

УПРАВЛЯЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭВОЛЮЦИИ СОЛНЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Головко А.А.

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

GOVERNING PARAMETERS OF EVOLUTION OF SOLAR ACTIVE REGIONS

Golovko A.A.

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

Solar active regions can be regarded as complicated open dissipative systems. Their evolution is described by limited number of governing parameters. As such a parameters, the unsigned magnetic flux can be regarded as well as the imbalance of magnetic fluxes of positive and negative polarities. The changes of the imbalance at rate 10^{17} Mx/s can serve as a predictor of mighty flares.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-77-80>

Активные области (АО) на Солнце можно рассматривать как сложные диссипативные открытые системы, эволюция которых описывается ограниченным числом управляющих параметров. В качестве таких параметров, можно рассматривать общий суммарный беззнаковый магнитный поток F_{abs} и дисбаланс магнитных потоков положительной и отрицательной полярности $F = F_N - F_S$

Величина общего магнитного потока F_{abs} определяет масштаб и свойства активного образования. В работах [1, 2] выявлена главная последовательность регулярных магнитных структур «комплексы активности – большие АО – малые короткоживущие АО – эфемерные АО», для которой выполняется степенное соотношение

$$\lg F_{abs} = A + b \lg \tau, \quad (1)$$

где F_{abs} – магнитный поток, τ – время жизни, A и b – константы. Если выразить F_{abs} в максвеллах, а τ – в секундах, то $A = 14$, $b = 1,2$.

Логическим продолжением этих результатов стала работа [3], в которой рассмотрены оценки для всех, включая самые малые образования с магнитными потоками $10^{16} - 10^{18}$ Мкс, и таким образом соотношение (1) соблюдается в диапазоне пяти порядков величины.

Интерпретация степенного соотношения (1) может быть построена с учетом мультифрактальных свойств распределения фотосферного магнитного поля [4], в котором степенные соотношения выполняются.

Дисбаланс магнитных потоков N- и S-полярностей в активной области $F(t)$ является информативным параметром, отражающим состояние эволю-

ции активной области и степень связи ее магнитного поля с крупномасштабным магнитным полем.

Указания на связь этого параметра со вспышками содержатся в работе [5]. В работе [6] обнаружены быстрые изменения дисбаланса магнитного потока по одновременным наблюдениям в 1979 г. Иркутске и Онджейове, в активной области McMath16051 со скоростью до $1,65 \times 10^{17}$ Мкс/с.

В работе [7] были исследованы особенности магнитного поля и поля скоростей в АО 12673, давшей мощные вспышки 6–10 сентября 2017 г. При анализе данных применен микроканонический метод мультифрактального анализа, показавший свою эффективность при выявлении новых всплывающих магнитных потоков [8]. Использовались данные наблюдений фотосферного магнитного поля и доплеровских скоростей. Магнитное поле АО 12673 наблюдалось с помощью SOT Hinode в спектральных линиях FeI 6301,5 Å, 6302,5 Å [9]. Размер пикселя 0,15" или 0,3", уровень шума 15 G. Также использованы магнитограммы HMI SDO в линии FeI 6173 Å с диаметром пикселя 0,5" [10]

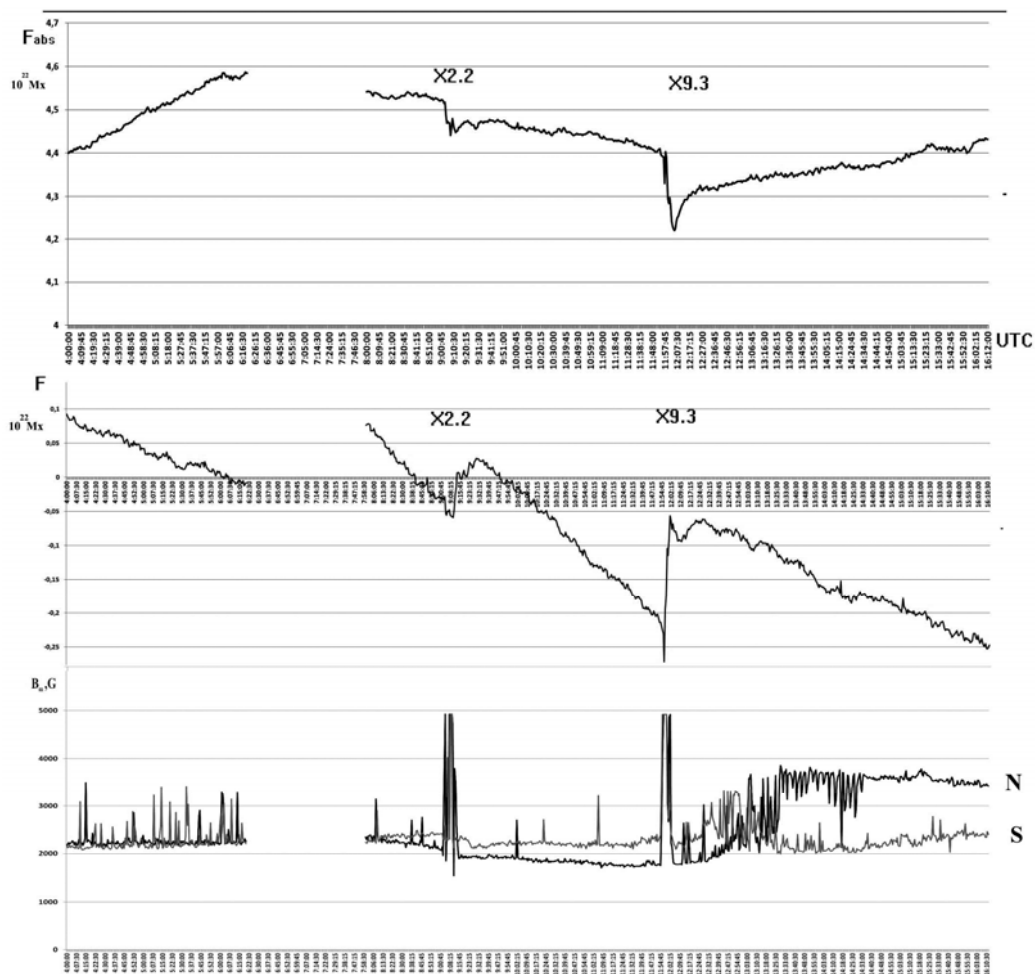


Рис. 1. Временной ход изменения беззнакового магнитного потока F_{abs} , дисбаланса магнитного потока F и максимальной индукции продольного магнитного поля B_m 6 сентября 2017 г. в АО 12673.

На рис. 1 видны изменения беззнакового магнитного потока АО F_{abs} : рост в период 4–6 час UT, а после лакуны в данных из-за вхождения аппарата SDO в лунную тень – быстрое падение со скоростью $1,6 \times 10^{17}$ Мкс/с, с двумя эпизодами ступенчатого, еще более быстрого, до 4×10^{18} Мкс/с, падения во время вспышек.

Дисбаланс магнитного потока F показывает очень быстрый рост в пользу отрицательной полярности, со скоростью до 10^{17} Мкс/с за полчаса до вспышки X2,2 и за три часа до вспышки X9,3. Это можно использовать в практике кратковременного прогноза мощных вспышек.

Последний факт можно подтвердить независимым методом, выявляющим структурные изменения в магнитном поле АО. Микроканонический метод мультифрактального анализа [11–13] позволяет выявить участки с сильной перемежаемостью в активной области. В них мультифрактальный спектр уширен, то есть, существует более обширный набор самоподобных структур. При просмотре фильмов, составленных из карт скоростей, видно, что в этих центрах наблюдаются мощные турбулентные движения.

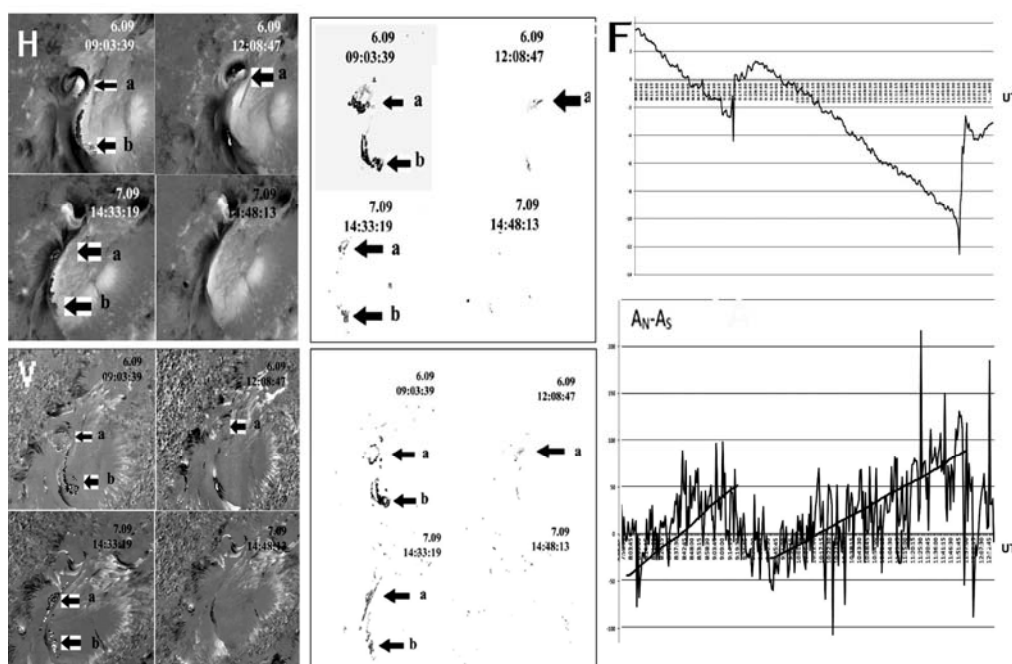


Рис. 2. Левая панель – карты продольного магнитного поля (H) и доплеровской скорости (V), а также сегментированные мультифрактальные изображения (справа). Участки перемежаемости **a** и **b** соответствуют основным центрам активности в указанное время. Правая панель – ход дисбаланса магнитного потока F (в 10^{21} Мкс), а также разности площадей (в квадратных пикселях) участков перемежаемости с разной полярностью $A_N - A_S$.

На рис. 2 приведены результаты такого анализа. Видно, что временной ход дисбаланса магнитного потока в пользу отрицательной полярности и ход разности площадей участков перемежаемости в поле той и другой

полярностей показывают синфазные изменения, что подтверждает информативность оценок дисбаланса F .

Возможная интерпретация связи изменения дисбаланса магнитного потока со вспышками опубликована в работе [6] со ссылкой на работу [14]. В рамках гипотезы о передаче энергии вспышки из глубины конвективной зоны, «магнитный ствол» несбалансированного магнитного потока, который проникает в глубокие слои, может рассматриваться как канал притока энергии из глубины. Тогда разрыв этого канала, означающий исчезновение дисбаланса магнитного потока, должен привести к прекращению поступления энергии для вспышек. Наблюдаемая последовательность явлений может оправдать такое заключение.

Выводы

Общий беззнаковый магнитный поток и дисбаланс магнитных потоков положительной и отрицательной полярностей могут служить управляющими параметрами эволюции солнечных активных областей.

Изменения дисбаланса магнитного потока со скоростью порядка 10^{17} Мкс/с могут служить в качестве предиктора мощных вспышек.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России (проект № 0278-2021-0008).

Литература

1. Головкин А.А. // Солнечные данные, 1986, № 4, 48.
2. Головкин А.А. // Астрон. журн., 1998, **75**, №4, 618.
3. Parnell C.E. et al. // Astrophys. Journ., 2009, **698**, 75.
4. Lawrence J.K., Ruzmaikin A.A., Cadavid A.C. // Astrophys. Journ., 1993, **417**, 805.
5. Зверева А.М., Северный А.Б. // Изв. КрАО, 1970, №41-42, 97.
6. Golovko A.A., Kotrc P. // Solar Physics., 1992, **142**, 67.
7. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. // Geomagnetism and Aeronomy, 2023, **63**, 975.
8. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. // JASTP, 2018, **179**, 120.
9. Kosugi T., et al. // Solar Physics., 2007, **243**, 3.
10. Pesnell W.D., et al. // Solar Physics, 2012, **275**, 3.
11. Levy-Vehel J., Vojak R. // Adv. Appl. Math., 1998, V. **20**. No. 1, 1.
12. Князева И.С., Макаренко Н.Г., Лившиц М.А. // Астрон. журн., 2011, **88**, №11, 503.
13. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. // JASTP, 2018, **179**, 120.
14. Gershberg R.E., Mogilevskii E.I., Obridko V.N. // Kinem. i fizika nebesn.tel, 1987, **3**, 3.