

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ №12673, СВЯЗАННЫЕ СО ВСПЫШКАМИ

Головко А.А., Салахутдинова И.И.

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

PECULIARITIES OF STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE ACTIVE REGION No.12673, RELATED TO FLARES

Golovko A.A., Salakhutdinova I.I.

Institute of Solar-Terrestrial Physics SD RAS, Irkutsk, Russia

The peculiarities of the flare-related structure and dynamics of the active region No:12573 by NOAA include the set of closely related in space and time processes. They are the following. Formation of the two main activity centers, where the intermittency of magnetic and velocity fields is enlarged in comparison with the ambient patches. Fast step-like drop of the unsigned magnetic flux during flares, with rate up to $4 \times 10^{18} \text{ Mx/s}$ in the flare X9.3 on September 6, 2017, on the background of the overall trend down with rate of 10^{17} Mx/s4 ; the amount of the drop correlates with the flare index. Change of pulsations regime after the flare X9.3.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-57-60

Наблюдения активной области № 12673, давшей с 6 по 10 сентября 2017 г. самые мощные солнечные вспышки 24-го солнечного цикла, на многих обсерваториях, предоставили много полезной информации. Она использована во многих исследованиях [1–10] и анализ ее продолжается, обещая дать новые подходы к построению физической модели вспышки.

Во вспышке X8.2 10.09.2017 обнаружена трансформация магнитной энергии в нетепловую энергию ускоренных электронов за интервал времени около 2 мин [8]. Получено также, что имело место однозначное уменьшение магнитного потока после каждой из рассмотренных вспышек балла X, что проявляется в структуре расчетных силовых линий как уменьшение их плотности или исчезновение отдельных сегментов системы шировых аркад [9]. Возникает вопрос, произошли ли быстрые (за время несколько минут) изменения фотосферного магнитного поля в активной области 12673 при вспышке? Какие проявляются особенности структуры и динамики магнитного поля в АО, однозначно связанные с процессом вспышки? В рамках этих задач, мы проанализировали большой объем данных, полученных с помощью магнитографов SOT Hinode [11] и HMI SDO [12].

Магнитограммы АО за 5–8 сентября 2017 г. были обработаны с использованием метода мультифрактальной сегментации в пакете FRACLAB, позволяющего выявить области увеличенной перемежаемости магнитного поля, обычно свойственной новому магнитного потоку [13–15]. Интервалы между моментами записи магнитограмм SOT Hinode со-

ставили полтора часа или более, в 4 случаях они записаны во время вспышек. Это дает возможность обнаружить некоторые особенности эволюции АО, отчетливо связанные со вспышками. Серии магнитограмм HMI SDO в быстрой моде получены с интервалом 45 с, что дало возможность проследить быстрые процессы в магнитном поле АО.

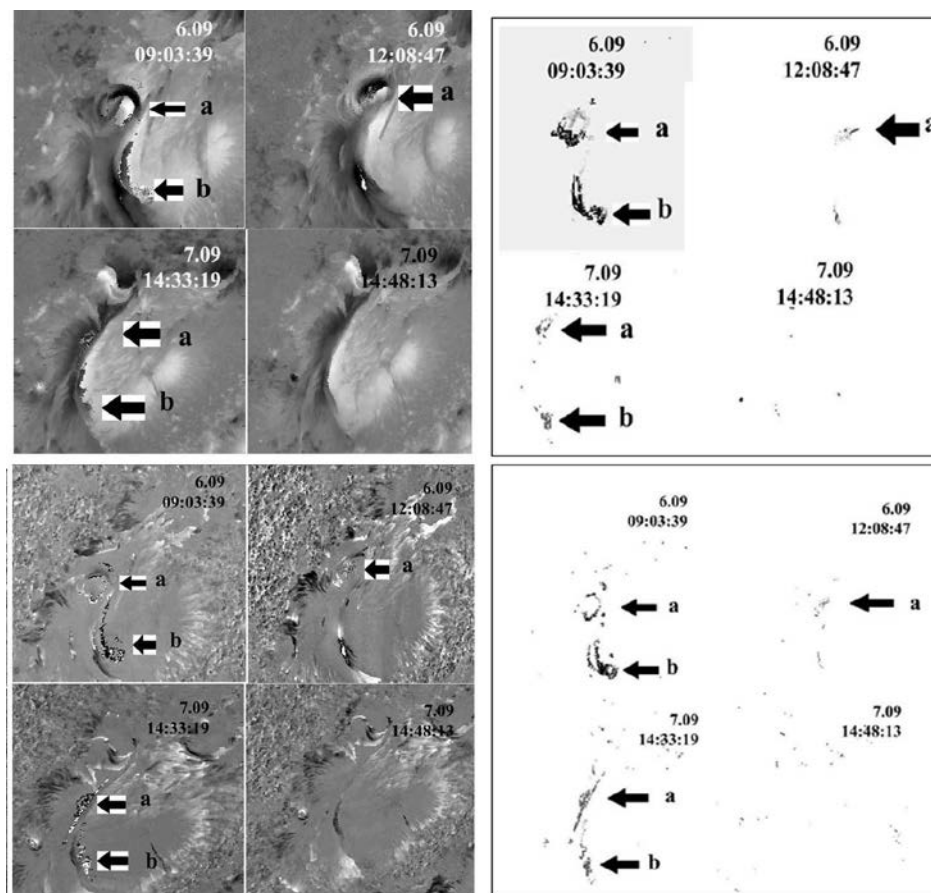


Рис. 1. Магнитограммы АО №12673 (верхняя левая часть) и карты лучевых скоростей (нижняя левая часть), полученные с помощью SOT Hinode. Справа – сегментированные мультифрактальные изображения для этих карт, на которых в виде темных площадок показаны выявленные участки с увеличенной перемежаемостью.

На рис. 1 показаны результаты обработки некоторых магнитограмм и карт лучевых скоростей. В АО на 6.09.2017 выявлены два центра активности **A** и **B**, в которых во время вспышек возрастает площадь участков с увеличенной перемежаемостью. Ее можно оценить статистически: коэффициент вариации в них достигает 94%, тогда как для соседних участков – 17%. Д. Раст [16] назвал подобные участки «'salt and pepper' pattern» и нашел их тесную корреляцию со вспышками. Роль МГД-турбулентности в создании условий для вспышек выявлена в работе [17], а модель быстрой диссипации магнитного поля в жгутах предложена в работе [18]. Центры активности **A** и **B** (рис. 1) идентифицированы как источники гелиосейсмических волн в работах [19, 20].

По сериям магнитограмм HMI SDO с каденцией 45 с рассчитаны интегральные параметры АО и величины максимальной магнитной индукции. Кривые за 6.09.2017 приведены на рис. 2.

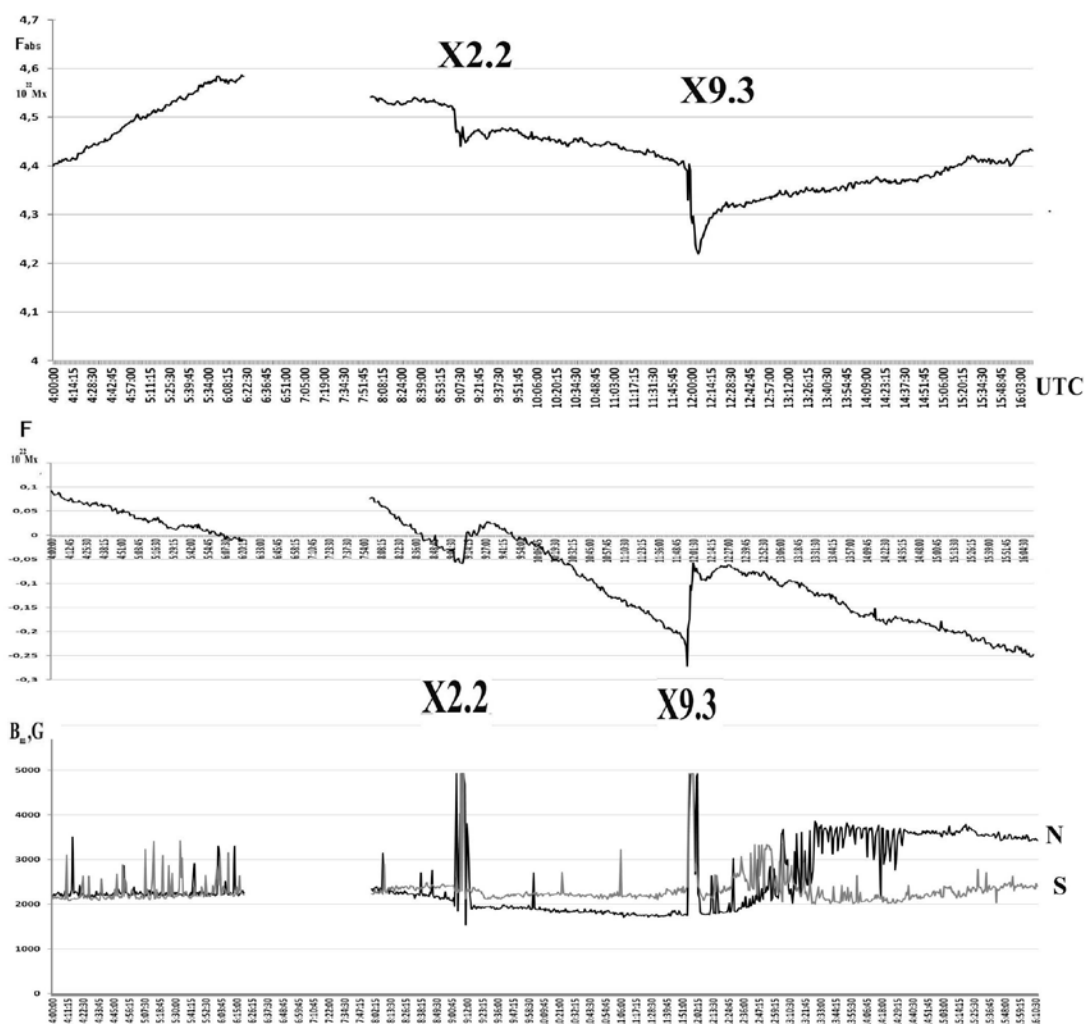


Рис. 2. Вариации беззнакового магнитного потока F_{abs} , суммарного со знаком магнитного потока (дисбаланса) F и значения максимальной магнитной индукции B_m (черная кривая – положительная полярность). Видно изменение режима пульсаций B_m .

Вариации беззнакового магнитного потока показывают его рост в интервале времени 4–6 час UT, что соответствует выходу нового магнитного потока [2], сменившегося затем трендом на его уменьшение со скоростью порядка 10^{17} Мкс, соответствующей типичной для таких АО быстрой эволюции, а вслед за этим – катастрофическим необратимым падением со скоростью до 4×10^{18} Мкс/с во вспышке X9.3. Это быстрое уменьшение произошло в основном за счет потока отрицательной полярности, и кривая дисбаланса потока показывает резкое его уменьшение в процессе вспышки. В других вспышках этой АО скорость была несколько меньшей, но гораздо выше эволюционной, а величина скачка потока показала тесную корреляцию (с коэффициентом 0,95) со вспышечным индексом, выражае-

мую линейным соотношением $SFI = 7633D - 130$, где **SFI** – вспышечный индекс в эрг/см², а **D** – величина скачка магнитного потока в 10²² Мкс.

Особенности структуры и динамики магнитного поля в АО 12673, связанные со вспышками, включают совокупность тесно коррелированных в пространстве и времени процессов. Они включают: формирование участков с увеличенной перемежаемостью магнитного поля и скорости, расширяющихся во время вспышек; ступенчатое быстрое падение беззнакового магнитного потока со скоростью до 4×10^{18} Мкс/с; смену режима пульсаций максимальной магнитной индукции, возникновение пульсаций с квазипериодом 4 мин после вспышки X9.3, произошедшей 6 сентября 2017 г.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект № 0278-2021-0008).

Литература

1. Sun X., and Norton A.A.: 2017, Res. Notes of the AAS, V.1.
2. Yang S., et al.: 2017, Astroph. Journ.Letters. **849**, L21.
3. Hou Y. J. et al.:2018, Astron. and Astroph.**619**, A100.
4. Zou P.,et al.: 2019, Astrophys. Journ. **870**, 97.
5. Zou P., et al. 2020, Astrophys. Journ. **890**, 10.
6. Inoue S., et al. 2018, Astroph. Journ. **867**, 83.
7. Anfinogentov S.A., et al. 2019, Astrophys. Journ. Lett. **880**, L29.
8. Fleishman G.D., et al. 2020, Science, **367**, 278.
9. Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Уралов А.М., Гречнев В.В. 2021, Солнечно-земная физика. **7**, №1, 3.
10. Головки А.А. 2021, Избранные проблемы астрономии, ИГУ, Иркутск, 79.
11. Kosugi T., et al. 2007, Solar Physics. **243**, 3.
12. Pesnell W.D., et al. 2012, Solar Physics. **275**, 3.
13. Князева И.С., Макаренко Н.Г., Лившиц М.А. 2011, Астрон. журн. **88**, №11,503.
14. Головки А.А., Салахутдинова И.И. 2015, Астрон. журн. **92**, №8, 650.
15. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. 2018, JASTP. **179**, 120.
16. Rust D.M. 1976, Solar Physics. **47**, 21.
17. Абраменко В.И. Астрон. журн. **80**, №2, 175.
18. Solov'ev A.A. 2022, MNRAS. **515**, 1981.
19. Sharykin S., and Kosovichev A.G. 2018, Astrophys. Journ. **864**, 86.
20. Zharkov S., et al. 2020, Astronomy and Astrophys. **639**, A78.