ШЛЕМОВИДНАЯ СТРУКТУРА КОРОНЫ 2019 ГОДА КАК ИНДИКАТОР 25 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Старкова Л.И.

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

THE HELMET STRUCTURE OF CORONA 2019 AS AN INDICATOR OF THE SOLAR CYCLE 25

Starkova L.I.

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

It was founded that the helmet structure of eclipse corona 2019 is similar to coronas in the end of solar cycles during 19th – 20th centuries. This fact most probably shows that the magnetic field generation is identical with situation in these cycles. To estimate the maximum of the solar cycle 25 can be used the connection between toroidal and poloidal component of magnetic field in these cycles. Such connection for the solar cycles 21–23 has been obtained between the indicators of poloidal and toroidal components as strength of polar magnetic field and Wolf number accordingly. From this connection the maximum cycle 25 is 125 Wolf number. This maximum slightly differs from maximum of cycle 24. This situation is like those in Dalton minimum at the 19th century beginning.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-273-276

Введение

В циклической генерации магнитного поля Солнца имеются, помимо 11-летней, долговременные вариации. Наиболее стабильная из которых является 210-летняя [1]. Значительное уменьшение величины 24 солнечного цикла, вероятно, связано именно с такой вариацией. Предыдущая ситуация с резким уменьшением мощности генерации произошла в начале XIX века, и продолжалась в течение 3-х солнечных циклов. Нынешний случай даёт возможность сравнить с периодом начала XIX века и на основе современных данных провести анализ условий пониженной генерации.

Для анализа таких условий необходимо изучить закономерности в проявлении процесса генерации магнитного поля. Наибольший интерес в настоящее время представляет ситуация с генерацией 25 солнечного цикла. Насколько в этом цикле проявятся те или иные ранее установленные закономерности. Для этой цели можно использовать амплитуду 25 цикла, которую принято отсчитывать в числах Вольфа. В работе [2] приведены результаты оценок максимума 25 цикла, использующих различные закономерности. И эти оценки в большинстве случаев дают небольшое превышение над максимумом 24 цикла. В то же время, моделирование в рамках динамо генерации прогнозирует максимум 25 цикла меньшим, чем у 24 цикла на 20% [3].

Методика

Амплитуда 25 солнечного цикла зависит от мощности генерации тороидальной компоненты магнитного поля. Наблюдательные данные и теоретические построения указывают на то, что эта максимальная мощность тороидальной компоненты магнитного поля определяется условиями генерации в предшествующую эпоху минимума солнечной активности. Индикаторами такой ситуации могут быть, в частности, геометрические свойства шлемовидной структуры короны Солнца [4].

Для нашей задачи изучения магнитной ситуации эпохи минимума используем широтный градиент кривизны оси корональных шлемов. Величина этого градиента ($dn/d\phi$) в зависимости от фазы солнечного цикла приведена на рис. 1, где данные, относящиеся к окончанию цикла, отмечены квадратами, а те, которые относятся к началу цикла, даются кружками. Эти данные аппроксимируются линейными трендами. Фаза цикла рассчитывается как отношение временных интервалов между моментами изучаемой короны t и ближайшим минимумом $t_{\min}$ к интервалу между моментами максимума цикла и минимума $|t_{\max} - t_{\min}|$. Нулевая фаза – граница между циклами.

Рис. 1.

Результаты

Изучение геометрических параметров корональных шлемов проводится по изображениям корон, получаемых во время полных солнечных затмений. Для нашего случая минимума 24/25 солнечных циклов подходит корона затмения 2 июля 2019 года. Это затмение произошло в конце 24 цикла. Новый 25 солнечный цикл, вероятно, начался в октябре 2019 года, поскольку с ноября количество магнитных биполярных областей на фотосфере нового цикла стало устойчиво больше, чем аналогичных областей 24

цикла. Таким образом, получается, что корона 2019 года относится к фазе цикла ≈ -0.04 .

На рис. 2 приведено структурное изображение короны 2019 года, составленное Друкмиллером [5]. Конфигурация шлемов имеет типичный вид корон эпох минимумов. Наиболее близкие формы имеют короны именно при такой же фазе цикла 17 мая 1901 г. и 30 июня 1954 г.

Рис. 2.

Расчеты широтного градиента кривизны осей шлемов короны 2019 года (рис. 2) дали величину $dn/d\varphi = -0.016$. Эта величина отмечена пунктирной линией на рис. 1. Такой градиент имеет место при фазах цикла -0.26 и -0.04 для корон XIX–XX веков (рис. 1). И корона 2019 года, как было показано выше, относится к фазе -0.04 . Такое совпадение с зависимостью рис. 1 означает, что характер генерации в минимуме 24/25 циклов аналогичен ситуации в минимумах солнечных циклов до «сбойного» 24 солнечного цикла. И факт такого совпадения позволяет оценить амплитуду 25 цикла по ранее имевшим место закономерностям между мощностью генерации магнитного поля в максимуме и минимуме солнечного цикла.

В эпоху минимума солнечной активности мощность генерации отражают магнитные поля в полярной зоне. Магнитные поля полярной зоны регулярно регистрируются на обсерватории Wilcox (WSO). По данным WSO максимальные напряженности полярного магнитного поля B_p в минимумах 1986 г. и 1996 г. составляют 1.29 Гс и 1.04 Гс соответственно [6]. Количественной характеристикой мощности генерации тороидальной компоненты магнитного поля является число Вольфа. Максимальные значения

числа Вольфа $W_{\max}$ для циклов 22 и 23 принимаются как среднегодовые усреднения 212.5 и 180.3 по версии 2.0 [7]. По этим имеющимся данным возможно получить искомую закономерность в виде степенной зависимости вида:

$$W_{\max} = k B_p^n, \quad (1)$$

где параметры $k = 175$, $n = 0.76$ для 22 и 23 солнечных циклов. Тогда из формулы (1) ожидаемый максимум 25 цикла будет $W_{\max} = 125$. Это значение получено с учётом того, что наблюдаемая максимальная напряжённость полярного поля в минимуме 24/25 циклов составила $B_p = 0.64$ Гс [6].

Выводы

Проведённый анализ условий генерации в минимуме 24/25 солнечных циклов показал, что они аналогичны условиям в XIX–XX веках. В предположении, что такая аналогия будет иметь место и в период максимума солнечной активности, получена оценка амплитуды 25 солнечного цикла $W_{\max} = 125$ в единицах числа Вольфа. Это значение немного ($\approx 7\%$) превышает амплитуду 24 цикла ($W_{\max} = 116$). Такое малое различие мощностей 25 и 24 циклов соответствует ситуации начала XIX века солнечных циклах 5 и 6 [7]. И это соответствие указывает на то, что режим пониженной генерации магнитного поля Солнца начала XXI века аналогичен эпохе минимума Дальтона начала XIX века.

Литература

1. Ogurtsov M.G., Nagovitsyn Yu.A., Kocharov G.E., Jungner H. // Solar Phys., 2002, v. 211, p. 371-394.
2. Bisoi S.K., Janardhan P., Ananthakrishnan S. // Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2019, v. 125, pe2019JA027508.
3. Labonville F., Charbonneau P., Lemerle A. // Solar Phys., 2019, v. 294, p. 82.
4. Merzlyakov V.L., Starkova L.I. // Geomagn. Aeron., 2019, v. 59, № 8, pp. 1103–1107.
5. <http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Eclipse/index.htm>
6. <http://wso.stanford.edu/gifs/Polar.gif>
7. <http://sidc.oma.be/silso/>