

УДК 523.98

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЯВЛЕНИЕМ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА УРОВНЕ ФОТОСФЕРЫ СОЛНЦА

А.И. Хлыстова

### REGULARITY CONNECTED WITH EMERGENCE OF ACTIVE REGIONS AT THE PHOTOSPHERIC LEVEL OF THE SUN

A.I. Khlystova

Представлено статистическое исследование связи параметров магнитного поля и скоростей течений плазмы в первые часы возникновения активных областей на уровне фотосферы Солнца по данным SOHO/MDI.

Statistical research of relation of parameters of a magnetic field and plasma flow velocities during the first hours of emergence of active regions at the photospheric level of the Sun with data SOHO/MDI is presented.

#### Данные

В работе использовались магнитограммы и доплерограммы полного диска Солнца в фотосферной линии NiI 6768 Å и изображения в континууме SOHO/MDI [Scherrer et al., 1995]. Временное разрешение магнитограмм и доплерограмм 1 мин, континуума – 96 мин. Пространственное разрешение данных 4", размер пикселя соответствует 2". При обработке доплерограмм для устранения вклада дифференциального вращения Солнца и других факторов, искажающих сигнал скорости, применялась методика, описанная в работе [Григорьев и др., 2007].

Из временной последовательности данных выделялась область выхода магнитных полей с учетом ее смещения вследствие солнечного вращения. Точное пространственное совмещение данных достигалось за счет выделения фрагментов с одинаковыми гелиографическими координатами из магнитограмм и доплерограмм, полученных в одно время. Исследуемые параметры рассчитывались в месте выхода магнитных полей.

Течения вещества характеризуются экстремальными значениями скоростей, которые определялись в первые 12 ч выхода магнитных полей для больших и малых активных областей и от начала до максимума полного магнитного потока для эфемерных активных областей. По изображениям в континууме проводился контроль начала времени формирования в пятнах полутени с течениями Эвершеда.

Полный магнитный поток активных областей считался внутри изолиний  $\pm 60$  Гс с учетом эффекта проекции. Из максимума полного магнитного потока вычитался фон, присутствующий до начала выхода магнитных полей. Проводился контроль магнитного насыщения в измерениях напряженности магнитного поля [Liu et al., 2007], оно достигалось только в трех из рассматриваемых активных областей.

#### Объекты исследования

Рассматривается возникновение 224 активных областей. Объекты имеют разные пространственные масштабы, возникают на разном расстоянии от центра солнечного диска и изолированы от крупных концентраций существующих магнитных полей.

Анализируемая выборка содержит:

1) по величине полного магнитного потока:

- 42 большие активные области ( $\Phi > 5 \times 10^{21}$  Мкс, [Garcia de la Rosa, 1984]);

- 114 малых активных областей ( $4.07 \times 10^{20} < \Phi < 5 \times 10^{21}$  Мкс [Garcia de la Rosa, 1984]);

- 68 эфемерных активных областей ( $2.6 \times 10^{18} < \Phi < 4.07 \times 10^{20}$  Мкс, [Hagenaar, 2001]);

2) по степени удаленности от центра диска:

- 72 активные области в центральной части диска ( $\theta < 25^\circ$ );

- 98 активных областей в средней части диска ( $25 < \theta < 50^\circ$ );

- 54 активные области вблизи лимба ( $\theta > 50^\circ$ ) (гелиоцентрический угол  $\theta$  – это угол между нормалью к поверхности и лучом зрения на выходящий магнитный поток).

#### Результаты

##### 1. Центро-лимбовая зависимость отрицательных доплеровских скоростей

Значения максимальных отрицательных доплеровских скоростей (движение к наблюдателю) в первые 12 ч выхода магнитных полей активных областей нелинейно возрастают с увеличением гелиоцентрического угла (рис. 1). Зависимость указывает на то, что горизонтальные скорости ( $\theta > 50^\circ$ ) растекания превосходят вертикальные скорости подъема ( $\theta < 25^\circ$ ). При возникновении больших активных областей горизонтальная компонента скорости существенно превышает горизонтальные скорости конвективных течений спокойного Солнца (рис. 1, 2 и 3).

##### 2. Вертикальные скорости подъема

В центральной части диска ( $\theta < 25^\circ$ ) отрицательные доплеровские скорости или вертикальные скорости подъема имеют высокую дисперсию и коррелиция со скоростью роста магнитного потока практически отсутствует (рис. 3). Значения скоростей в местах выхода магнитных полей незначительно превосходят скорости конвективных течений спокойного Солнца (рис. 2 (при  $\theta < 25^\circ$ ) и 3), таким образом, они связаны как с подъемом вещества в вершинах выходящих петель, так и со скоростями конвекции.

##### 3. Вертикальные скорости опускания

В центральной части диска ( $\theta < 25^\circ$ ) наблюдается нелинейная связь положительных доплеровских скоростей (опускание вещества) со скоростью выхода магнитных полей (рис. 4). Значения скоростей существенно превосходят скорости конвективных течений спокойного Солнца (рис. 2 (при  $\theta < 25^\circ$ ) и 4).

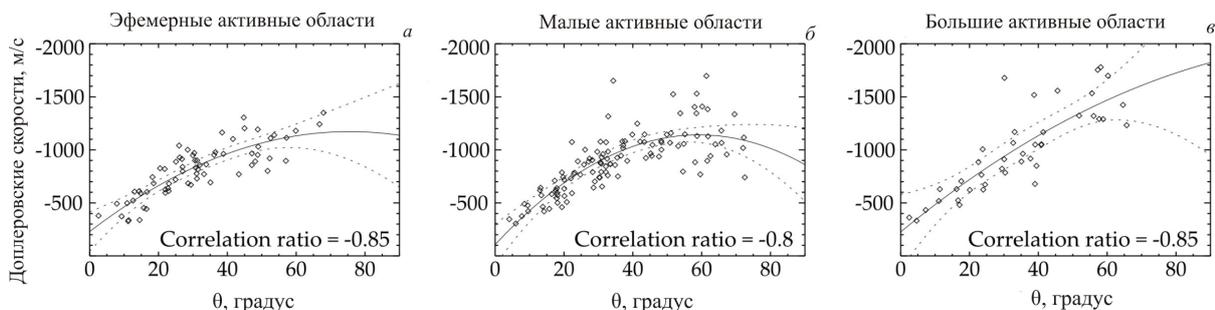


Рис. 1. Максимальные отрицательные доплеровские скорости (движение к наблюдателю) в первые 12 ч выхода: больших (а), малых (б), эфемерных (в) активных областей в зависимости от гелиоцентрического угла  $\theta$ , соответствующего положению активной области в этот момент времени. Непрерывная линия соответствует уравнению нелинейной регрессии; пунктирная линия – 99 %-му уровню достоверности для среднего значения.

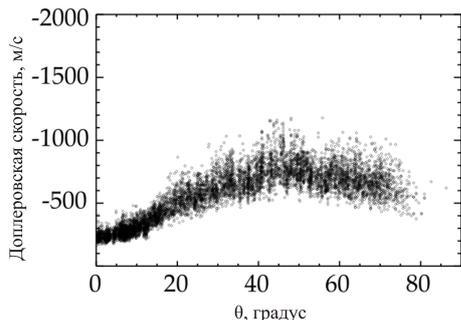


Рис. 2. Максимальные отрицательные скорости конвективных течений спокойного Солнца по данным SOHO/MDI в зависимости от гелиоцентрического угла  $\theta$ .

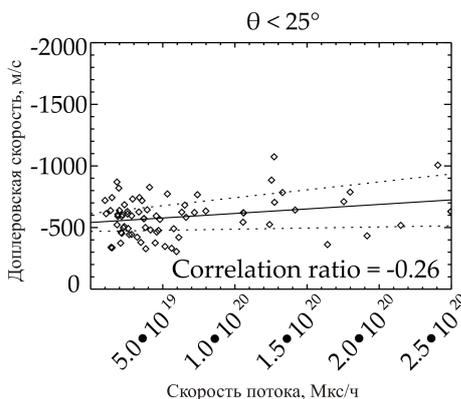


Рис. 3. Максимальные отрицательные доплеровские скорости (движение к наблюдателю) в зависимости от скорости роста магнитного потока в первые 12 ч выхода активных областей.

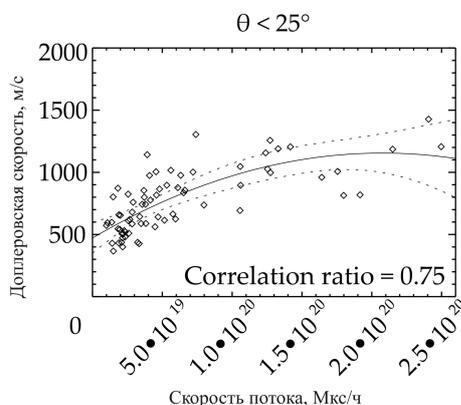


Рис. 4. Максимальные положительные доплеровские скорости (движение от наблюдателя) в зависимости от скорости роста магнитного потока в первые 12 ч выхода активных областей.

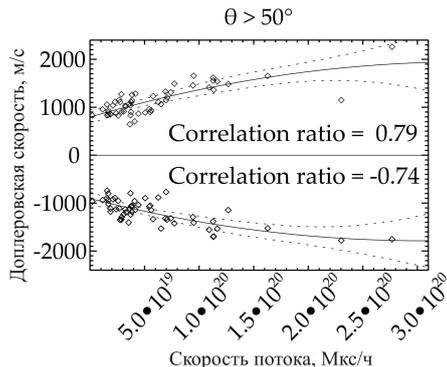


Рис. 5. Экстремальные значения скоростей в зависимости от скорости роста магнитного потока в первые 12 ч выхода активных областей.

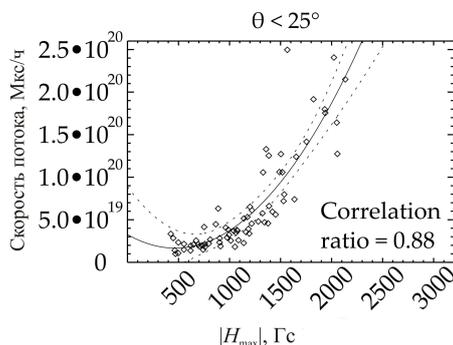


Рис. 6. Скорость роста магнитного потока в зависимости от максимальной напряженности магнитных полей в первые 12 ч выхода активных областей.

Течения преимущественно связаны со стеканием вещества, заключенного внутри выходящих в атмосферу Солнца магнитных полей.

#### 4. Горизонтальная составляющая скоростей

Вблизи лимба ( $\theta > 50^\circ$ ) наблюдается высокая корреляция положительных и отрицательных доплеровских скоростей течений фотосферной плазмы со скоростью роста магнитного потока (рис. 5). Высокие коэффициенты корреляции говорят в пользу того, что наблюдаемые горизонтальные скорости связаны с выходом магнитных полей активных областей.

#### 5. Связь скорости роста магнитного потока с максимальной напряженностью выходящих магнитных полей

Для активных областей центральной части диска ( $\theta < 25^\circ$ ) показана связь с высоким коэффициентом

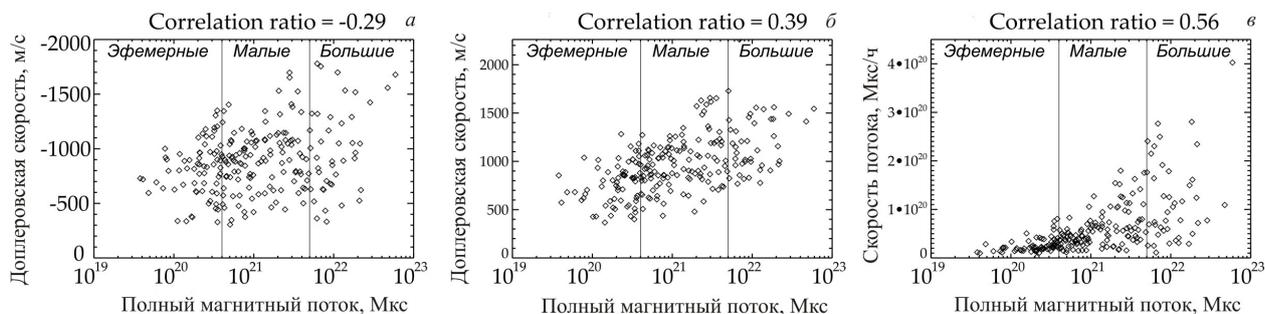


Рис. 7. Связь положительных (а) и отрицательных (б) доплеровских скоростей и скорости роста магнитного потока (в) в первые 12 ч выхода активных областей с полным магнитным потоком в максимуме их развития. На графиках вертикальные линии показывают области магнитного потока, соответствующие эфемерным, малым и большим активным областям.

корреляции между скоростью роста магнитного потока и плотностью выходящих магнитных полей активных областей (рис. 6). Зависимость имеет не линейный вид и с точки зрения теории является ожидаемой. Магнитные поля выходят на поверхность под действием сил магнитной плавучести. Чем больше напряженность магнитного поля, тем больше магнитное и меньше газовое давление внутри магнитной структуры. Низкое газовое давление приводит к высокой силе магнитной плавучести и, как следствие, к высокой скорости роста магнитного потока.

#### 6. Связь параметров начальной стадии с максимумом развития активных областей

Не обнаруживается связи параметров магнитного поля и скоростей течений плазмы в первые часы появления магнитных полей с характеристиками активных областей в максимуме развития (рис. 7). Только для 3.6 % активных областей, скорость роста магнитного потока которых в первые 12 ч превышает  $2 \times 10^{20}$  Мкс/ч, можно однозначно сказать, что в максимуме развития их полный магнитный поток превысит  $5 \times 10^{21}$  Мкс (рис. 7, в). Отсутствие связей можно объяснить тем, что магнитный поток активных областей

выходит отдельными фрагментами на временных масштабах от нескольких часов до 5–7 дней и поэтому выход магнитных полей в первые часы не характеризует активную область как целое.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И., Салахутдинова И.И. Динамика магнитного поля и поля скоростей в возникающей активной области // Солнечно-земная физика. 2007. № 10. С. 25–30.
- Garcia de la Rosa J.I. The observation of intrinsically different emergences for large and small active regions // Sol. Phys. 1984. V. 92. P. 161–172.
- Hagenaar H.J. Ephemeral regions on a sequence of Full-Disk Michelson Doppler Imager Magnetograms // Astrophys. J. 2001. V. 555. P. 448–461.
- Liu Y., Norton A.A., Scherrer P.H. A Note on Saturation Seen in the MDI/SOHO Magnetograms // Sol. Phys. 2007. V. 241. P. 185–193.
- Scherrer P.H., Bogart R.S., Bush R.I., et al. The solar oscillations investigation – Michelson Doppler Imager // Solar. Phys. 1995. V. 162. P. 129–188.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск