СВЯЗЬ МЕЖДУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ТОКАМИ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

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

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

RELATION BETWEEN ELECTRIC CURRENTS AND ULTRAVIOLET RADIATION OF THE ACTIVE REGION

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

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Using data from Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) and Atmospheric Imaging Assembly (AIA) in the band $193\text{\AA}$ onboard Solar Dynamics Observatory (SDO) spacecraft we analyzed a relationship between the electric currents and intensity of ultraviolet (UV) radiation in an active region (AR) NOAA 12192 observed from October 22 to October 25, 2014. Basing on vertical electric currents data and potential field calculations, we derived the global electric current distributed over a large area around the main sunspot. We also calculated the total intensity of ultraviolet radiation. We found that there is a good correlation ($k = 0.63$) between the magnitude of the global electric current and the intensity of UV radiation in the corona. It is possible to suggest that ohmic dissipation of large-scale current systems makes a significant contribution to the heating of coronal structures. The relationship between the temporal changes of the global current in the AR and the heating of the corona is in accordance with the concept of the contour model of the current-carrying loop.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-423-426

Исследование электрических токов в активной области (АО) является одним из важных направлений современной физики Солнца. Обусловлено это тем, что при относительной простоте вычисления токи несут в себе много информации, являясь эквивалентом свободной магнитной энергии, реализуемой во вспышках и иных диссипативных процессах в атмосфере Солнца. Современные исследования указывают на существование в верхних слоях атмосферы Солнца и солнцеподобных звезд крупномасштабных токов [1], связанных не только со вспышками различной мощности, но и с нагревом коронального вещества. Целью нашей работы является изучение характера взаимосвязи между временными изменениями ранее обнаруженных крупномасштабных электрических токов [2, 3] и ультрафиолетовым излучением АО в короне.

В работе использованы данные приборов HMI/SDO (SHARP-магнитограммы компонент вектора магнитного поля в фотосфере, серия hmi.sharp_720s) и AIA/SDO (интенсивность ультрафиолетового (УФ) излучения в полосе $193\text{\AA}$ в короне, серия aia.lev1_euv_12s), доступные по адресу <http://jsoc2.stanford.edu/ajax/lookdata.html>. Для идентификации вспышек, связанных с исследуемой АО, использованы данные космического аппара-

та GOES-15 о потоке рентгеновского излучения в диапазоне 1–8Å на орбите Земли, доступные на сайте

<https://www.ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/index.html>.

Объект исследований – область NOAA12192. Время мониторинга – 22–25 октября 2014 года. В выбранный временной промежуток исследуемая АО находилась в пределах $\pm 30^\circ$ от центрального меридиана, что позволило минимизировать ошибки в расчетах, связанных с эффектом проекции.

Вычисление вертикальных электрических токов выполнено интегральным методом, впервые примененным для подобных задач в [2, 4] и детально описанного в [5]. На картах распределения величины плотности вертикального электрического тока (рис. 1) видны мелкомасштабные токи и протяженные токовые структуры, являющиеся, по-видимому, отражением горизонтальных токовых жгутов. Низкий разбаланс электрических токов в АО ($<1\%$) позволяет предположить, что токовые структуры всех масштабов являются замкнутыми в пределах исследуемой области. При этом мелкомасштабные токи замыкаются, по-видимому, в низких петлях.

Рис. 1. Слева – карта плотности вертикального электрического тока в АО NOAA 12192 в 00:00UT 25 октября 2014 года. Карта нормирована от -0.015 A m^{-2} (черное) до 0.015 A m^{-2} (белое). Справа – модуль продольной компоненты магнитного поля (фон) для того же момента времени с нанесенными азимутами непотенциальной компоненты поперечного поля АО (черные стрелочки). Жирной серой кривой указан контур, внутри которого по карте распределения величины вертикального тока был рассчитан глобальный электрический ток.

Крупномасштабные электрические токи на картах распределения величины вертикального тока не обнаруживаются, выявить их наличие можно лишь косвенными методами. Суть метода, предложенного нами в [3], сводится к тому, что электрический ток создает вокруг себя вихревое (непотенциальное) магнитное поле. Восстановив потенциальное поле исследуемой АО и сравнив его с наблюдаемым горизонтальным полем, можно выделить непотенциальную компоненту поля, на которой будут хорошо видны вихревые структуры вокруг крупных пятен АО, обусловленные наличием распределенных по площади крупномасштабных токов. Если теперь очертить контур вокруг пятна так, чтобы внутри него преобладало одно направление закрутки непотенциальной компоненты поля и далее по карте токов сосчитать суммарный электрический ток внутри контура, то

получим величину распределенного (глобального) электрического тока (I_{glob}) в заданный момент времени. Проведя аналогичные расчеты для всего времени наблюдения (22–25 октября 2014 года), мы получаем динамику величины глобального тока в АО NOAA 12192 с временным разрешением в 12 минут (рис. 2).

Рис. 2. Временные изменения величины глобального электрического тока (черная жирная кривая) и суммарной интенсивности УФ излучения в полосе 193 Å (жирная серая кривая) за время мониторинга области NOAA12192. Тонкой серой кривой указан поток рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 Å на орбите Земли (данные GOES-15). Отмечены наиболее мощные вспышки, ассоциированные с исследуемой АО.

Низкий разбаланс электрических токов в АО позволяет предположить, что глобальный ток, как и токи более мелких масштабов, замыкается в пределах исследуемой области. Но если мелкомасштабные токовые структуры замыкаются в относительно низких петлях, то глобальный ток уходит в хромосферу и корону и связан с корональной динамикой АО. Значительная часть энергии, выносимой глобальным электрическим током, тратится на различные диссипативные процессы. Омическая диссипация электрических токов является одним из механизмов нагрева корональных петель [6]. Если предположение о том, что глобальный ток действительно уходит в верхние слои атмосферы Солнца, является верным, то должна существовать связь между динамикой глобального тока и интенсивностью УФ излучения в короне над исследуемой АО.

Для вычисления суммарной интенсивности УФ излучения в короне использованы AIA/SDO фотогелиограммы полного диска Солнца в полосе

193Å, из которых вырезаны патчи, соответствующие размерам SHARP-магнитограмм HMI/SDO. Для каждой SHARP магнитограммы HMI/SDO были выбраны соответствующие по времени данные AIA/SDO. Суммарная интенсивность в ультрафиолете рассчитывалась как сумма интенсивностей во всех пикселах выделенного патча AIA/SDO. Временные изменения интенсивности УФ излучения в полосе 193Å для области NOAA12192 за время мониторинга представлены на графике рис. 2 серой жирной линией.

Следует обратить внимание на разрывы в данных о суммарной интенсивности УФ излучения АО. Связаны они с тем, что во время вспышек наблюдается сильная засветка в УФ диапазоне, и прибор AIA/SDO наблюдает в другой моде. Поэтому данные в эти временные интервалы нами в дальнейших расчетах не использовались.

Несмотря на значительную скважность данных, остается достаточно информации, чтобы увидеть, что величина глобального тока и суммарная интенсивность УФ излучения в полосе 193Å ведут себя квазисинхронно (коэффициент корреляции $k = 0.63$). Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наличие хорошей ($k = 0.63$) корреляции между величиной глобального электрического тока и интенсивностью излучения в ультрафиолете свидетельствует о том, что обнаруженный нами крупномасштабный электрический ток действительно уходит в корону.

2. Омическая диссипация крупномасштабных токовых систем вносит существенный вклад в нагрев корональных структур, наряду с иными процессами, такими как тиринг-неустойчивость, нагрев диссипацией альвеновских волн, микровспышки, испарение хромосферного вещества в корону и т.д.

3. Связь между временными изменениями глобального тока в АО и нагревом короны находится в соответствии с концепцией контурной модели токонесящей петли, предложенной в [7]. Согласно этой модели, крупномасштабные электрические токи должны существовать в короне и участвовать в нагреве корональных петель.

Литература

1. Zaitsev V.V., Kronshtadtov P.V. // Radiophysics and Quantum Electronics. 2016. 59. 3. 169-176.
2. Abramenko V.I., Gopasyuk S.I., Ogir' M.B. // Solar Physics. 1991. 134. 287-297.
3. Fursyak Yu.A., Kutsenko A.S., Abramenko V.I. // Solar Physics. 2019 (in print).
4. Абраменко В.И., Гонасюк С.И. // Изв. Крымск. астрофиз. общ. 1987. 76. 147-168.
5. Fursyak Yu.A. // Geomagnetism and Aeronomy. 2018. 58. 8. 1129-1135.
6. Holman G.D. // Astrophys. J. 1985. 293. 584-594.
7. Zaitsev V.V., Stepanov A.V., Urpo S., Pohjolainen S. // Astron. Astrophys. 1998. 337. 887-896.