных пятен в этих АО [1-3], т.е. после начала ВП характеристики поля в отдельных пятнах могут существенно измениться. Установлено, что степень влияния ВП на характеристики поля в тени пятен различается в разных пятнах одной АО. А в некоторых пятнах такое влияние не обнаруживается вообще. Данная работа – наше первое исследование, направленное на выяснение факторов, определяющих степень воздействия ВП на параметры магнитного поля в тени солнечных пятен. На примере одного события мы попытались выяснить, какую роль в определении степени воздействия ВП на параметры поля в тени пятен могут играть (1) положение пятна относительно центра вспышки и (2) размер пятна.

2. Данные и методы их обработки и анализа

Анализировалось влияние ВП на характеристики магнитного поля в тени пятен во время события 04.08.2011 в АО NOAA 11261. ВП включал в себя вспышку рентгеновского балла M9.3 с началом 03:41UT и с координатами N19W36, а также корональный выброс массы (КВМ), впервые зарегистрированный в поле зрения коронографа LASCO C2 в 04:12:05UT и имевший линейную проекционную скорость $V_{lin} = 1315$ км/сек. В качестве характеристик магнитного поля в тени пятна использовались минимальный α_{min} и средний $\langle\alpha\rangle$ угол между вектором магнитного поля и положительной нормалью к поверхности Солнца, а также максимальное B_{max} и среднее $\langle B \rangle$ значение магнитной индукции в области тени пятен. В случае, когда вектор магнитной индукции направлен к Солнцу, $\alpha = 180^\circ - \alpha_{mes}$, где α_{mes} – измеренное значение угла α . Описание методов нахождения углов α_{min} и $\langle\alpha\rangle$ можно найти в наших работах [1–3]. Для нахождения свойств магнитного поля в тени пятен использовались векторные измерения инструментом SDO/HMI [4]. Для выяснения магнитной связи различных пятен проводились расчеты силовых линий поля с основаниями в тени выбранных пятен, используя специальную программу, опирающуюся на метод расчета магнитного поля в короне в потенциальном приближении, предложенный в работе [5]. Сведения о вспышках и связанных с ними КВМ взяты из Solar Monitor (<https://solarmonitor.org/>) и каталога «гало» – КВМ https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/HALO/halo.html. Анализировались и сравнивались вариации параметров магнитного поля в пределах трех часов до и после начала солнечной вспышки.

3. Результаты

Для каждого рассмотренного параметра магнитного поля в тени пятна и для всех выделенных пятен (мы отобрали для анализа 20 пятен, рис. 1) были рассчитаны относительные изменения этих параметров после начала вспышки в процентах (рис. 2). Солнечные пятна с условным номером 1, 2, 11, 12, 13, 14 и 19 (рис. 2b) условно отнесены как ближайшие к центру ВП. Площадь тени малых солнечных пятен S1, S11, S13, S14 и S19 не превышала 10 МДП. Центр вспышки на рис. 1 находился с использованием разных источников с точностью 10".

Относительное изменение параметра поля P_r находилось как отношение среднего изменения параметра после начала вспышки в пределах трех часов $\langle P_a \rangle$ к среднему изменению параметра до начала вспышки за аналогичный промежуток времени $\langle P_b \rangle$ и был выражен в процентах. На рис. 2 показаны пятна, для которых $P_r > 30\%$ (ячейки темного цвета с символами ++), и пятна, для которых $10\% < P_r < 30\%$ (ячейки с +).

Из рис. 2 видно, что наиболее сильное относительное изменение вследствие влияния на пятна ВП демонстрирует угол α_{min} и, в меньшей степени, $\langle\alpha\rangle$. Для α_{min} из 7 пятен, для которых $P_r > 30\%$, 4 пятна оказались

вблизи центра вспышки. Существенное относительное изменение параметров магнитного поля в связи с воздействием на пятна ВП ($10\% < P_r < 30\%$) чаще встречается для среднего магнитного поля $\langle B \rangle$. Отметим, что в пятнах S11 и S12, расположенных близко к источнику ВП, наблюдались изменения в разной степени во всех параметрах магнитного поля, а в пятне S14, также расположенном вблизи источника ВП, изменения наблюдались для всех параметров, кроме среднего угла. В пятне S11, ближе всего наблюдавшегося к источнику ВП по данным каталога «гало» – КВМ, выявлен наибольший отклик на ВП: изменение $\alpha_{\min}$ составило 67%. Приведем в качестве примера изменения параметров поля в пятне, расположенном вблизи источника ВП, изменение параметров в пятне S11 (см. рис. 3).

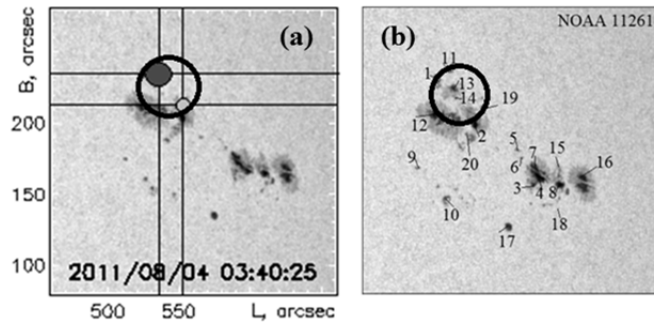


Рис. 1. (а) – изображение АО NOAA 11261 в континууме с выделенной областью с ВП (окружность) на диске Солнца с учетом области вспышки по данным каталогов гало-КВМ (круг большего диаметра) и Solar Monitor (круг меньшего диаметра); (б) – изображение анализируемых солнечных пятен с условной числовой нумерацией, где окружностью выделена область с ВП.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
$\alpha_{\min}$	++	+	+	++		+	+	++		++	++	+	+	++	+	+	+	+	++	+
$\langle \alpha \rangle$						++		++			+	+	+							
$B_{\max}$											+	+		+				+		
$\langle B \rangle$				+	+	+					+	+		+				+		+

Рис. 2. Относительное изменение параметров магнитного поля P_r в тени исследуемых солнечных пятен $> 30\%$ (++) и $> 10\%$ (+).

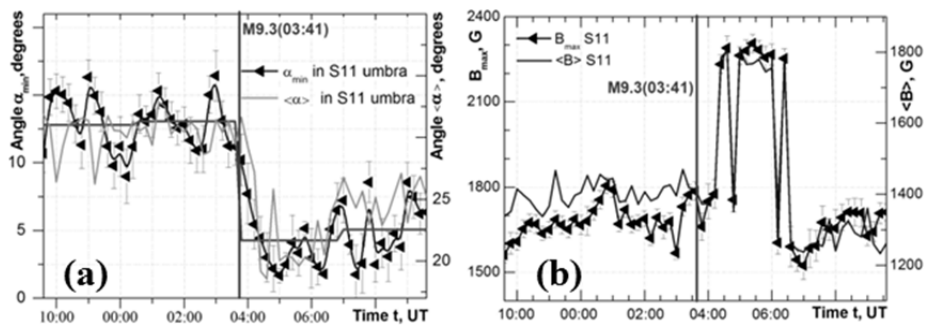


Рис. 3. Для пятна S11: (а) – изменение со временем $\alpha_{\min}$ и $\langle \alpha \rangle$ (горизонтальными жирными линиями показаны усредненные на временном интервале за каждые 3 ч от начала вспышки значения параметров поля), (б) – $B_{\max}$ и $\langle B \rangle$. Вертикальная линия отмечает начало солнечной вспышки.

Из 6 пятен вблизи источника ВП 4 пятна оказались пятнами малого размера – S1, S11, S14 и S19. Во всех этих пятнах изменение угла $\alpha_{\min}$ под воздействием ВП оказалось максимальным (т.е. $P_r > 30\%$). Таким образом, близость пятна к источнику ВП и малый размер пятен благоприятствуют более сильному воздействию ВП на изменение $\alpha_{\min}$. Для $B_{\max}$ из 4 пятен с относительно сильным воздействием ВП 3 пятна оказались вблизи источника ВП: S11, S12, S14.

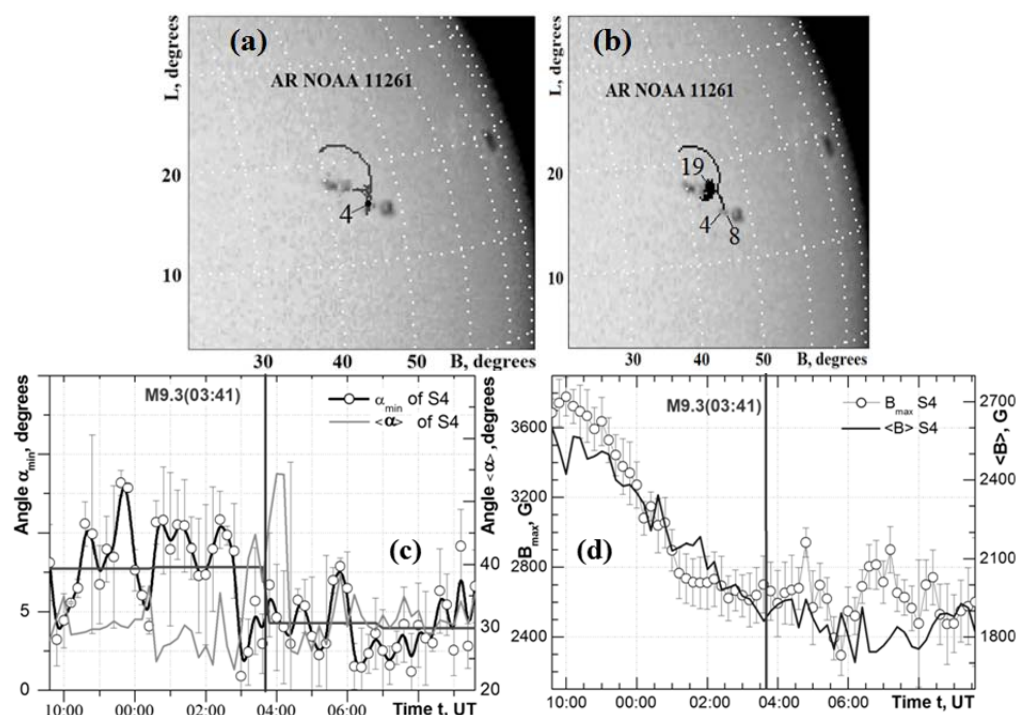


Рис. 4. Пример магнитно-связанных пятен S19, S8 и S8 (a,b), в которых зарегистрировано заметное влияние ВП на параметры поля; ниже изменение со временем $\alpha_{\min}$ и $\langle\alpha\rangle$ (c) и $B_{\max}$ и $\langle B\rangle$ (d).

Тем не менее, заметное воздействие ВП на характеристики поля было зарегистрировано в пятнах, как удаленных от источника ВП, так и в пятнах больших размеров. Мы предположили, что в некоторых случаях это может быть обусловлено наличием магнитной связи таких пятен с пятнами вблизи источника ВП. Пример магнитной связи с помощью силовых линий таких пятен показан на рис. 4. Пятно S4 связано с пятнами вблизи источника ВП S2, S20 и S19, и в тени этого пятна мы наблюдаем заметное воздействие ВП на магнитное поле, так, изменение $\alpha_{\min}$ составило 46%.

Литература

1. Zagainova Yu.S., V.G. Fainshtein, G.V. Rudenko, V.N. Obridko // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2017, v. 57, No. 7, p. 835-840.
2. Zagainova Yu.S., V.G. Fainshtein // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2021, v. 61, N. 7, p. 928–936.
3. Zagainova Yu.S. and V.G. Fainshtein // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2022, Vol. 62, No. 8, pp. 1034–1044.
4. Schou, J., Scherrer, P.H., Bush, R.I., et al. // *Sol. Phys.*, 2012, vol. 275, pp. 229–259.
5. Rudenko, G.V. // *Solar Phys.*, 2001, vol. 198, pp. 5–30.