

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЩНЫХ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ НА ХАРАКТЕР КОЛЕБАНИЙ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕНИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН, ФОРМИРУЮЩИХ ЭТИ ОБЛАСТИ

Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.²

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

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

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF POWERFUL EXPLOSIVE PROCESSES IN ACTIVE REGIONS ON THE CHARACTER OF OSCILLATIONS OF MAGNETIC FIELD PARAMETERS IN THE UMBRA OF SUNSPOTS, FORMING THESE AREAS

Zagainova Yu.S.¹, Fainshtein V.G.²

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

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

On the example of three events, the influence of powerful flares and fast coronal mass ejections (explosive processes) on the nature of oscillations in the sunspot shadow of the minimum angle of inclination of magnetic field lines $\alpha_{\min}$, the average angle $\langle \alpha \rangle$ within the sunspot shadow, and the maximum and average values of magnetic induction $B_{\max}$ and $\langle B \rangle$. The power spectra of oscillations of each parameter of the magnetic field were constructed in each spot of the studied AO, and, in general, for the entire AO. It has been found that the IP has a noticeable effect on the power spectrum of oscillations of the magnetic field parameters in the shadow of sunspots. It turned out that there are differences in the features of the oscillations of the field parameters depending on the power of the explosive process, characterized by the x-ray score of the flare. The results obtained are compared with the results for AO without EP.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-107-110

1. Введение

Магнитное поле в тени солнечных пятен весьма изменчиво со временем [1, 2]. Эта изменчивость носит сложный характер, но ее можно представить, как совокупность гармонических колебаний в широком диапазоне частот. 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 мало что известно о влиянии взрывных процессов (ВП) на колебания характеристик плазмы или магнитного поля в активных областях. Под ВП понимают солнечные вспышки, эрупции волокон, формирование корональных выбросов массы (КВМ). Авторы данной работы (см. также [2, 4, 5]), по-видимому, впервые начали проводить исследования влияния ВП на колебания параметров магнитного поля в тени пятен. Также отметим работу [6], где показано, что слабая вспышка служит модулятором 3-х и 5-ти минутных колебаний плазмы в активной области (АО). При этом амплитуда колебаний увеличивается под воздействием вспышки в несколько раз. В данной работе на примере трех событий ис-

следовалось влияние мощных ВП (мощных вспышек М-, Х- рентгеновского класса и быстрых КВМ) на характер колебаний в тени солнечных пятен нескольких характеристик магнитного поля.

2. Данные и методы их анализа

Исследовано влияние ВП на колебания: (1) – минимального угла между вектором магнитного поля и нормалью к поверхности Солнца $\alpha_{\min}$; (2) – среднего $\langle\alpha\rangle$ в пределах тени пятна угла α ; (3) – максимального и (4) – среднего в пределах тени пятна значения магнитной индукции $B_{\max}$ и $\langle B \rangle$ в следующих АО: NOAA 11261 04.08.2011, NOAA 11429 07.03.2012 и NOAA 12673 06.09.2017. Рентгеновские баллы вспышек в указанных АО по данным GOES составили M9.3, X5.4 и X9.3, а линейные проекционные скорости КВМ – 1315 км/с, 2684 км/с и 1571 км/с, соответственно. Для сравнения были проанализированы спектры мощности исследуемых параметров поля в АО NOAA 12686 28.10.2017 в отсутствие ВП в выделенный промежуток времени.

Мы анализировали вариации характеристик магнитного поля в тени солнечных пятен в течение 12 часов – промежуток времени, состоящий из 6 часов до начала вспышки и 6 часов после ее начала. Для события без ВП за момент начала вспышки взята середина временного интервала длительностью 12 часов. Характеристики магнитного поля в тени пятен находились по данным векторных измерений фотосферного поля инструментом SDO/HMI. Угол наклона линий поля α определялся с использованием соотношения: $\cos(\alpha) = |B_r|/B$, где B_r – радиальная компонента поля, которая находилась с помощью соотношения, включающего измеряемые HMI характеристики магнитного поля. Положение пятен в области эрупции определялись по изображениям Солнца в континууме инструментом HMI. В качестве характеристики колебаний магнитного поля использовался спектр мощности колебаний каждого анализируемого параметра поля в тени пятна, который получался с использованием Фурье-преобразований зависящих от времени функций, как для отдельных пятен, так и в целом, для всей АО, усредненный по всем пятнам группы. Также сравнивались спектры мощности до и после начала вспышки.

3. Результаты

Мы неоднократно показывали в наших статьях [2, 4, 5] примеры сильного воздействия ВП на поведение характеристик магнитного поля в тени солнечных пятен. В некоторых пятнах АО в начале вспышки происходит резкое изменение в несколько раз – скачок – $\alpha_{\min}$ и $\langle\alpha\rangle$, как в сторону увеличения этих параметров, так и в сторону уменьшения. Более чем на 500 Гс может резко измениться $B_{\max}$ и $\langle B \rangle$. Возможны и другие виды изменения углов и поля после начала вспышки. В то же время, есть немало пятен, поведение параметров поля в тени которых слабо меняется после начала вспышки. Поэтому представлял интерес изучить отдельно особенности спектров мощности колебаний каждого из параметров поля в тени пятен, как для всей АО, так и для отдельных пятен, в которых очень силен отклик поведения поля на ВП.

Основные полученные результаты можно сформулировать следующим образом:

(1) Спектры мощности колебаний АО для каждого рассмотренного параметра поля в тени солнечных пятен отобранных активных областей существенно различаются (примеры спектров мощности см. на рис. 1);

(2) Характеристики спектров мощности зависят от мощности ВП, которую мы охарактеризовали рентгеновским баллом солнечной вспышки (рис. 2). К таким характеристикам относятся: а) «ширина» спектра мощности df , определенная как частота самой удаленной от начала координат заметной по интенсивности спектральной линии (рис. 2e,f); б) максимум интенсивности спектра мощности A_{max} (рис. 2a-d); в) частота f_m , на которой наблюдается максимум интенсивности A_{max} спектра мощности АО (рис. 2g,h).

Характер связи указанных характеристик спектра мощности с рентгеновским баллом солнечной вспышки различается для разных параметров поля в тени солнечных пятен.

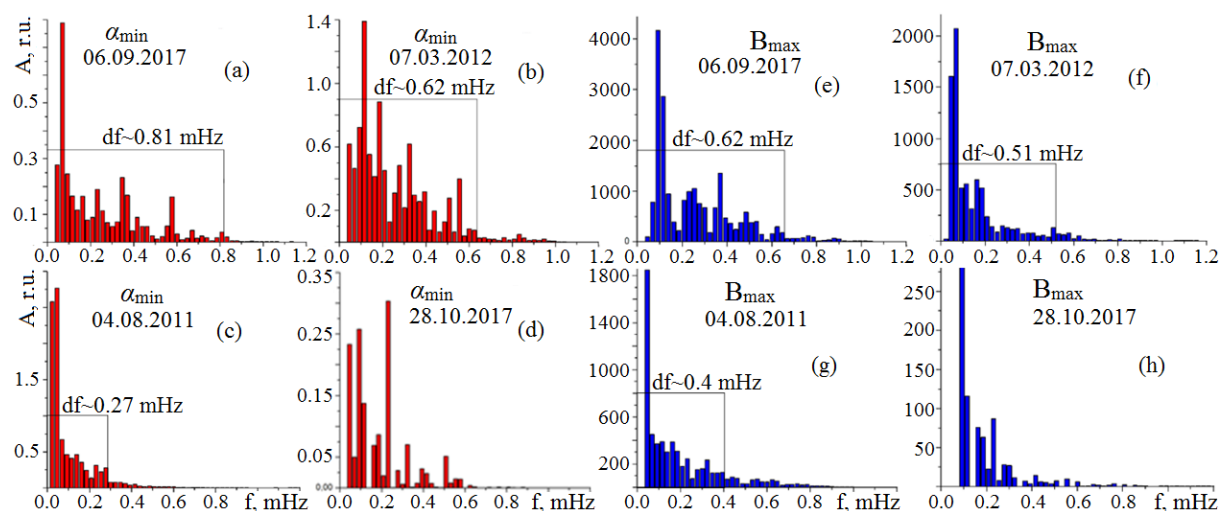


Рис. 1. Спектры мощности колебаний α_{min} (a–d) и B_{max} в тени пятен для всех рассмотренных АО (e–h).

Были также исследованы спектры мощности колебаний анализируемых характеристик магнитного поля в тени солнечных пятен в АО без ВП в течение 12 часов. Оказалось, что и в этом случае характеристики магнитного поля подвержены относительно мощным колебаниям, максимальная интенсивность которых может превышать A_{max} в спектре мощности колебания для события с самой слабой из рассмотренных вспышкой 04.08.2011. Предложен способ выделения и сравнения набора характерных гармоник для каждого спектра мощности колебаний. Выделялись частоты с максимальной интенсивностью, превышающей A_{max} в спектре мощности колебаний такого же параметра поля для события без ВП, частоты $f < df$ и $f > df$. Оказалось, что больше всего гармоник, превышающих по интенсивности A_{max} для события без ВП в спектре мощности для B_{max} 06.09.2017. Для спектра мощности колебаний α_{min} больше всего гармоник с интенсивностью, превышающей A_{max} в спектре мощности для события без ВП, оказалось в событии 07.03.2012. Следует также отметить, что для спектров мощности α_{min} и B_{max} с ростом балла вспышки появляются более высокие

гармоники, т.е. появляются дополнительные периоды колебаний. Мы также сравнили спектры мощности колебаний всех рассматриваемых параметров магнитного поля до и после начала солнечной вспышки. Анализ показал, что после начала вспышки спектр мощности заметно меняется. Это проявляется в значениях A_{max} , f_m и в общем виде спектра. Например, для события 06.09.2017 A_{max} для B_{max} и $\langle B \rangle$ увеличиваются после начала вспышки в несколько раз. Особенностью спектров мощности колебаний α_{min} и $\langle \alpha \rangle$ является, либо отсутствие изменения, либо уменьшение A_{max} , но при этом заметно увеличение следующих пиков интенсивности. Частота f_m для углов после начала вспышки заметно увеличивается.

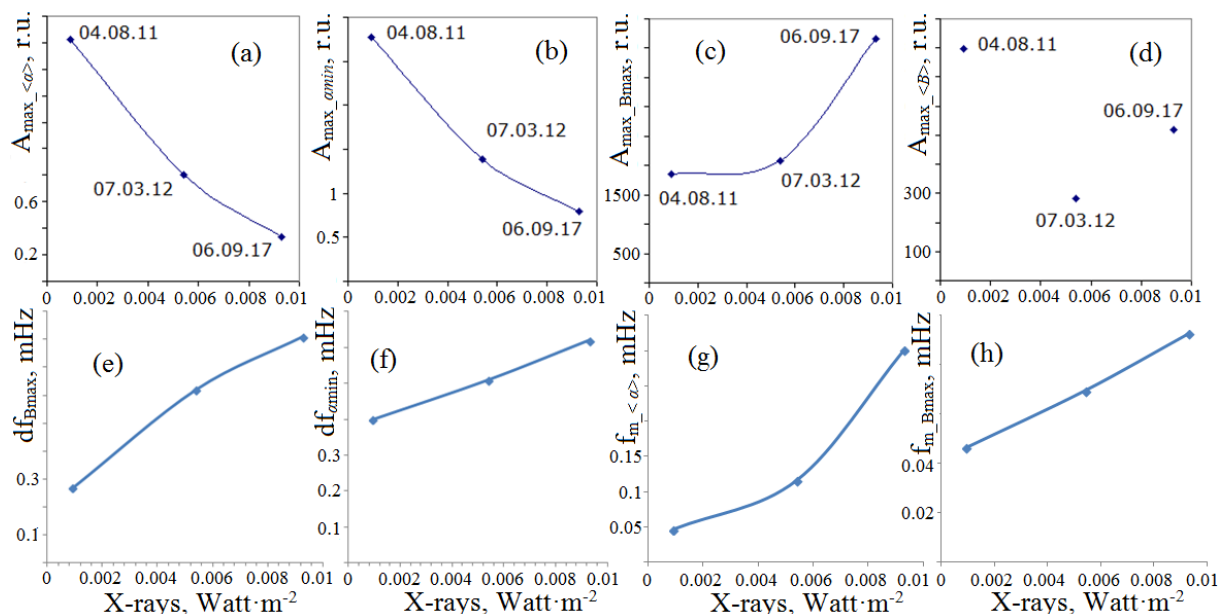


Рис. 2. Зависимость от интенсивности мягкого рентгеновского излучения из области вспышки: максимальной интенсивности спектра мощности A_{max} (а–с), ширины спектра мощности df (е,ф), частоты максимума интенсивности спектра мощности f_m (г,х). Для df и f_m показаны зависимости, которые оказались наиболее надежными.

Отметим, что полученные результаты являются предварительными и будут уточнены с увеличением количества рассмотренных событий. На примере только трех событий с ВП мы попытались выяснить, в какой степени ВП могут влиять на свойства колебаний параметров магнитного поля в тени солнечных пятен. Такое влияние обнаружено.

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

Литература

1. Pevtsov A. A., Bertello L., Tlatov A. G., et al. // Solar Phys., 2014, 289, 593.
2. Загайнова Ю. С., В.Г. Файнштейн, В.Н. Обридко, Г.В. Руденко // Астрономический Журнал, 2022, том 99, № 2, с. 100.
3. Griñón-Marín A. B., A. Pastor Yabar, H. Socas-Navarro et al. // A&A, 2020, 635, A64.
4. Zagaynova Yu. S. and V. G. Fainshtein // G&A, 2021, 61, No. 7, 928.
5. Zagaynova Yu. S. and V. G. Fainshtein // G&A, 2022, 62, No. 8 (в печати).
6. Chelpanov A. A. and N. I. Kobanov // Astronomy Reports, 2020, 64, No. 4, p. 363.