ЭВОЛЮЦИЯ ИСТОЧНИКА АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ФОТОСФЕРЫ

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

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

EVOLUTION OF THE SOURCE OF A PHOTOSPHERIC ACTIVE REGION

Merzlyakov V.L., Starkova L.I.

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

The places of the magnetic field maximum of solar active region are analyzed. The synoptic magnetic maps of observatory Kitt Peak are used. It was established that rotation velocity of these places and the distance between them are varied during active region evolution. The velocity variation is indicated that active region has a moving magnetic source. According to helioseismology, the magnetic source lifts from underphotospheric level $0.90 R_{\text{sun}}$ to $0.98 R_{\text{sun}}$ and back to initial level. Such source shift may be controlled by gigantic convection cells. At rising lift the magnetic source is a compact size. The model calculations have shown that the source had the octupole moment $\sim 10^{-4} R_{\text{sun}}^2$ relatively dipole moment. At reverse motion the source probably is divided to two parts by convection cells.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-213-216

Введение

Появление на фотосфере Солнца магнитных активных областей связано с выходом магнитного потока из зоны генерации. Эта зона, как полагают, находится в основании конвективной области. Исторически сложилось, что процесс трансформации магнитного потока через конвективную область к фотосфере рассматривается как «всплытие» компактной структуры. Особой популярностью пользуется структура в виде петли. Однако современные наблюдения не подтверждают представление о формировании активной области как результат «всплытия» компактного магнитного образования. [1, 2].

По мнению авторов, активные области на фотосфере возникают от действия магнитного источника, который создается магнитоконвекцией. Эту точку зрения подтверждает обнаруженное колебание скорости вращения активных областей [3]. В настоящем исследовании предполагается более детально изучить временные колебания параметров активной области. И на основе полученных данных определить свойства магнитного источника активной области.

Результаты

В качестве наблюдательных данных использовались магнитные синоптические карты обсерватории Kitt Peak за 2007 год. Анализировались 2

активные области южной полусферы на широте $\approx 8^\circ$ вблизи кэррингтоновской долготы 200° за обороты CR2057 – CR2064 [4]. Для каждого кэррингтоновского оборота определялись координаты места максимальной напряжённости магнитного поля разного знака. Определялось угловое расстояние между этими местами. А также находилась средняя скорость вращения указанных зон максимальной напряжённости.

Проведенные оценки углового расстояния между зонами максимальной напряжённости (L) и средней скорости их вращения (V) приведены на рис. 1 и рис. 2 соответственно. Временные отсчёты даются в кэррингтоновских оборотах относительно начального $CR_0 = CR2055$ и $CR_0 = CR2061$ для первой и второй активной области. Полученные величины отмечены кружками и квадратами для разных активных областей. На рис. 2 даются средние широтные положения $\langle \varphi \rangle$ изучаемых зон максимальной напряжённости магнитного поля за весь временной интервал наблюдения.

Рис. 1.

Рис. 2.

На рис. 1 и рис. 2 видно, что анализируемые параметры активной области имеют минимумы. И в пределах изучаемого временного масштаба $1CR$ можно говорить о совпадении моментов минимума расстояния L и скорости вращения V . Кроме того, на рис. 2 проявилась интересная закономерность – конечная скорость практически совпадает с начальной. В частотах вращения колебание скорости (рис. 2) составляет от 470 нГц до 450 нГц. Для широты 8° такие изменения скорости означают, что источник активной области перемещается в пределах расстояний $0.90 R_{\text{sun}} - 0.98 R_{\text{sun}}$ [5, 6] относительно центра Солнца.

Свойства магнитные источника

Перемещение источника активной области (рис. 2) приводит к тому, что зоны максимальной напряжённости меняют свое относительное положение на фотосфере (рис. 1). Авторы предлагают объяснение такому факту как проявлению недипольности изучаемого источника. Наиболее вероят-

ным выглядит вариант с ориентацией моментов дипольной и октупольной магнитных гармоник перпендикулярно солнечному радиусу. Изменение наблюдаемого расстояния L от 6° до $2^\circ - 3^\circ$ при подъеме источника (рис. 1) возможно, если отношение октупольной гармоники (Q) к дипольной (M) составляет $Q/M \sim 10^{-4} R_{\text{sun}}^2$ (в масштабе солнечного радиуса R_{sun}). При достижении источником уровня $0.98 R_{\text{sun}}$ от центра Солнца напряжённость магнитного поля должна быть на фотосфере ≈ 1 кГс, что предполагает величину дипольной гармоники $M \approx 10^{-2} R_{\text{sun}}^3$.

Модельные расчеты магнитного поля между зонами максимальной напряжённости для варианта $M = 2 \cdot 10^{-2} R_{\text{sun}}^3$ приведены на рис. 3 и рис. 4 при положении источника на уровнях $0.90 R_{\text{sun}}$, $0.96 R_{\text{sun}}$, $0.98 R_{\text{sun}}$ относительно центра Солнца. Величина напряжённости B_r есть проекция составляющих магнитного поля источника на солнечный радиус. Напряжённости магнитного поля даются в гауссах.

Рис. 3.

Рис. 4.

Как видно на рис. 3, при нахождении источника на начальном уровне $0.90 R_{\text{sun}}$ расстояние между максимальными напряжённостями около 6° . А на уровне $0.98 R_{\text{sun}}$ (рис. 4) это расстояние уменьшилось до 2° . Помимо роста напряжённости на фотосфере происходит и увеличение магнитного потока. В случае рассмотренных величин магнитных гармоник ($M = 2 \cdot 10^{-2} R_{\text{sun}}^3$, $Q = 2 \cdot 10^{-6} R_{\text{sun}}^5$) суммарный магнитный поток в пределах активной области (площадью $20^\circ \times 20^\circ$) возрастает от $1.4 \cdot 10^{21}$ Мх при положении источника на уровне $0.90 R_{\text{sun}}$ до $8.8 \cdot 10^{21}$ Мх при достижении уровня $0.98 R_{\text{sun}}$ от центра Солнца.

Ситуация при обратном движении источника от уровня $0.98 R_{\text{sun}}$ до $0.90 R_{\text{sun}}$ оказалась существенно отличной от процесса подъема в плане изменения относительного положения зон максимальной напряжённости (рис. 1). Увеличение расстояния L до $14^\circ - 15^\circ$ при его обратном перемещении невозможно объяснить изменением в соотношении магнитных гармоник источника. Наиболее вероятным объяснением такого увеличения

расстояния L является геометрическая трансформация магнитного источника. Такая трансформация может быть, в частности, следствием разделения источника конвективными ячейками. Горизонтальные размеры этих ячеек должны, в таком случае, быть $\geq 7^\circ$. Этот размер соответствует гигантским ячейкам конвекции.

Выводы

Проведённый анализ эволюционных изменений зон максимальной напряжённости магнитного поля показал радиальное перемещение источника фотосферной активной области. Перемещение происходит с уровня $0.90 R_{\text{sun}}$ от центра Солнца до $0.98 R_{\text{sun}}$ и обратно, что, по-видимому, связано с влиянием конвекции. И это влияние, очевидно, не ограничивается пассивным подъемом и опусканием магнитного источника. На что указывает увеличение расстояния между зонами максимальной напряжённости магнитного поля в процессе опускания магнитного источника (рис. 1).

Наиболее вероятной конфигурацией магнитного источника фотосферной активной области является наличие значимой октупольной гармоник. Её величина относительно дипольной гармоник составляет $\sim 10^{-4} R_{\text{sun}}^2$ и ориентирована вдоль неё. Сама дипольная гармоника в процессе подъема источника активной области имеет величину $M \sim 10^{-2} R_{\text{sun}}^3$. Во время обратного перемещения такой источник, вероятно, перераспределяется между двумя конвективными ячейками. Масштаб перераспределения указывает на то, что ячейки относятся к гигантскому масштабу конвекции. Эта конвекция, по-видимому, располагается над супергигантскими ячейками, основание которых находится в зоне генерации магнитного поля Солнца.

This work utilizes SOLIS data obtained by the NSO Integrated Synoptic Program (NISP), managed by the National Solar Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. under a cooperative agreement with the National Science Foundation.

Литература

1. Getling A.V., Ishikawa R., Buchnev A.A. // Solar. Phys., 2016, v. 291, pp. 371–382.
2. Getling A.V., Buchnev A.A. // Astrophys. J., 2019, v. 871, p. 224.
3. Merzlyakov V.L., Starkova L.I. // Geomagn. Aeron., 2017, v. 57, № 7, pp. 821–824.
4. https://solis.nso.edu/0/vsm/crmmaps/63021_cr2046-2065.html
5. Kosovichev A.G. // Adv. Space Res., 2006, v. 37, no. 8, pp. 1455–1466.
6. Schou J., Howe R., Basu S. et al. // Astrophys. J., 2002, v. 567, pp. 1234–1249.