**О СВЯЗИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ
С ЭВОЛЮЦИЕЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЯТЕН
ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА БСТ-2 КРАО РАН: ЦИКЛЫ 22–24**

Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Малащук В.М.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пос. Научный, Крым, Россия

**ON THE CORRELATION OF SOLAR ACTIVITY AND EVOLUTION
OF SUNSPOT MAGNETIC FIELDS BASED
ON TST-2 CRAO MEASUREMENTS: CYCLES 22–24**

Akhtemov Z.S., Tsap Y.T., Malashuk V.M.

Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Based on visual spectral observations of the Zeeman splitting for FeI 6302.5 Å line carried out with the CrAO Tower Solar Telescope, the evolution of the maximum sunspot magnetic fields $B \geq 1500$ G from the 22nd to the 25th solar activity cycles was studied. The values of the magnetic field and Wolf numbers were averaged over different time intervals. Pearson's correlation coefficient for the period from 1990 to 2008 on average turned out to be 0.85 ± 0.10 , while it was 0.35 ± 0.23 from 2009 to 2019. The sunspot magnetic fields are changed with time cyclically in cycles 21 and 23 (1990–2008) with an amplitude of several hundred gauss, reaching maximum values at the peak of each cycle, although the synchronicity was not absolute. Meanwhile, the average strength of the magnetic field in the 24th solar cycle as distinguished from of the Wolf numbers increases monotonically. The results indicate a possible failure of sunspot formation mechanisms in the period from 2010 to 2018.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-43-46

Введение

Периодические изменения числа солнечных пятен указывают на то, что их образование связано с глобальными динамо-процессами на Солнце. С другой стороны, очевидная самоорганизация магнитных полей в компактные структуры показывает важность локальной динамики турбулентной конвекции. Теория динамо Паркера и некоторые наблюдательные данные предполагают наличие связи напряженности магнитного поля пятен с циклом солнечной активности [1–3]. Так, Pevtsov et al. [1, 2] построили зависимость усредненных за год максимальных суточных значений магнитных полей солнечных пятен от времени за период с 1920 по 2011 г. Согласно полученным результатам, напряженность поля меняется циклически в пределах нескольких сот гаусс, достигая максимума около пика каждого цикла, хотя синхронность не является абсолютной. Однако это несколько противоречит результатам Livingston and Watson [3], в соответствии с которыми усредненные магнитные поля пятен с напряженностью B с течением времени слабо меняются в 24 цикле и не зависят от фазы цикла. За период с 2010 по 2015 гг. значение поля $B = 2070 \pm 20,0$ Гс/год

(McMath-Pierce Solar Telescope in Arizona), а для спутниковых данных HMI SDO $B = 2050 \pm 18,0$ Гс / год.

Цель настоящей работы – исследовать эволюцию значений магнитного поля солнечных пятен с напряженностью $B \geq 1500$ Гс, усредненных за различные промежутки времени, на основе анализа спектральных наблюдений, проводимых на Башенном солнечном телескопе (БСТ-2) КрАО РАН с 1957 г.

Наблюдения и обработка данных

Для проведения исследований использовались данные наблюдений максимальных значений магнитных полей пятен за период с 1990 по 2021 г., находящиеся в свободном доступе на сайте <https://sun.crao.ru/observations/sunspots-magnetic-field>, которые следуют из визуальных спектральных измерений расщепления зеемановских компонент линии FeI 630.2 нм с g-фактором 2.5. На рис. 1а показан пример сводки с результатами наблюдений напряженностей солнечных пятен на БСТ-2 КрАО РАН. Отметим, что в среднем за год в Крыму насчитывается около 200 ясных дней. При этом реальная ошибка одного измерения магнитного поля пятен составляет $\pm(100-200)$ Гс.

Гистограмма распределения максимальных значений напряженности магнитного поля пятен с $B \geq 1500$ Гс, всего измерений $N = 31657$, с интервалом 200 Гс приведена на рис. 1б. Как видно, наиболее часто встречаются пятна с магнитным полем в диапазоне значений от 1900 до 2100 Гс, при этом максимальные напряженности не превышают 4000 Гс. Отметим также, что среднее значение магнитного поля за период с 1990 по 2021 гг. оказалось равным 2121 ± 2 Гс.

Числа Вольфа являются одним из основных количественных показателей солнечной активности. Поэтому для проведения сравнительного анализа мы воспользовались данными, находящиеся в свободном доступе на сайте Королевской обсерватории Бельгии <http://www.sidc.oma.be>. Графики изменения со временем напряженности магнитного поля пятен $B(t)$, построенные по данным БСТ-2 КрАО РАН, а также чисел Вольфа $W(t)$, усредненные за год и сглаженных методом скользящего среднего (adjacent-averaging), представлены на рис. 1в (1990–2008) и рис. 1г (2009–2021). Усредненные и сглаженные за полгода и квартал данные показаны соответственно на рис. 2а и 2б (1990–2008), а также на рис. 2в и 2г (2009–2021).

Нетрудно убедиться, что в 22–23 циклах, зависимости $B(t)$ и $W(t)$ согласуется с результатами Pevtsov et al. [1, 2], а поведение $B(t)$ и $W(t)$ в 24 цикле в период с 2010 до 2015 года соответствует результатам работы [3].

Рис. 1.

Рис. 2.

Обращает на себя внимание тренд, связанный с незначительным увеличением магнитного поля пятен в промежуток времени с 2010 по 2018 гг.

(24 цикл). Коэффициент корреляции Пирсона для сглаженных данных в 22–23 циклах около 0.85 ± 0.10 , а в 24 цикле – 0.35 ± 0.23 .

Выводы

Кратко сформулируем основные результаты работы.

- Усредненное магнитное поле солнечных пятен за период с 1990 по 2008 гг. (22 и 23 циклы) зависит от фазы цикла солнечной активности, что согласуется с результатами статей Pevtsov et al. [1, 2].
- В период с 2010 по 2015 год (24 цикл) усредненное магнитное поле солнечных пятен, как и в работе [3], слабо зависит от фазы цикла.
- Возможно, в 24 цикле произошел сбой в процессе пятнообразования, сопровождаемый доминированием иных механизмов (локальное динамо, NEMPI-механизм) [4–7].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (N20-52-26006) и Минобрнауки (НИР №0831-2019-0006).

Литература

1. Pevtsov A.A., Yu. A. Nagovitsyn, A.G. Tlatov, A.L. Rybak // *ApJ*, 2011, V.742:L36. P.1.
2. Pevtsov A.A., L. Bertello, A.G. Tlatov, et al. // *Solar Phys.*, 2014, V.289, Is. 2. P.593.
3. Livingston W., F. Watson // *Geophys. Res. Lett.* 2015, V. 42. P.9185.
4. Kleeorin N.I., I.V. Rogachevskii, A.A. Ruzmaikin // *Sov. Astron Lett.* 1989, V. 15. № 5. P. 274.
5. Kleeorin N.I., I.V. Rogachevskii, A.A. Ruzmaikin // *Sov. Phys. JETP*. 1990, V. 70. P. 878.
6. Bradenburg A., Rogachevskii I., Kleeorin N. // *New J. Phys.* 2016, V. 18. P. 1250011.
7. Losada I.R., J. Warnecke, K. Glogowski, et al. // *Proceedings International Astronomical Union*, 2017.