ПРОЯВЛЕНИЯ В КОРОНЕ СОЛНЦА ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова, РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

SOLAR CORONA EFFECTS OF MAGNETIC FIELD GENERATION

Merzlyakov V.L., Starkova L.I.

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS,
Moscow, Troitsk, Russia*

The relative power of magnetic sources of solar magnetic field, generating at convective base, are determined. For this purpose the model of variation of coronal magnetic configuration is examined. Latitude gradient of coronal helmet curvature as an indicator of this configuration variation is used. It has been established that power of photospheric active regions is no more than 40% of all toroidal magnetic field sources.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-293-296

Введение

В настоящее время надежно установлено, что магнитные поля атмосферы Солнца отражают подфотосферный процесс генерации. Генерация, как полагают, происходит в основании конвективной зоны. В такой ситуации конвекция в той или иной мере должна участвовать в транспортировке магнитного потока из зоны генерации. Существуют разные представления о такой транспортировке. Конвекция может выступать только как среда распространения магнитного потока [1], либо она оказывает определяющее влияние на распределение этого потока [2]. Помимо эффектов транспортировки конвекция может создавать места локальных магнитных источников, которые в значительной мере влияют на крупномасштабную конфигурацию магнитного поля короны [3]. В связи с обнаруженной возможностью конвекции не только выносить магнитный поток из зоны генерации, но и создавать подфотосферные магнитные источники, возникает задача установления соотношения между ними. И этой задаче посвящена работа.

Корональное магнитное поле

Рассмотрим эффективность действия фотосферных и подфотосферных источников на конфигурацию коронального магнитного поля. Хорошим индикатором такой конфигурации, как обнаружили авторы, является кривизна оси корональных шлемов [4]. Для нашего исследования был использован широтный градиент кривизны, который характеризует ситуацию

с действием магнитных источников от полярной зоны до приэкваториальных широт.

Использовались изображения К-корон Солнца, полученные во время солнечных затмений за период 1870–2000 гг. Данные более поздние, начиная со спада 23 цикла, имеют иные закономерности [4]. На первом этапе изучалась эпоха низкой активности Солнца.

Рис. 1.

На рис. 1 приведены результаты расчетов широтного градиента кривизны оси корональных шлемов. Как видно на рис. 1, есть периоды линейного изменения величины широтного градиента кривизны как на фазе роста солнечной активности (начало солнечного цикла), так и на спаде активности. Около границы солнечных циклов (рис. 1, нулевая фаза) происходит резкая перестройка магнитной конфигурации в короне вследствие скачкообразного широтного смещения зоны генерации тороидального магнитного поля Солнца.

Модельные построения

Подфотосферные магнитные источники связаны с торидальной компонентой магнитного поля. Эта же компонента создает и фотосферные магнитные источники в виде зон локально усиленного магнитного потока – активных областей. Индикатором мощности генерации тороидальной компоненты является число Вольфа. Ситуацию с фотосферными магнитными источниками характеризует усредненное число Вольфа за солнечный оборот $\langle W \rangle$. Мощность подфотосферных источников определяется текущей генерацией тороидального магнитного поля и зависит от фазы солнечного цикла (*faza*). Момент фазы может быть зафиксирован во временной (*t*) тенденции изменения сглаженного (годового) числа Вольфа

$faza \sim \dot{W}(t)$. Полярный источник в эпоху минимума солнечной активности достигает максимума, величина которого, как показали исследования, зависит от максимального в солнечном цикле сглаженного значения $\sim \dot{W}_{\max}$.

На линейных участках рис. 1 зависимости изучаемого широтного градиента (Grad) от фазы цикла ($faza$) действие указанных выше источников можно представить алгебраической суммой:

$$\text{Grad} = A + B \cdot (\langle W \rangle / \dot{W}_{\max}) + C \cdot faza. \quad (1)$$

Выражение (1) записано с нормировкой на максимальное число Вольфа в солнечном цикле ($\dot{W}_{\max}$) и в предположении постоянства величины полярного источника. В таком случае этот источник будет представлен в сумме (1) как постоянный член (A). Второе слагаемое (1) характеризует действие магнитных активных областей, а третье слагаемое есть эффект от подфотосферных источников тороидальной компоненты магнитного поля.

Линейной функцией (1) аппроксимировались данные, представленные на рис. 1. Использовался ряд чисел Вольфа версии 1. Результаты аппроксимации представлены на рис. 1 линиями разного цвета. Получены следующие величины коэффициентов (1): $A = -0.0043$, $B = 0.025$, $C = 0.068$ для периода роста солнечной активности (положительная фаза) и $A = +0.0051$, $B = 0.043$, $C = 0.099$ при спаде активности (отрицательная фаза).

Обсуждение

Активные области на фотосфере возникают и существуют с той или иной степенью случайности. И числа Вольфа отражают такую случайность. Но при том, есть четкая тенденция изменения числа Вольфа с фазой солнечного цикла, которая определяется мощностью генерации тороидального магнитного поля. В таком случае $\langle W \rangle / \dot{W}_{\max} \approx faza$ и, значит, коэффициенты B и C (1) одного масштаба. Тогда B/C есть отношение вкладов в магнитное поле короны фотосферных активных областей и подфотосферных источников. А доля фотосферных источников относительно общего вклада источников тороидальной компоненты магнитного поля будет $B/(B + C)$. Эта относительная доля, согласно найденным значениям (1), составит 27% для периода роста солнечной активности и 30% для периода спада.

На уровне фотосферы активные области имеют большие напряженности (на порядок величины) магнитного поля по сравнению с проявлениями подфотосферных источников. И при использовании фотосферных данных для расчетов коронального магнитного поля можно ожидать, что магнитные поля от подфотосферных источников не будут учтены в полной мере. В таком случае расчеты коронального поля должны давать заниженные значения до 3-х раз. Действительно, в минимумах активности такого рода различия между расчетными величинами и наблюдаемыми имеют место быть [5].

Выводы

В эпоху низкой солнечной активности, как оказалось, конфигурация коронального магнитного поля линейным образом зависит от фазы солнечного цикла. На основе этой линейности удалось оценить вклады в формирования корональной магнитной конфигурации источников магнитного поля, генерируемых в основании конвективной зоны Солнца. Оказалось, что доля фотосферных источников, проявляющиеся как активные области, составляет не более 30% от суммарного вклада всех источников торoidalной компоненты магнитного поля Солнца. Эта найденная особенность объясняет, в частности, значимое различие между расчетными и регистрируемыми магнитными параметрами солнечного ветра.

Литература

1. *Weber M. A., Fan Y., Miesch M.S.* // *Astrophys. J.*, 2011, v. 741, p. 11(14).
2. *McIntosh P.S., Wilson P.R.* // *Solar Phys.*, 1985, v. 97, pp. 59-79.
3. *Merzlyakov V.L., Starkova L.I.* // *Geomagn. Aeron.*, 2015, v. 55, № 8, pp. 1066-1070.
4. *Merzlyakov V.L., Starkova L.I.* // *Geomagn. Aeron.*, 2019, v. 59, № 8.
5. *Stevens M.L., Linker J.A., Riley P., Hughes W.J.* // *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.*, 2012, v. 83, pp. 22-31.