О СВЯЗИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР СРЕДНИХ И НИЗКИХ ШИРОТ С ОБЩИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СОЛНЦА

Ахтемов З.С.¹, Цап Ю.Т.^{1,2}, Ханейчук В.И.¹

¹КрАО РАН, АР Крым, Научный, Россия

²ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

ON THE RELATIONSHIP OF CORONAL HOLES OF MIDDLE AND LOW LATITUDES WITH THE GENERAL MAGNETIC FIELD OF THE SUN

Akhtemov Z.S.¹, Tsap Y.T.^{1,2} Haneychuk V.I.¹

¹CrAO RAN, AR Crimea, Nauchny, Russia

²GAO RAN, St. Petersburg, Russia

Based on EUV images and magnetograms obtained with Solar Dynamics Observatory the relationship between the total area of coronal holes (CH) of middle and low latitudes ($|\phi| < 60^\circ$) and the sun's general magnetic field (GMF) for the period from 19 January to 07 December 2012 is investigated. It has been shown that CH boundaries determined with CHI-MERA (<https://solarmonitor.org>) and SPoCA (<https://helioviewer.org>) algorithms can differ significantly. The correlation coefficient between the weighted total area of CHs taking into account the magnetic field polarity and GMF lies in the range from 0.83 to 0.89. CHs can make a significant contribution to GMF since their magnetic fields with open magnetic configuration are not balanced on the solar disk.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-23-26

Общее магнитное поле Солнца (ОМП) является мерой разбаланса магнитных потоков. Следовательно, магнитное поле КД средних и низких широт может вносить существенный вклад в ОМП (здесь и в дальнейшем мы будем считать усредненное по диску поле B_{mean} , и магнитное поле Солнца как звезды B_{star} , если это не оговаривается, эквивалентными величинами). В рамках модели гидромагнитного динамо Бэбкока-Лейтона [1, 2] магнитные поля хвостовых пятен должны определять переполюсовку Солнца, а значит, основные характеристики ОМП. Откуда следует ожидать наличие тесной связи между ОМП и магнитными образованиями.

Если в минимуме солнечной активности КД концентрируются в области полюсов, то ближе к максимуму они могут появляться на средних и низких широтах [3, 4], зачастую занимая значительную часть солнечного диска на протяжении многих оборотов Солнца [5]. Хотя к настоящему времени существование связи между ОМП, эволюцией и характеристиками КД сомнений не вызывает [6, 7], тем не менее, остается много невыясненных вопросов. Так, на основе данных Wilcox Solar Observatory (WSO) за период с 1975 по 1990 гг. были получены указания [8] в пользу существования достаточно слабой корреляции между ОМП и числами Вольфа

(соответствующий максимум ОМП может отставать более чем на 2 года). Между тем, сравнивая напряженности магнитных полей на корональных высотах с числами Вольфа, Биленко [9] пришла к заключению о достаточно хорошей временной корреляции между ОМП и числами Вольфа, по крайней мере, в 22 цикле.

На наш взгляд, наблюдаемые задержки в значительной мере могут зависеть от магнитных полей КД средних и низких широт. Косвенным свидетельством такого предположения может служить тот факт, что знак полярности ОМП довольно часто совпадает со знаком усредненных магнитных полей КД. Как видно из рис. 1, построенного по результатам измерений ОМП как звезды (WSO), и данных, полученных с помощью алгоритма CHIMERA, (<https://solarmonitor.org>), максимуму отрицательной напряженности ОМП 07.05.2012 г. соответствует КД вблизи центрального меридиана отрицательной полярности. Для максимума положительной полярности 13.05.2012 г. знаки ОМП и поля КД также совпадают.

Цель настоящей работы — детально исследовать связь между магнитным полем КД средних и низких широт и ОМП на фазе роста 24 цикла солнечной активности.

При проведении исследований мы ограничились периодом с 19.01.2012 по 07.12.2012 гг., что соответствует второй фазе роста солнечной активности 24 цикла, сопровождаемой появлением вблизи экватора КД различной полярности. Для определения границ КД средних и низких широт ($|\varphi| < 60^\circ$) мы воспользовались результатами численных расчетов, полученными с помощью алгоритмов SPoCA и CHIMERA [10, 11], которые представлены на сайтах <https://helioviewer.org> и <https://solarmonitor.org> соответственно.

Отметим, что границы КД *могут существенно отличаться* для разных алгоритмов, хотя границы КД определяются на основе наблюдений, полученных на одних и тех же инструментах (AIA, HMI), *размещенных на спутнике SDO*.

Определение напряженности ОМП Солнца находилось из магнитограмм продольного магнитного поля SDO/HMI, а также данных WSO и телескопа КрАО РАН БСТ-1. Для оценки знака магнитного поля КД нами привлекались и модельные расчеты магнитного поля в потенциальном приближении, выполненные с помощью программы PFSS.

На фазе роста 24 цикла солнечной активности с 19.01.2012 по 15.10.2012 гг. низкоширотные КД Солнца занимали сравнительно небольшую площадь диска, которая суммарно не превышала 10% (<https://solarmonitor.org/>). Причем в соответствующие моменты времени знаки взвешенной (напряженности магнитных полей КД считались одинаковыми) с учетом полярности суммы площадей КД и ОМП с точностью до ошибок измерений совпадали и были отрицательными.

Рис. 1. Слева: вариации ОМП Солнца как звезды по данным измерений WSO за 2012 г. Справа: изображения КД (<https://solarmonitor.org>), идентифицированные с помощью алгоритма CHIMERA 07.05.2012 г. и 13.05.2012 г. Усредненные значения магнитных полей КД CH1 (CHIMERA) соответственно равны -3.8 Гс и $+3.2$ Гс.

Результаты сопоставления взвешенной суммарной площади КД A_ϕ и ОМП (SDO/HMI) представлены на рис. 2(a,b,c). Видно, что соответствующие кривые достаточно хорошо согласуются между собой. Коэффициенты корреляции k между взвешенными суммарными площадями и ОМП равны 0.83 ± 0.18 (CHIMERA) и 0.88 ± 0.16 (SpOCA). В свою очередь, для площадей A_ϕ , определенных с помощью алгоритма SpOCA и значений ОМП, полученных в WSO, коэффициент корреляции $k = 0.89 \pm 0.14$.

Рис. 2. Зависимости суммарной площади низкоширотных корональных дыр и ОМП Солнца от времени по данным: а) CHIMERA – SDO/HMI; б) SpOCA – SDO/HMI; в) SpOCA – WSO; д) Сравнение значений среднего магнитного поля и ОМП как звезды, полученные по данным SDO/HMI и обсерватории WSO.

Как показало сравнение данных за исследуемый период, между значениями средней напряженности магнитного поля, следующими из магнитограмм B_{mean} (SDO/HMI), и ОМП как звезды B_{star} (WSO), коэффициент корреляции составил 0.92 ± 0.10 .

Обращает также на себя внимание, что отклонения между измерениями на SDO/HMI и WSO могут оказаться весьма значительными, вплоть до знака полярности (рис. 2d, светлый кружок).

Таким образом, наличие высокой корреляции между площадями КД и значениями ОМП свидетельствует, что КД средних и низких широт способны оказывать существенное, если не определяющее влияние на ОМП Солнца. Коэффициенты корреляции оказываются довольно высокими (>0.8) и достигают 0.89 ± 0.14 . Не следует также исключать, что КД средних и низких широт могли привести к наблюдаемым временным задержкам между ОМП и числами Вольфа в 23–24 циклах активности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки (НИР № 0831-2019-0006) и программы ПРАН П-12 «Вопросы происхождения и эволюции Вселенной».

Литература

1. *H.W. Babcock* // *Astrophys. J.*, **133**, 572, 1961.
2. *R.B. Leighton* // *Astrophys. J.*, **156**, 1, 1969.
3. *P.S. McIntosh, R.J. Thompson, E.C. Willock* // *Nature*, **360**, 322, 1992.
4. *A. Tlatov, K. Tavastsherna, V. Vasil'eva* // *Solar Phys.*, **289**, 1349, 2014.
5. *Z.S. Akhtemov, Yu.T. Tsap* // *Geomagnetism & Aeronomy*, **58**, 1187, 2018.
6. *I.A. Bilenko, K.S. Tavastsherna* // *Solar Phys.*, **291**, 2329, 2016.
7. *I.A. Bilenko, K.S. Tavastsherna* // *Geomagnetism & Aeronomy*, **57**, 803, 2017.
8. *Ю.Р. Ривин, В.Н. Обридко* // *Астрон. Журн.*, **69**, 1083, 1992.
9. *I.A. Bilenko* // *Geomagnetism & Aeronomy*, **56**, 978, 2016.
10. *C. Verbeec et al.* // *Astron. Astrophys.*, **561**, A29, 2014.
11. *T.M. Garton et al.* // *J. Space Weather & Space Climate*, **8**, A02, 2018.