

ПОЛНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ВСПЫШЕЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Фурсяк Ю.А.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Республика Крым, Россия

FULL ELECTRIC CURRENT IN ACTIVE REGIONS WITH DIFFERENT LEVELS OF FLARE PRODUCTIVITY

Fursyak Yu.A.

Crimean astrophysical observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Using magnetographic data from the Helioseismic and Magnetic Imager onboard the Solar Dynamics Observatory (HMI/SDO), vertical, horizontal, and total electric currents were calculated and their dynamics were studied in 73 active regions (ARs) of the 24th solar cycle. Some features of the electric current behavior were determined. In particular: 1) Absolute values of the total electric current density in most cases are determined by the horizontal electric current, the density of which is 1.5-4.5 times greater than the vertical electric current density. 2) In 8 ARs (11% of the considered cases), time intervals of several tens of hours were found within which the average unsigned density of the vertical electric current was approximately equal to or greater than the average unsigned density of the horizontal electric current. 3) In ARs with an additional emergence of magnetic flux, an increase in the vertical, horizontal, and total electric current was observed 18-20 hours before the first flares of high X-ray classes; the time of increase in the electric current was significantly less than the time interval of increase in the total unsigned magnetic flux. 4) The highest absolute values of the total electric current density were recorded in ARs with average flare activity.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-331-334>

Полный электрический ток имеет две составляющие – вертикальную и горизонтальную. Для вычисления вертикального тока требуются данные о поперечном магнитном поле на заданном уровне атмосферы Солнца, что на сегодняшний день обеспечивается многими инструментами. Хуже обстоят дела с вычислением горизонтального электрического тока, поскольку в этом случае необходимы данные о магнитном поле минимум на двух высотах, а регулярные наблюдения подобного рода с хорошим временным и пространственным разрешением отсутствуют. В этих условиях делаются попытки оценить горизонтальный электрический ток косвенными методами [см. 1–4].

Здесь для вычисления вертикальной составляющей полного электрического тока используется метод, базирующийся на интегральной форме закона Ампера [5], а для вычисления горизонтального тока – подход, предложенный впервые в 2008 г. [4], который в 2017 г. был адаптирован под современные данные [6]. Используемый подход позволяет получить абсолютные значения величины горизонтального тока по данным о вертикаль-

ном магнитном поле только на одном уровне (здесь горизонтальный ток вычисляется на уровне фотосферы Солнца).

Исходными для расчета электрического тока являются магнитографические данные инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI/SDO) [7]. Используются SHARP (Space-Weather HMI Active Region Patches) [8] магнитограммы компонент вектора магнитного поля на уровне фотосферы Солнца в цилиндрических координатах с временным разрешением 12 мин и пространственным разрешением $0.5''$ пиксел⁻¹ (серия данных hmi.sharp_cea_720s), доступные на сайте Joint Science Operations Center (JSOC) <http://jsoc2.stanford.edu/ajax/lookdata.html>.

В работе исследована динамика полного электрического тока и его составляющих – вертикального и горизонтального токов – в 73 активных областях (АО) 24-го цикла солнечной активности. Мониторинг каждой из областей осуществлялся на протяжении 4–5 суток, что соответствовало временному интервалу нахождения АО в пределах $\pm 35^\circ$ относительно центрального солнечного меридиана. Получены следующие результаты:

1. В большинстве рассмотренных случаев (рис. 1, левая панель) величина средней беззнаковой плотности горизонтального электрического тока $\langle j_\perp \rangle$ (серая жирная кривая на рис. 1) в 1.5–4.5 раза больше величины средней беззнаковой плотности вертикального тока $\langle j_z \rangle$ (черная жирная кривая). Таким образом, абсолютное значение величины полного электрического тока определяется преимущественно горизонтальным током. Однако в 8 АО, что составляет 11% областей анализируемой выборки, выявлены временные интервалы длительностью в несколько десятков часов, в пределах которых величина средней беззнаковой плотности вертикального электрического тока приблизительно равна или больше средней беззнаковой плотности горизонтального тока (рис. 1, правая панель, отмечено серым).

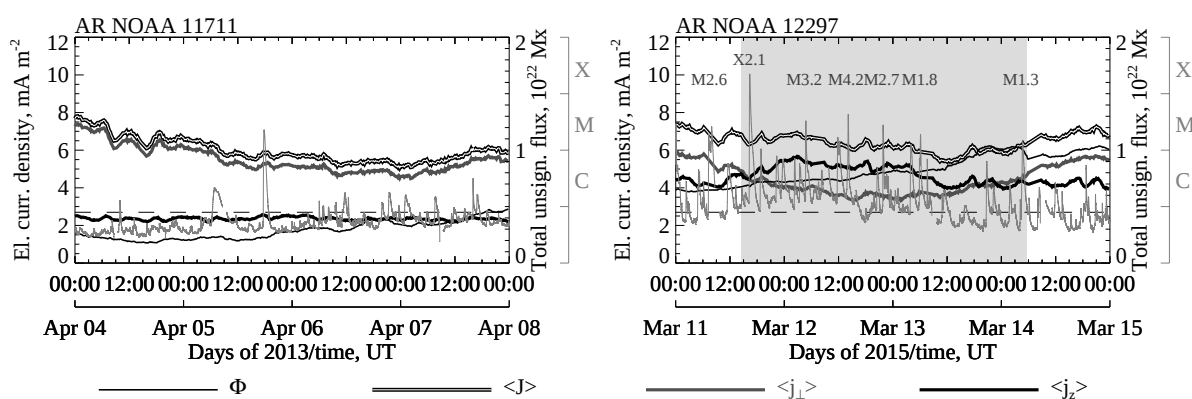


Рис. 1.

2. В областях NOAA 11158 и 12673 анализируемой выборки, в которых за время их мониторинга зафиксировано всплытие новых магнитных потоков, наблюдается (см. рис. 2, в качестве примера представлен график временных вариаций электрических токов и суммарного беззнакового маг-

нитного потока для АО NOAA 11158) существенное нарастание величин вертикального, горизонтального и полного электрического тока за 18–20 часов до первых вспышек высоких рентгеновских классов (этот временной интервал отмечен вертикальными пунктирами на рис. 2). При этом, время нарастания параметров электрического тока существенно меньше временного интервала роста величины суммарного беззнакового магнитного потока Φ (этот временной интервал отмечен серым цветом на рис. 2). Следует также отметить волнообразные изменения величин средней беззнаковой плотности горизонтального и полного электрического тока, фиксируемые еще до всплытия нового магнитного потока. При этом существенных изменений в величине вертикального электрического тока не зафиксировано. Данное наблюдение косвенно указывает на то, что горизонтальный электрический ток связан с фотосферными или подфотосферными движениями солнечной плазмы.

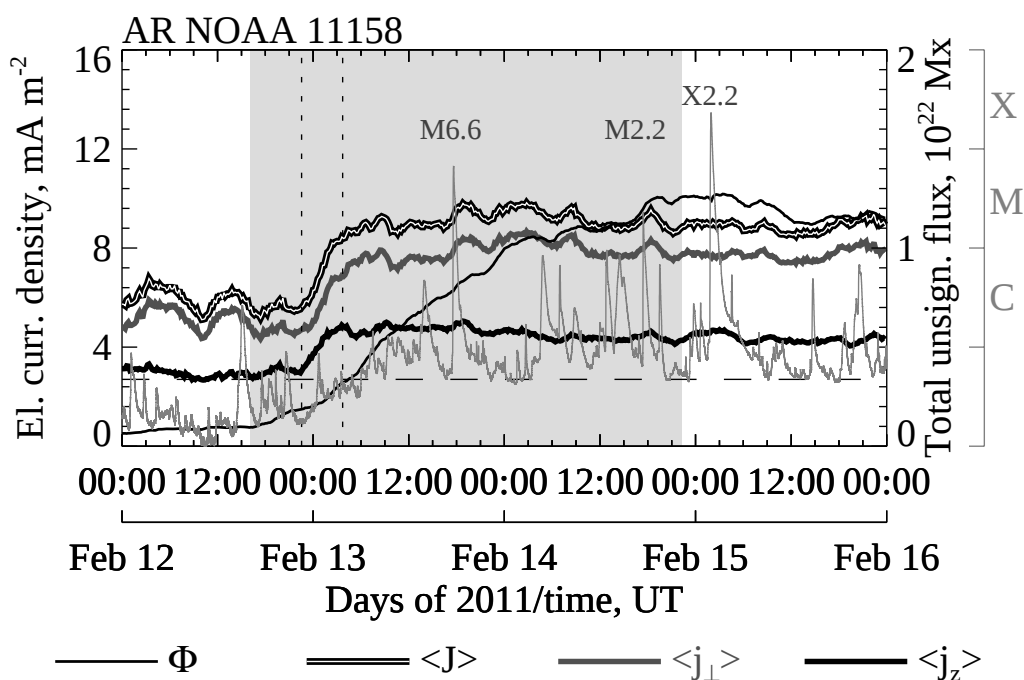


Рис. 2.

3. Явная зависимость между величиной полного электрического тока и вспышечной продуктивностью АО, определяемой величиной вспышечного индекса [9], отсутствует, коэффициент корреляции Пирсона равен $k = 0.26$.

4. Усреднение параметров электрического тока и вспышечных индексов для совокупности АО анализируемой выборки с низкой (под низкой активностью подразумевается фиксация в АО за время нахождения на видимом диске Солнца только вспышек рентгеновского класса C), средней (в области фиксируются вспышки рентгеновских классов C и M) и высокой (фиксируются, среди прочих, вспышки рентгеновского класса X) вспы-

шечной продуктивностью показало, что: 1) в случае вертикального электрического тока величина вспышечного индекса АО возрастает с ростом средней беззнаковой плотности вертикального тока (левая панель рис. 3), зависимость имеет степенной характер; вертикальный ток, таким образом, связан со вспышками в АО; 2) в случае горизонтального и, соответственно, полного электрического тока, наиболее высокие абсолютные значения их плотности фиксируются в областях со средней вспышечной продуктивностью (правая панель рис. 3, данные о плотности горизонтального тока отмечены пустыми кружочками, полного электрического тока – закрашенными).

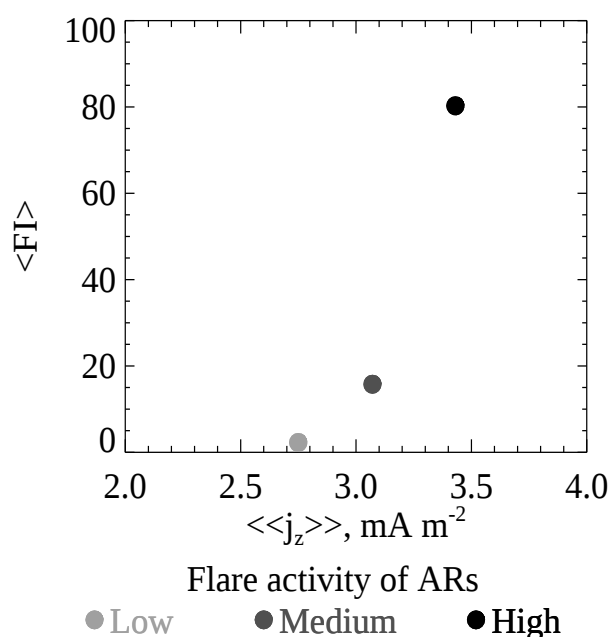


Рис. 3.

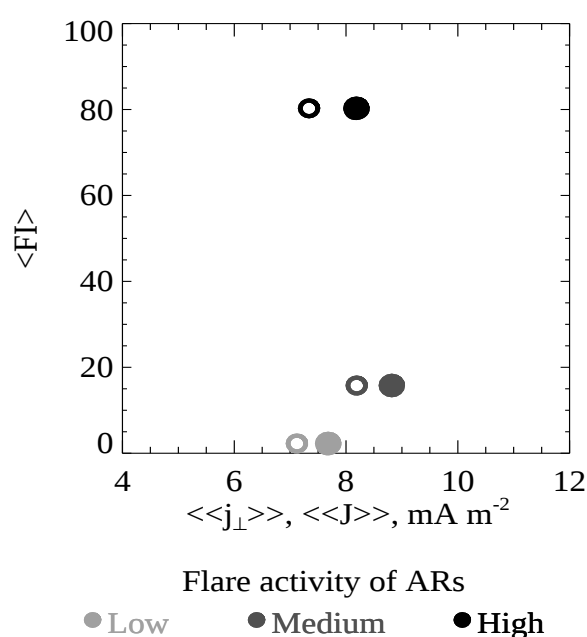


Рис. 4.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, ГЗ №122022400224-7.

Литература

1. Hofmann A., Staude J. // Publ. Astron. Inst. Czechoslovak Acad. Sci., 1987, vol. 66, pp. 105–107.
2. Pevtsov A.A., Perehud N.L. // Washington DC Am. Geophys. Union Geophys. Monograph Series, 1990, vol. 58, pp. 161–165.
3. Ji H.S., Song M.T., Li X.Q., Hu F.M. // Solar Phys., 1998, vol. 182, pp. 365–379.
4. Abramenko V.I. // eprint arXiv:0806.1547, 2008.
5. Fursyak Yu.A. // Geomag. Aeronomy, 2018, vol. 58, pp. 1129–1135.
6. Fursyak Yu.A., Abramenko V.I. // Astrophysics, 2017, vol. 60, pp. 544–552.
7. Bobra M.G., Sun X., Hoeksema J.T., et al. // Solar Phys., 2014, vol. 289, pp. 3549–3578.
8. Scherrer P.H., Schou J., Bush R.I., et al. // Solar Phys., 2012, vol. 275, pp. 207–227.
9. Abramenko V.I. // Astrophys. J., 2005, vol. 629, pp. 1141–1149.