

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУР ХРОМОСФЕРНОЙ СЕТКИ ПО ДАННЫМ С КИТАЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ASO-S: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Н.В. Карачик, Е.П. Миненко

Астрономический институт Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,
ninakarachik@mail.ru

INVESTIGATION OF THE CHROMOSPHERIC NETWORK STRUCTURES USING DATA FROM THE CHINESE SPACE OBSERVATORY ASO-S: PRELIMINARY RESULTS

N.V. Karachik, E.P. Minenko

Ulugh Beg Astronomical Institute of Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, ninakarachik@mail.ru

Аннотация. Первая комплексная китайская космическая солнечная обсерватория ASO-S (Advanced Space-based Solar Observatory), запущенная 8 октября 2022 г., имеет на борту три основных инструмента. Нами были использованы данные с солнечного телескопа Лайман- α (LST — Lyman- α Solar Telescope) для исследования структур хромосферной сетки. С помощью разработанной нами методики на основе функции WATERSHED были автоматически определены контуры хромосферной сетки и оценены типичные размеры ее ячеек.

Ключевые слова: хромосферная сетка, супергранулы, хромосфера

Abstract. The first comprehensive Chinese dedicated solar observatory in space ASO-S (Advanced Space-based Solar Observatory), launched on October 8, 2022, has three main instruments on board. We used data from the Lyman- α Solar Telescope (LST) to study the structures of the chromospheric network. Using the developed method based on the WATERSHED function, we automatically determined the contours of the chromospheric network and estimated the typical sizes of its cells.

Keywords: chromospheric network, supergranules, chromosphere

ВВЕДЕНИЕ

ASO-S (Advanced Space-based Solar Observatory) — первая комплексная китайская передовая космическая солнечная обсерватория, успешно запущенная 8 октября 2022 г. с космодрома Цзюцюань, Китай [Gan et al., 2023]. К основным научным целям ASO-S относятся изучение солнечного магнитного поля и два самых сильных вида извержений на Солнце — солнечных вспышек и корональных выбросов массы. Другими словами, обсерватория призвана наблюдать и изучать их формирование, эволюцию, взаимодействие и взаимное влияние. Для реализации этих научных целей ASO-S использует три инструмента на своем борту:

- векторный магнитограф полного диска (FMG — Full disc vector MagnetoGraph) для измерения векторного магнитного поля полного диска;
- устройство для формирования изображения жесткого рентгеновского излучения (HXI — Hard X-ray Imager) для наблюдения нетепловых сигналов от ≈ 30 до 200 кэВ, излучаемых энергичными электронами;
- и солнечный телескоп Лайман- α (LST — Lyman- α Solar Telescope) для наблюдения как солнечного диска, так и внутренней короны на расстоянии до 2,5 солнечных радиусов в Лайман- α и видимом свете.

В свою очередь телескоп LST состоит из следующих инструментов: Solar Disk Imager (SDI), Solar Corona Imager (SCI), White-light Solar Telescope (WST), и двух направляющих телескопов [Li et al., 2019].

Хромосферная сетка является связующим звеном между корональными магнитными структурами и их фотосферными основаниями, т.е. образуют переход

от фотосферных силовых трубок к корональным петлям и открытым силовым линиям. Изучение эволюции, динамики и взаимосвязи ячеек хромосферной сетки с другими образованиями солнечной атмосферы (например, корональными дырами, активными областями, протуберанцами, корональными яркими точками и др.) является актуальной и важной задачей солнечной физики.

В данном докладе мы представляем методику выделения границ хромосферной сетки на снимках с солнечного телескопа Лайман- α (LST инструмента SDI) на борту обсерватории ASO-S и полученные первые результаты анализа размеров ячеек хромосферной сетки.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами были использованы цифровые снимки с космической обсерватории ASO-S телескопа LST с инструмента SDI, предназначенного для формирования снимков Солнца от центра диска до 1,2 солнечных радиусов в диапазоне волн Лайман-альфа ($\text{Ly}\alpha$) $121,6 \pm 4,5$ нм. Размер цифровых снимков 4608×4608 пикселей, апертура инструмента 60 мм. Были использованы снимки за период с 1 апреля 2023 г. по 1 апреля 2024 г. с частотой примерно 1 снимок в сутки.

Предварительная обработка снимков (исправление темного тока, выравнивание поля, коррекция плохих/битых пикселей и т.д.) выполнена согласно предложенной разработчиками процедуре [http://asos.pmo.ac.cn/asoswebsite/guide/LST_Userguide_20230625.pdf].

Для изучения размеров и особенностей

распределения ячеек хромосферной сетки нами был разработан независимый от наблюдателя надежный алгоритм определения их границ. Наша методика основана на таком методе сегментации изображений как watershed или водораздел. Коротко суть метода водораздела можно объяснить следующим образом. Предлагается рассматривать изображение как некоторую карту местности, где значения яркостей представляют собой значения высот относительно некоторого уровня. Если эту местность заполнять водой, тогда образуются бассейны. При дальнейшем заполнении водой, эти бассейны объединяются. Места объединения этих бассейнов отмечаются как линии водораздела. Метод водораздела является одним из наиболее эффективных методов сегментации изображений.

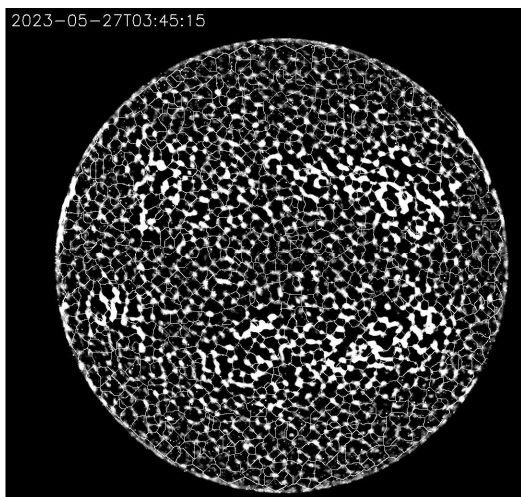


Рис. 1. Пример изображения LST/ASO-S за 27 мая 2023 г. с выделенными границами хромосферной сетки

Реализованная нами процедура выделения границ сетки состоит из следующих последовательных этапов:

- Вычитание из исходного изображения сглаженного с использованием фильтра размером 100 пикселей для удаления глобальных изменений фона на диске;
- Формирование бинарного изображения;
- Применение функции MORPH_CLOSE к полученному изображению для формирования более замкнутой структуры хромосферной сетки;
- Сегментация полученного изображения с помощью функции WATERSHED.

Разработанный алгоритм реализован в среде программирования IDL [Galloy, 2015]. С помощью созданной программы были обработаны 369 цифровых снимков телескопа LST/SDI.

На рис. 1 представлен пример изображения с выделенными с помощью разработанной нами методики границ хромосферной сетки. Как видно из рисунка, разработанная нами программа достаточно точно обрисовывает границы ячеек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно описанной выше методике были определены границы хромосферной сетки и оценены

типичные размеры ее ячеек. Размер ячеек определялся как диаметр круга с площадью равной площади ячейки. На рис. 2 представлена гистограмма распределения диаметра ячеек за весь рассматриваемый период.

Как видно из графика, максимум распределения диаметра ячеек соответствует значению 38 Мм, что очень близко к указанному в недавней обзорной работе по супергранулам [Rincon, Rieutord, 2018] пиковому значению в 30–36 Мм, полученному другими исследователями. Немного завышенное значение среднего диаметра может быть вызвано трудностями корректного определения границ хромосферной сетки на некоторых снимках со слабым контрастом особенно вблизи полюсов, а также различием в методах выделения и определения самих структур.

В дальнейшем мы планируем применять данную программу для исследования вариаций размера ячеек хромосферной сетки в зависимости от напряженности окружающего магнитного поля, фазы цикла солнечной активности, внутри корональных дыр и вблизи комплексов солнечной активности, а также особенностей локализации корональных ярких точек двух типов относительно границ сетки.

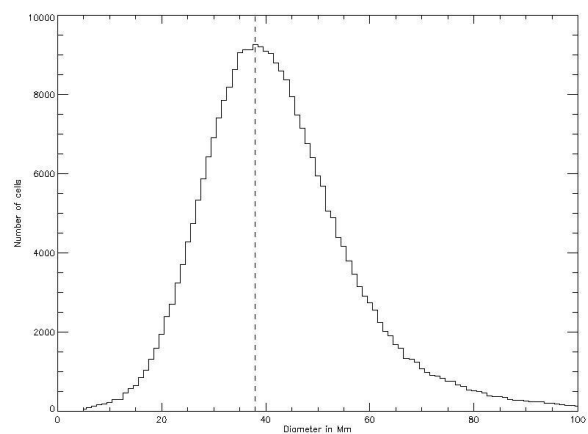


Рис. 2. Распределение диаметра ячеек хромосферной сетки

Миссия ASO-S поддерживается Программой стратегических приоритетных исследований в области космических наук Китайской академии наук, грант № XDA15320000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Galloy M. Modern IDL: A Guide to IDL Programming // Boulder. Colorado. 2015.
- Gan W.Q., Zhu C., Deng Y.Y. et al. The Advanced Space-Based Solar Observatory (ASO-S) // Solar Phys. 2023. V. 298, N. 5. article id. 68.
- Li H., Chen B., Feng L. et al. The Lyman-alpha Solar Telescope (LST) for the ASO-S Mission I. Scientific Objectives and Overview // Res. Astronomy and Astrophysics. 2019. V. 19, N. 11. article id. 158.
- Rincon F., Rieutord M. The Sun's supergranulation // Living Reviews in Solar Physics. 2018. V. 15. N. 1. article id. 6. URL: http://aso-s.pmo.ac.cn/asoswebsite/guide/LST_Userguide_20230625.pdf (дата обращения 13.06.2024).