ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ

Фурсяк Ю.А., Абраменко В.И., Куценко А.С.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

THE TEMPORAL CHANGES OF ELECTRIC CURRENTS' PARAMETERS IN THE SOLAR ACTIVE REGIONS

Fursyak Yu.A., Abramenko V.I., Kutsenko A.S.

Crimean Astrophysical observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Using HMI/SDO magnetograms of the full magnetic field vector for the active regions (ARs) NOAA 12192, 12158, 12381 and 12494, we calculated 2D-structures of vertical and horizontal electric currents in each AR. We obtained plots of temporal changes of electric currents for a period of 3-4 days. It is found that, out of all the studied parameters, only the global (distributed) electric current variations show slight agreement with the level of flare activity of an AR. Presumably, the global electric current is connected with the pumping of free magnetic energy into the solar corona. It is also shown that the use of vertical currents only leads to underestimation of the complete picture of electric currents in the photosphere, since horizontal currents are of the same order of magnitude as vertical currents.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-385-388

Энергия солнечных вспышек и корональных выбросов массы – это «свободная» магнитная энергия, носителями которой являются электрические токи в атмосфере Солнца. Процессы накопления и выделения этой энергии вызывают интерес по двум причинам: с одной стороны, чтобы глубже понять фундаментальные основы взрывного энерговыделения в замагниченной плазме, а с другой стороны, в целях прогнозирования сильных вспышек на Солнце. В связи с этим, значительный интерес представляет исследование временных изменений токовых систем в фотосфере по данным наблюдений активных областей (АО).

Используя HMI/SDO магнитограммы компонент вектора магнитного поля для четырех АО разной вспышечной продуктивности, мы исследовали, как ведут себя электрические токи в каждом случае за временной интервал в 3-4 суток, пока группа находилась в пределах $\pm 35^\circ$ от центрального меридиана. Проанализированы временные изменения токовых систем в 4 АО текущего цикла солнечной активности – NOAA 12158, 12192, 12381 и 12494.

По компонентам вектора магнитного поля были вычислены карты вертикальных и горизонтальных электрических токов и по ним были определены следующие параметры:

- 1) средняя абсолютная величина плотности вертикального тока:

$$\langle |j_z| \rangle = \sqrt{\frac{\sum (j_z)_{i,j}^2}{N}} \quad (1)$$

2) средняя абсолютная величина плотности горизонтального тока:

$$\langle |j_{xy}| \rangle = \sqrt{\frac{\sum (j_{xy}^2)_{i,j}}{N}} \quad (2)$$

3) результирующий ток (net current):

$$I_{net} = \sum (I_z)_{i,j} \quad (3)$$

4) глобальный, т.е., распределенный по области вокруг основного пятна электрический ток.

Карты вертикальных токов рассчитывались интегральным методом с использованием формулы Симпсона для приближенного вычисления интеграла и контуром 5×5 пикселей [1]. Проху горизонтальных токов были получены методом, предложенным в [2, 3]. Глобальный электрический ток представляет собой распределенную по протяженной области вокруг пятна токовую структуру с результирующим вертикальным током одного направления, которая, по-видимому, простирается высоко в хромосферу и корону и замыкается в пределах АО [4, 5]. Обнаружение глобального тока в АО сводилось к выявлению регулярной вихревой структуры непотенциальной компоненты наблюдаемого горизонтального магнитного поля вблизи пятен и суммированием вертикальных электрических токов в ограниченной области с преобладанием одного направления закрутки поля вокруг развитого пятна.

На рис. 1 показаны временные профили вычисленных параметров по отдельным АО, а на рис. 2 сопоставлены те же графики для всех четырех АО.

На основе полученных результатов сделаны следующие выводы:

1. Из всех изученных характеристик, только глобальный ток реагирует на уровень вспышечной активности АО. Особенно это заметно для самой сильной и вспышечно-продуктивной АО 12192: протяженные по времени максимумы глобального тока перекрывают периоды повышенной вспышечной активности. При этом величина глобального тока этой группы значительно превосходит соответствующие величины для других, более слабых, АО. Как было предположено в [5], глобальный ток уходит в хромосферу и корону и замыкается в пределах АО. Таким образом, есть основания полагать что именно с ним связана накачка свободной магнитной энергии и этим объясняется его квази-синхронность со вспышками.

2. Для всех АО, величина глобального тока не коррелирует с магнитным потоком АО. Глобальный ток, по-видимому, связан скорее с перестройками в магнитной конфигурации, нежели со всплытием/диссипацией поля.

3. Временные профили средней плотности вертикальных токов для всех АО близки между собой и не показывают синхронности со вспышечной активностью. Такой же вывод можно сделать и о горизонтальных то-

ках. По-видимому, эти параметры характеризуют локальные, замкнутые в низких петлях электрические токи, не связанные с корональной динамикой.

Рис. 1. Изменение параметров электрических токов в исследуемых областях. Черная двойная кривая – изменения величины глобального электрического тока в АО; серая двойная линия отображает временные вариации величины результирующего тока; жирные линии отображают соответственно изменения средних абсолютных величин плотности вертикального (черная кривая) и горизонтального (серая кривая) тока. Тонкая серая кривая показывает временные вариации магнитного потока в АО за время мониторинга.

4. Средние плотности горизонтальных и вертикальных токов примерно одного порядка, что указывает на недооценку полной картины электрических токов в фотосфере по данным лишь о вертикальных токах. Отметим, что горизонтальные токи образуются за счет дрейфа заряженных частиц в магнитном поле вокруг вертикальных магнитных силовых трубок, а также за счет шировых движений плазмы в местах сильных поперечных градиентов поля.

Рис. 2. Сводные графики временных изменений параметров электрических токов и магнитного потока в исследуемых АО. Двойной линией (черная жирная линия для величины $\langle |j_{xy}| \rangle$) отображены данные для области NOAA 12192; далее, по мере убывания интенсивности цвета – временные изменения соответствующих величин для областей NOAA 12158, 12381 и 12494 соответственно.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), гранты 16-02-00221 А и 17-02-00049 А.

Литература

1. Fursyak Yu.A. // Geomagnetism and Aeronomy. 2018. 58. 8. 1129-1135.
2. Abramenko V. // arXiv:0806.1547v1. 2008.
3. Fursyak Yu.A., Abramenko V.I. // Astrophysics. 2017. 60. 4. 593-603.
4. Абраменко В.И., Гонасюк С.И. // Изв. Крымск. астрофиз. обс. 1987. 76. 147-168.
5. Abramenko V.I., Gopasyuk S.I., Ogir' M.B. // Solar Physics. 1991. 134. 287-297.