

ПЕРЕПОЛЮСОВКА В 25-М ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЦА И НАБЛЮДЕНИЙ В ЛИНИИ H_α

Березин И.А., Тлатов А.Г.

Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

POLARITY REVERSAL IN THE 25TH ACTIVITY CYCLE ACCORDING TO THE DATA OF SOLAR MAGNETIC FIELD MEASUREMENTS AND OBSERVATIONS IN THE H_α LINE

Berezin I.A., Tlatov A.G.

Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Kislovodsk, Russia

The results of 10-year observations of the Sun's magnetic fields using the STOP magnetograph at the Kislovodsk Mountain Astronomical Station are considered. The distribution of large-scale magnetic fields is analyzed. The polarity reversal of magnetic fields according to the data of different magnetographs was studied. We also compared the movements of the polarity reversal lines of large-scale magnetic fields with the position of solar filaments and prominences observed in the H_α . It is found that filaments and prominences are formed mainly at the boundaries of sectoral and zonal structures of the large-scale magnetic field. During the solar activity cycle, sectoral structures repeatedly reach the polar regions, which is confirmed by both magnetographic observations and measurements in the H_α line. A differential rotation of the large-scale field with characteristic periods at the equator of 27, 14, 9, 7, 5 days was found. The structures with smaller period of variation rotate more differentially.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-29-32>

Введение

На Горной Астрономической Станции (ГАС) ГАО измерения крупномасштабного магнитного поля Солнца ведутся с помощью магнитографа СТОП с 2014 года [1]. Ряд данных не имеет существенных пробелов – все синоптические карты 2152–2289 оборотов Кэррингтона заполнены наблюдениями и находятся в открытом доступе ([http://93.180.26.198:8000/web/Stop/Synoptic maps/](http://93.180.26.198:8000/web/Stop/Synoptic%20maps/)). Имея в своём распоряжении непрерывный ряд данных за 10 лет работы телескопа, мы можем рассматривать такие продолжительные процессы, как переполусовка – смена полярности глобального магнитного поля Солнца, которая сейчас, осенью 2024 года, в самом разгаре.

При измерениях слабых крупномасштабных магнитных полей на Солнце очень важная проблема – верное определение нейтральных линий поля или линий смены полярности. Проверить правильное положение нуля в измерениях можно, сопоставив нейтральные линии с положением волокон (протуберанцев). Мы используем для этого ежедневные данные наблюдений ГАС ГАО в линии H_α , в которых сегментируются все волокна на диске Солнца и протуберанцы за лимбом.

Использованные в исследовании параметры волокон (протуберанцев), включая их полную геометрию в экранной плоскости, также находятся в открытом доступе (<http://93.180.26.198:8000/web/obs/>).

Переполюсовка и секторная структура

Мы рассматриваем процесс переполюсовки на супер-синоптических картах магнитного поля (рис. 1, нижняя панель). Супер-синоптические карты устроены аналогично более традиционным широтно-временным диаграммам (рис. 2, верхняя панель) за исключением меньшего шага усреднения по временной оси или по гелиографической долготе – 1 день вместо 27 дней. Меньший шаг усреднения позволяет детально рассматривать эволюцию секторных структур магнитного поля.

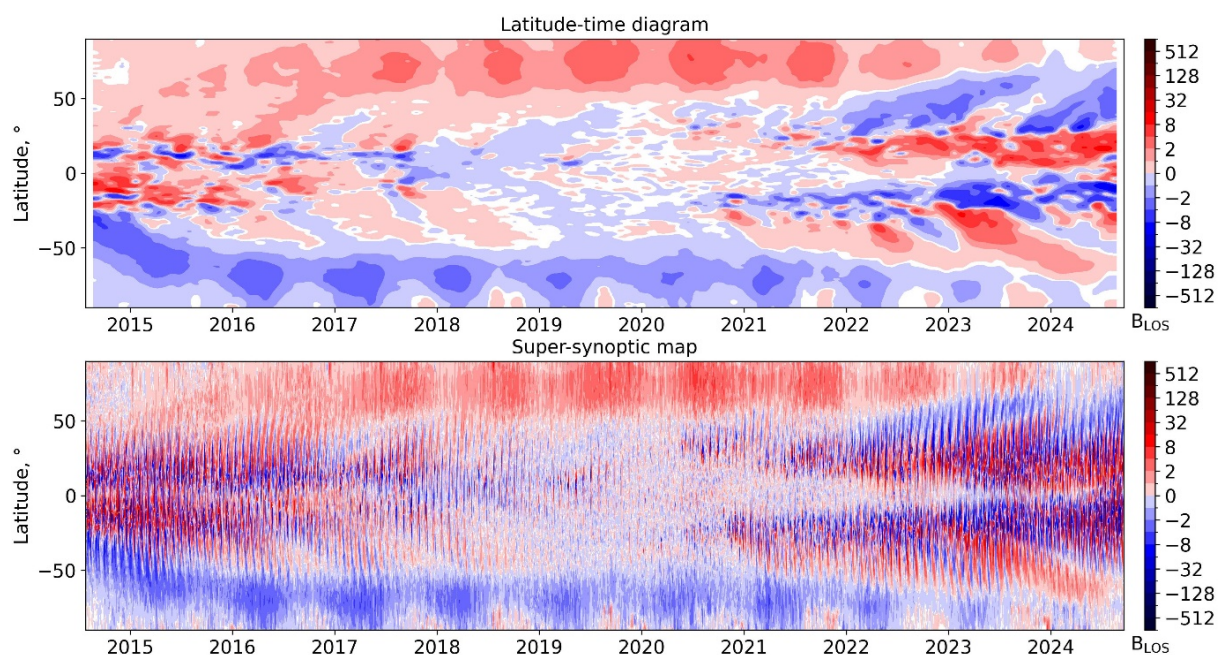


Рис. 1. Широтно-временная диаграмма крупномасштабного магнитного поля (верхняя панель) и супер-синоптическая карта (нижняя панель) по данным магнитографа СТОП (2014–2024 гг.).

На рис. 1–2 видно, что смена полярности в 25-м цикле активности близка к завершению. В процессе развития солнечного цикла крупномасштабные структуры магнитного поля постепенно достигают полюсов с противоположным знаком, и это может происходить несколько раз за цикл – тогда говорят о двухкратной (трёхкратной и т.д.) переполюсовке (рис. 1, верхняя панель). Однако супер-синоптические карты показывают, что секторные структуры магнитного поля могут достигать полярных областей неоднократно в течение цикла (рис. 1, нижняя панель), демонстрируя многократную переполюсовку. Аналогичная картина наблюдается и в данных SDO/HMI.

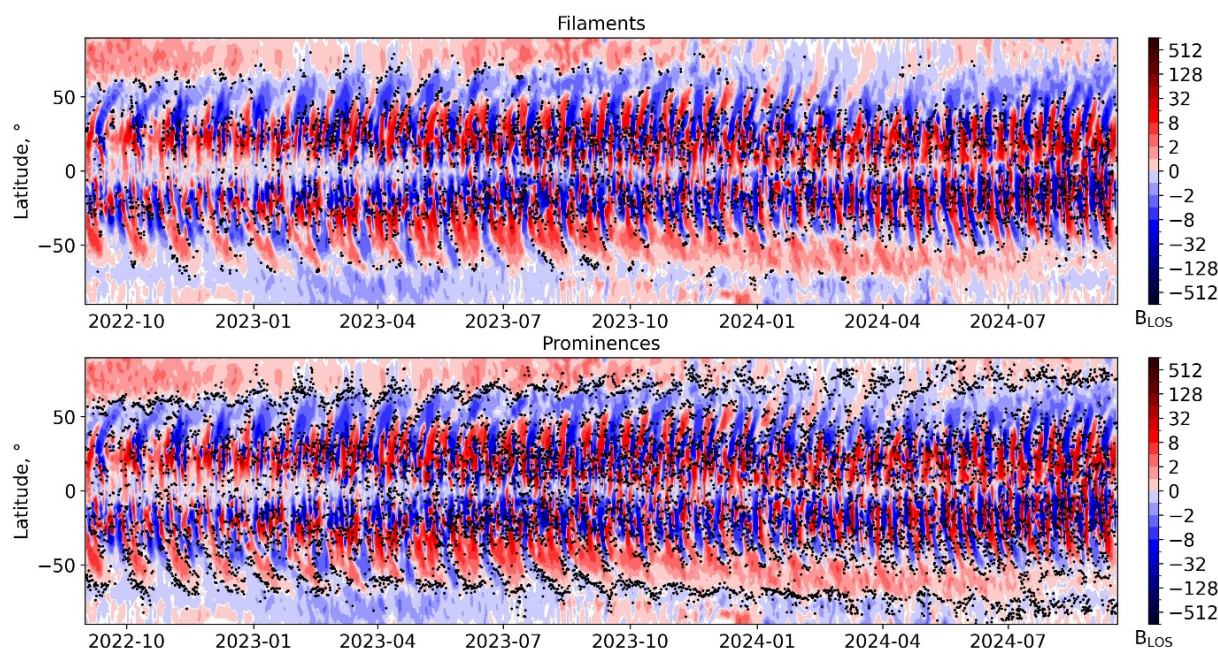


Рис. 2. Супер-синоптическая карта по данным магнитографа СТОП (2022–2024 гг.); чёрными точками отмечены положение волокон (верхняя панель) и протуберанцев (нижняя панель) по данным измерений в линии H_{α} .

Измерения магнитных полей на высоких широтах очень сложны, и результаты существенно зависят от качества прибора. Именно поэтому мы рассматриваем также эволюцию положений волокон (протуберанцев) (рис. 2), которые независимо подтверждают присутствие секторной структуры в полярных областях.

Дифференциальное вращение секторных структур

Известно, что крупномасштабное магнитное поле Солнца характеризуется дифференциальным вращением [2]. Интересно посмотреть, как дифференциальное вращение проявляется в периодически сменяющихся секторных структурах, которые отчётливо видны на рис. 1–2. Для этого мы строим периодограммы на каждом горизонтальном разрезе супер-синоптической карты. В результате получается широтно-частотная диаграмма (рис. 3, слева), яркие области которой соответствуют наиболее характерным частотам вариаций магнитного поля на каждой широте. Эти яркие области формируют структуры, напоминающие кривые дифференциального вращения с периодами на экваторе 27, 14, 9, 7, 5 дней. Структуры прослеживаются практически до 80° широты, несмотря на высокую неопределённость в высокоширотных измерениях. Мы аппроксимируем их соотношением:

$$\vartheta = A - B \cdot \sin^2(lat) - C \cdot \sin^4(lat),$$

где A , B , C – постоянные коэффициенты, ν – частота, lat – широта. Полученные кривые дифференциального вращения показывают, что структуры,

связанные с вариациями меньшего периода, вращаются более дифференциально (рис. 3, справа).

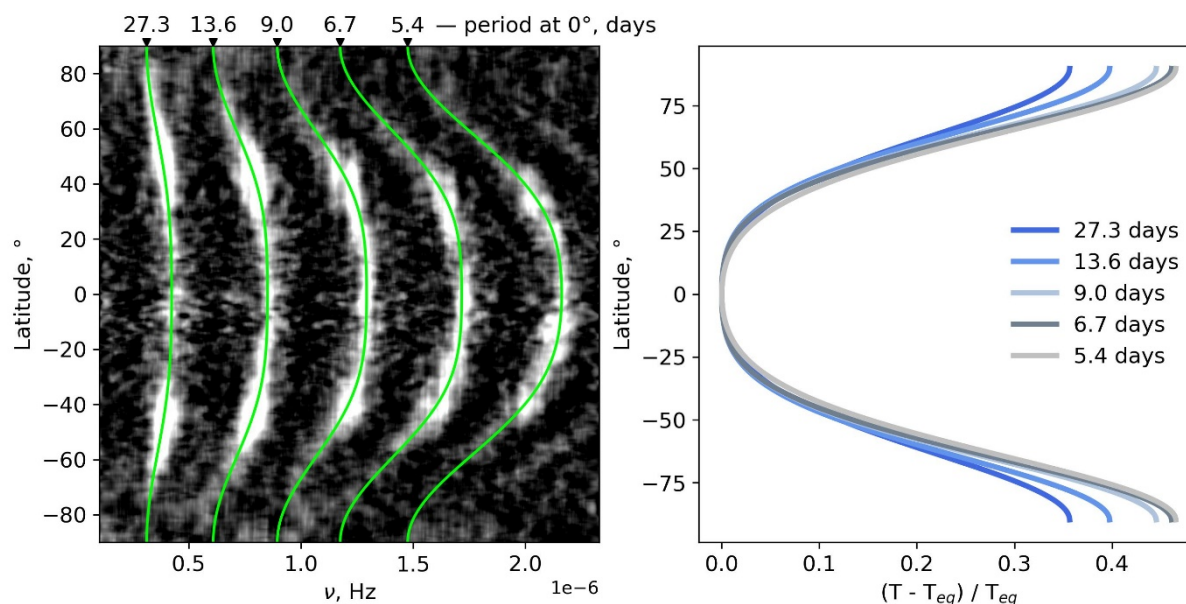


Рис. 3. Левая панель: периодограмма супер-синоптической карты магнитного поля по данным СТОП за 2014–2024 гг., кривыми показана аппроксимация максимумов распределения частот вариаций крупномасштабного поля. Правая панель: соответствующие кривые дифференциального вращения; T – период изменений.

Выводы

Мы считаем, что переполюсовка может быть связана с секторными структурами магнитного поля, которые многократно достигают полюсов в течение цикла солнечной активности, то есть имеет место многократная переполюсовка. Это подтверждается измерениями крупномасштабного магнитного поля и наблюдениями волокон и протуберанцев в линии H_{α} .

В супер-синоптических картах видны крупномасштабные структуры с различными характерными периодами на экваторе: 27, 14, 9, 7, 5 дней. Период изменения этих структур неоднороден по широте и, вероятно, связан с дифференциальным вращением, причём короткопериодические структуры более дифференцированы по широте.

Работа выполнена по госзаданию Минобрнауки РФ № 075-03-2024-113 «Разработка новых наблюдательных и теоретических подходов в прогнозе космической погоды по данным наземных наблюдений».

Литература

1. Пещеров В.С., Григорьев В.М., Свидский П.М., и др. Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения // Автометрия. 2013. Т. 49, № 6. С. 62–69.
2. Stenflo J.O. Differential Rotation and Sector Structure of Solar Magnetic Fields // Solar Physics. 1974. Vol. 36. P. 495–515.