

ДИНАМИКА КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР В СОЛНЕЧНОМ МИНИМУМЕ 24/25

Андреева О.А.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

CORONAL HOLE DYNAMICS IN THE SOLAR MINIMUM 24/25

Andreeva O.A.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-11-14>

We present a study of the evolution of two types of coronal holes (CHs) in the solar minimum of 24/25, which was preceded by a prolonged minimum of 23/24 and a weak 24 solar cycle. The goal of the study is to clarify whether the behavior of CHs during this period is also unusual? A two-year period, period from 2019 to 2020, around the absolute minimum (December 2019), when solar activity is consistently low, is chosen for the analysis. The study is based on the material of observations obtained by SDO/AIA/193. The Heliophysics Events Knowledgebase was used to localize the CHs and calculate their areas. Analysis of the evolution of the areas of polar and nonpolar coronal holes in solar minimum 24/25 revealed a number of features. The hemispheric asymmetry is evident both in solar activity indices and in the localization of maxima of polar and non-polar CH areas. The hemispheric area imbalance is minimal for polar coronal holes and pronounced in the regions of nonpolar CHs and sunspots. This is consistent with the general concept of polar CHs as the main source of the Sun's dipole magnetic field. The areas of polar CHs significantly exceed the areas of nonpolar CHs and make a significant contribution to the total area of all coronal holes in the solar disk.

Введение

Многочисленные исследования показывают, что структура короны достаточно сложная и динамичная и зависит, с одной стороны, от пространственного распределения солнечных образований на его поверхности, а с другой стороны, от фазы солнечного цикла. В период минимума активности области открытого поля над полюсами достигают своего максимального расширения, а количество низкоширотных областей замкнутого сильного поля минимально. Дипольная структура глобального магнитного поля в этот период ярко выражена. Корональные дыры (КД) являются неотъемлемой частью цикла солнечной активности, поскольку представляют собой открытое магнитное поле. Анализируя динамику КД, в частности, их площадей, мы можем судить о динамике Солнца и ходе цикла.

24-й цикл солнечной активности был одним из самых слабых циклов за последние 100 лет наблюдений. Цикл и предшествующий ему затянувшийся минимум 23/24 отличались от предыдущих циклов и минимумов по ряду параметров. Поскольку они имели особый характер, то естественно возникает вопрос: является ли солнечный минимум 24/25 также необыч-

ным? Данный вопрос мотивирует ученых более детально исследовать этот минимум. В работе [1] авторы сравнили минимум 24/25 с двумя предыдущими и показали:

- Минимумы 24/25 и 23/24 показывают более низкий уровень активности, чем минимум 22/23.
- Напряженность полярного поля минимума 24/25 в среднем выше, чем минимума 23/24, но все же слабее минимума 22/23.
- Асимметрия полярного поля с севера на юг более очевидна в течение минимума 24/25, чем во время минимума 23/24. Аналогичная асимметрия север-юг наблюдается в минимуме 22/23.

Мы, со своей стороны, решили проанализировать минимум 24/25 на предмет особенностей эволюции КД в этот период. Эволюция КД в масштабе солнечного цикла исследовалась нами в работе [2]. В результате обработки массива площадей КД, были получены временные вариации суточной суммарной площади КД (рис. 1). Выявлена асимметрия полушарий в распределении площадей пятен и двух типов КД.

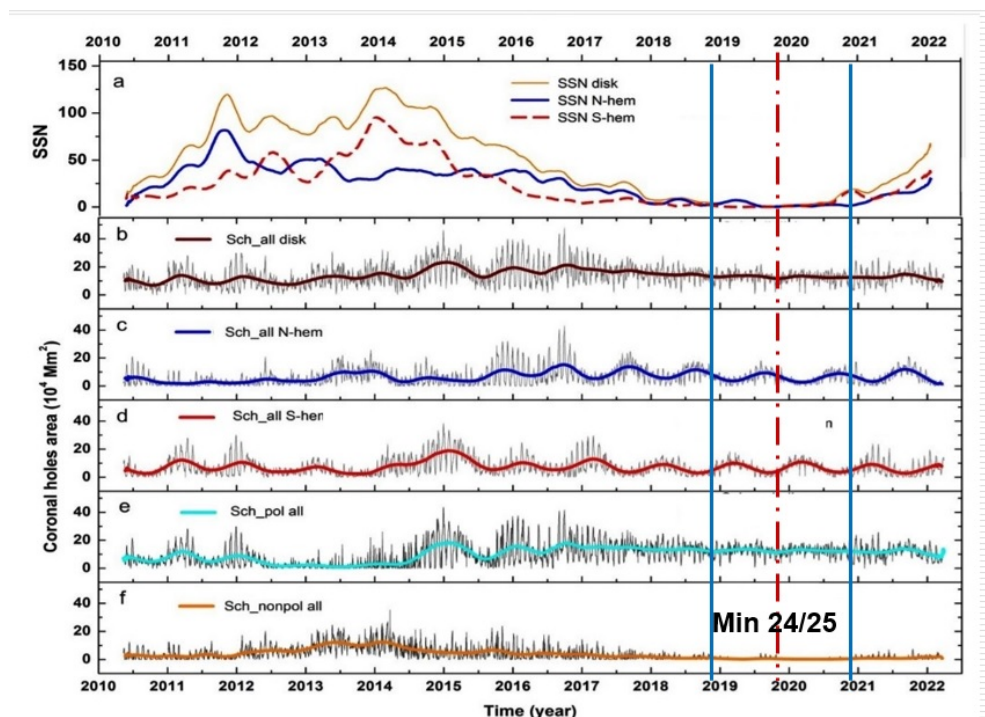


Рис. 1. Временные вариации суточной суммарной площади корональных дыр всей видимой поверхности солнечного диска (b), N и S полушар (c, d); полярных и неполярных (e, f). (a) – Вариации индекса солнечной активности SSN для видимой поверхности диска Солнца и отдельно для полушар.

В настоящей работе мы выделяем из полученных нами ранее [2] рядов интервал, соответствующий минимуму 24/25 (рис. 1), проводим анализ и оцениваем вклад полярных и неполярных корональных дыр в эволюцию и полушарную асимметрию крупномасштабной солнечной активности в этот

период (рис. 2). Мы хотим, хотя бы частично, ответить на поставленный ранее вопрос: «Является ли минимум 24/25 *особенным* в плане эволюции КД?».

Вариации площадей полярных и неполярных КД в минимуме 24/25

Чтобы проанализировать характер солнечного минимума, обычно выбирают период времени вокруг абсолютного минимума (у нас это декабрь 2019 года), когда солнечная активность постоянно низка. Как видно из рис. 1а, уровень активности солнечных пятен низок в 2-летний период вокруг абсолютного минимума 24-го солнечного цикла, поэтому мы выбираем период с 01.12.2018 по 31.12.2020 год для анализа минимума 24/25. Данные SSN получены из индекса солнечных пятен и долгосрочных наблюдений за Солнцем (SILSO).

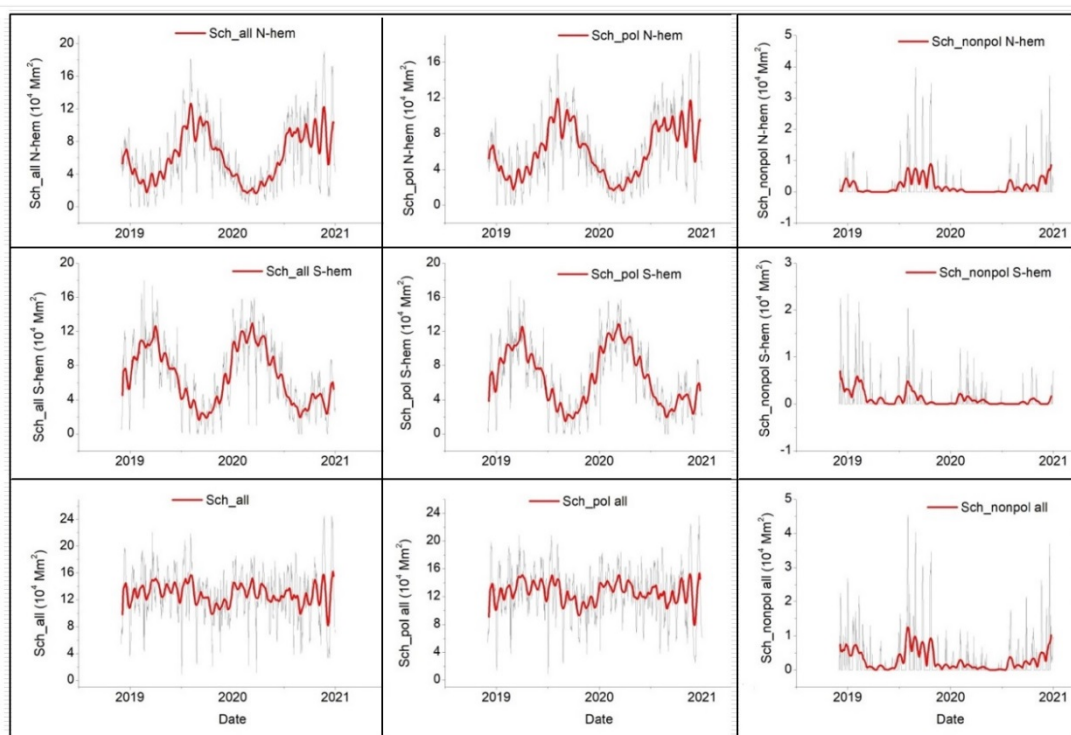


Рис. 2. Динамика площадей корональных дыр в солнечном минимуме 24/25. Панели слева направо: площади всех, полярных, неполярных КД. Панели сверху вниз: площади КД в N- и S- полушариях, а также на всей видимой поверхности диска Солнца.

Рисунок 2 демонстрирует динамику площадей всех, полярных и неполярных корональных дыр (колонки слева направо), наблюдаемых в N- и S-полушариях и на всей видимой поверхности диска Солнца (строки сверху вниз) в минимуме 24/25. Очевидна разница в работе полушфер по генерации как полярных, так и неполярных корональных дыр. В начале минимума по генерации неполярных корональных дыр лидирует южное, а перед и после абсолютного минимума – северное полушарие. Для полярных КД асимметрия менее выражена. Наблюдается полушарная асимметрия во

времени появления максимальных пиков площадей для обеих групп. Видно, что полярные корональные дыры вносят значимый вклад в общую площадь всех КД.

Выводы

Анализ эволюции площадей полярных и неполярных корональных дыр в солнечном минимуме 24/25 выявил ряд особенностей:

- Полушарная асимметрия проявляется как в показателях солнечной активности, так и в локализации областей максимума полярных и неполярных корональных дыр.
- Дисбаланс площадей полушарий минимален для полярных корональных дыр и выражен в областях неполярных корональных дыр и солнечных пятен. Это согласуется с общей концепцией полярных корональных дыр как основного источника дипольного магнитного поля Солнца.
- Площади полярных корональных дыр существенно превышают площади неполярных, и вносят значительный вклад в общую площадь всех корональных дыр на диске Солнца.

Суммарная площадь полярных корональных дыр приблизилась к среднему уровню значений около $(12.5 \pm 0.8) \times 10^4 \text{ Мм}^2$. В то время как площадь всех неполярных корональных дыр составляет всего около $0.5 \times 10^4 \text{ Мм}^2$.

Конечно, понятие «необычный солнечный минимум» многогранно, но что касается эволюции полярных и неполярных корональных дыр, то солнечный минимум 24/25 по своему поведению сравним с более ранними минимумами, в отличие от минимума 23/24.

Литература

1. *Huichao Li et al.* // *ApJL*. 2021. 917:L26. DOI 10.3847/2041-8213/ac13a6
2. *Andreeva O.* // *ASR*. 2023. V. 71. № 4. P. 1915. DOI 10.1016/j.asr.2022.07.043