

БИПОЛИ В РАСШИРЕННОМ ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Тлатов А.Г., Тлатова К.А.

Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

BIPOLES IN THE EXTENDED SOLAR ACTIVITY CYCLE

Tlatov A.G., Tlatova K.A.

Kislovodsk Mountain Astronomical Station of the Pulkovo observatory, Kislovodsk, Russia

The properties of magnetic bipoles have been analyzed. For this purpose, magnetic bipoles of different sizes have been identified based on SDO/HMI magnetic field observations in the period 2010–2023. The dependence of the length of the magnetic axis of bipoles l on the area of magnetic bipoles is studied. It is shown that there is a local maximum of the parameter l , corresponding to distances $l \sim 20$ and 86 Mm. The distribution of bipoles in the solar cycle is considered depending on the magnetic polarity in the Hale law. It is shown that magnetic bipoles of polarity corresponding to the current 22-year magnetic cycle arise at high latitudes 2–4 years before the appearance of the first sunspots. Such a distribution of magnetic bipoles corresponds to the hypothesis of an extended activity cycle.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-307-310>

Введение

Понимание солнечной активности и изменчивости имеет большое общественное значение из-за их потенциального влияния на Землю, ее климат и жизнь на ней, а также на гелиосферу. В моделях динамо считается, что тороидальное магнитное поле генерируется из полоидального поля посредством вращательного сдвига где-то в пределах зоны солнечной конвекции. Это тороидальное поле затем возникает на поверхности Солнца в виде наклонных биполярных магнитных областей (Bipolar magnetic Regions, BMR). Возникновение и эволюция BMR, а также эволюция глобальных свойств солнечного магнитного поля имеют решающее значение для понимания солнечного цикла и действия динамо в целом.

Магнитное поле на поверхности Солнца проявляется в виде большого разнообразия магнитных структур, которые значительно различаются как по размеру, так и по общему содержанию магнитного потока. Самые большие из этих структур образуют активные области (АО), BMR, которые характеризуются областями флоккул, порами и солнечными пятнами. В тоже время существуют малые BMR, не связанные с солнечными пятнами. Небольшие BMR появляются на поверхности Солнца, даже когда Солнце сравнительно спокойно. Самые маленькие из них называются эфемерными областями (ER) [1, 2]. Они имеют короткое время жизни, обычно от нескольких часов до одного дня. Эфемерные области появляются на высоких широтах за несколько лет до начала цикла солнечных пятен и про-

долгаются на низких широтах еще несколько лет после окончания цикла солнечных пятен. Такая картина активности носит название расширенного цикла солнечной активности (ESC) [3].

В данной работе мы исследуем свойства магнитных биполей Солнца, в том числе и биполей малого размера.

Данные и анализ данных

В качестве исходных данных нами использованы магнитограммы, полученные магнитографе космической обсерватории SDO/HMI в период 2010–2023 гг. экспозицией 45 сек. серии hmi.M_45s 5 наблюдений в день. Для выделения магнитных биполей применялась следующая процедура. Первоначально выделялись магнитные элементы интенсивность магнитного поля, в которых превышала некоторый пороговый уровень. Для магнитограмм SDO/HMI этот уровень составлял $B_t = \pm 50$ Гс. Магнитные элементы площадью менее 20 мдп не учитывались. Далее производилась процедура выделения биполярных элементов. Для этого каждой положительной области находилась парная отрицательная область, имеющая близкое значение магнитного потока $\text{abs}(\Phi_{-} - \Phi_{+}) / \text{abs}(\Phi_{-} + \Phi_{+}) < 50\%$ и находящаяся на минимальном расстоянии dr . Такая же процедура проводилась и для отрицательных областей, для которых находилась соответствующая положительная область на минимальном расстоянии dn . Если выбранные пары совпадали, считалось, что биполярная область идентифицирована.

Для выделения ориентации биполей мы рассматривали угол, отсчитываемый от положительного элемента в направлении к отрицательному. Направление магнитной оси биполя на восток принималось за положительное, направление на запад за отрицательное. В процессе обработки мы могли использовать различные фильтры, прежде всего, выбирая биполи в нужном диапазоне площадей и расстояния от центрального меридиана.

На рис. 1 представлено распределение магнитных биполей в диапазоне площадей S : 20–300 мдп, что соответствует площади, типичной для эфемерных областей на Солнце. Цвет области зависит от преимущественного знака направления магнитной оси. Красный в направлении от положительного элемента к отрицательному на восток, синий – на запад. Общее число выделенных биполей составило около 110 тыс.

На рис. 1 мы видим крупномасштабные структуры, начинающиеся на высоких широтах и заканчивающихся у экватора. Это соответствует концепции расширенного цикла активности. Закономерности ESC расширяют крылья бабочки активности назад во времени, за 6–8 лет до появления солнечных пятен и на более высоких солнечных широтах. Появление магнитных биполей тесно связано с 11-летним циклом активности. Наибольшее число биполей находится в области существования солнечных пятен. Направление магнитной оси биполей эфемерных областей на средних и низких широтах соответствует направлению магнитной оси АО в Хэйлов-

ском цикле. Но мы также видим преимущественные направления биполей на высоких широтах $\sim 50\text{--}60^\circ$.

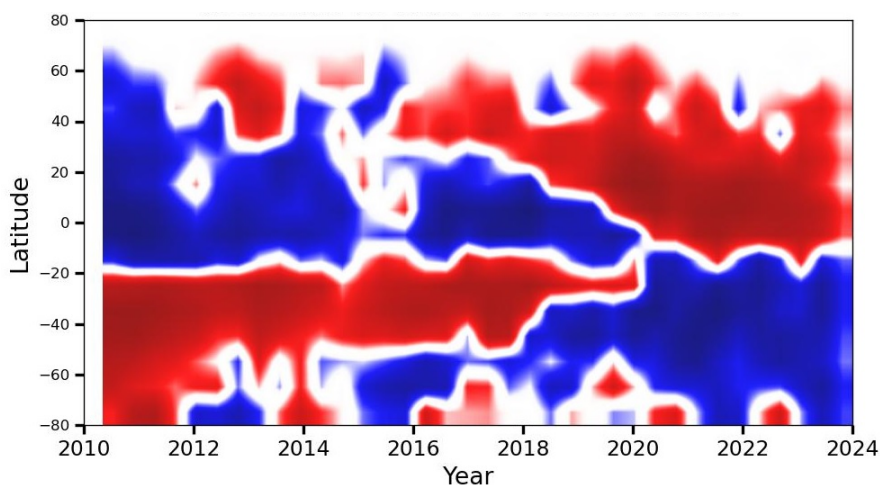


Рис. 1. Распределение биполей площадью $S:20\text{--}300$ мдп. Цвет зависит от знака направления магнитной оси. Красный в направлении от положительного элемента к отрицательному на восток, синий – на запад.

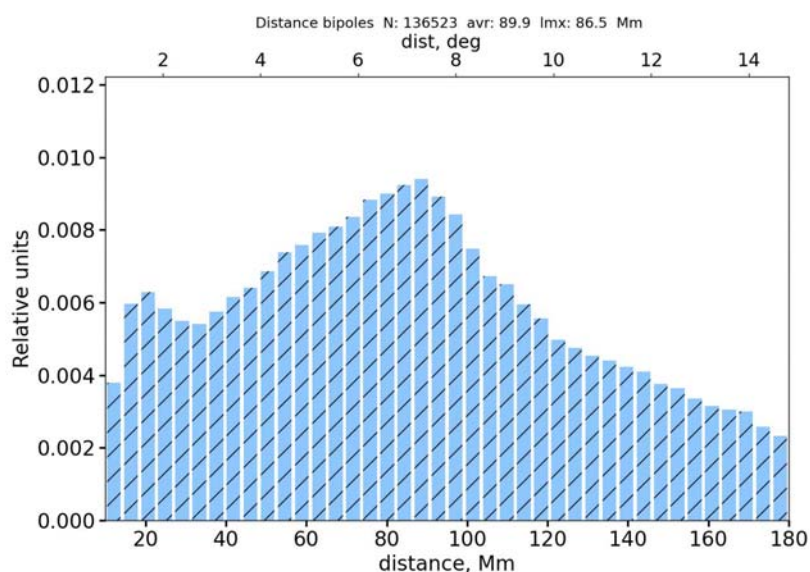


Рис. 2. Распределение относительного числа биполей в зависимости от размера магнитной оси.

На рис. 2,3 представлены свойства магнитных биполей. Размер магнитной оси, т.е. расстояние между положительным и отрицательным магнитными центрами l не монотонно. На рис. 2 мы видим локальные максимумы около $l \sim 20$ и 86 Мм. На рис. 3 мы рассмотрели связь тильт-угла и размера магнитной оси биполей. На этой диаграмме мы видим локальные максимумы, возможно, связанные с влиянием супергрануляции. Ранее близкие неоднородности были найдены в распределении тильт-угла [4].

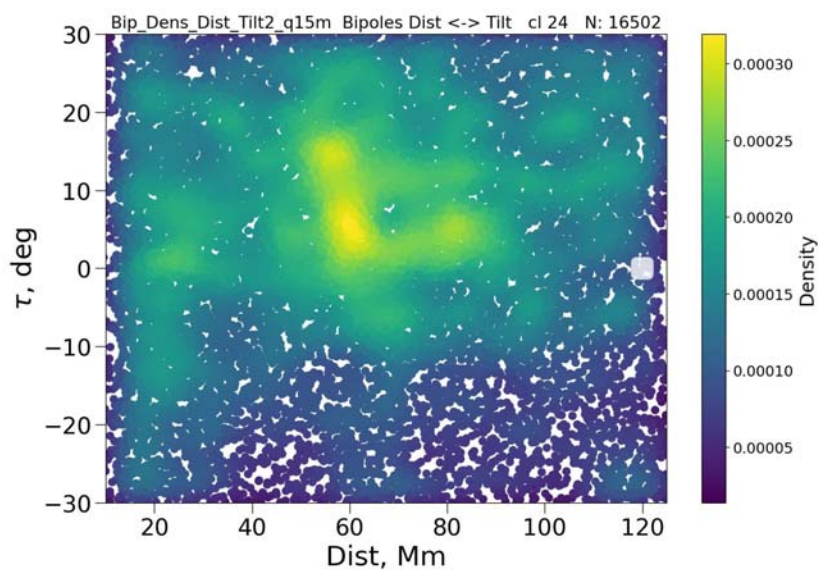


Рис. 3. Плотность распределение количества биполей в координатах тилт-угол размер магнитной оси биполей.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-22-00165.

Литература

1. Harvey, K.L., & Martin, S.F. // Sol. Phys., 1973, 32, 389.
2. Harvey, K.L. 1993, PhD Thesis, University of Utrecht, The Netherlands.
3. Wilson, P.R., Altrocki, R.C., Harvey, K.L., et al. // Nature, 1988, 333, 748.
4. Tlatov A.G., Tlatov K.A. // Geomagnetism and Aeronomy, 2018, V. 58, No. 7, pp. 959–965.