

УДК 524.3-13

Формирование унифицированной базы данных наблюдений Солнца в линии He I 10830 Å, полученных в 1999–2023 гг. на телескопе БСТ-2 КрАО

О.А. Андреева, А.А. Плотников, В.М. Малащук

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
olga@crasrimea.ru

Поступила в редакцию 26 сентября 2023 г.

Аннотация. На телескопе БСТ-2 накоплен уникальный наблюдательный материал за более чем два солнечных цикла. В период с 1999 г. по настоящее время получено свыше 4500 карт полного диска Солнца в линии He I 10830 Å, позволяющих исследовать эволюцию и характеристики корональных дыр, волокон и активных областей. В связи с тем, что за этот период процесс наблюдений неоднократно претерпевал модернизацию разной сложности и вносились изменения в программы обработки, мы имеем несколько рядов карт Солнца разного вида. В работе поставлена задача обработать весь наблюдательный материал по единой методике и сформировать унифицированную базу данных наблюдений в линии He I 10830 Å. Дается краткое описание алгоритма обработки наблюдений, и приводятся фрагменты базы данных.

Ключевые слова: наблюдения в линии He I 10830 Å, база данных наблюдений Солнца, корональные дыры

1 Введение

Башенный солнечный телескоп – 2 (БСТ-2) был создан в начале 70-х годов прошлого века. Он предназначен для спектральных и монохроматических наблюдений Солнца. Одна из ежедневных программ мониторинга космической погоды – получение изображений Солнца в линии He I 10830 Å (He I).

Спектральные наблюдения в линии He I представляют собой полезный наземный метод изучения корональных особенностей диска Солнца. Эта линия образуется в хромосфере на высоте около 2000–3000 км и возбуждается ультрафиолетовым излучением, и именно в ней, возможно наблюдать корональные дыры (КД) с Земли. На диске Солнца КД в этой линии выглядят как более яркие области, чем окружающая корона.

Во второй половине 80-х годов прошлого века в КрАО на телескопе БСТ-2 под руководством Н.Н. Степанян были начаты работы по подготовке технических возможностей и программного обеспечения для наблюдений в линии He I. Начало наблюдениям в линии He I в КрАО на БСТ-2 было положено в 1989 г., а систематические наблюдения выполняются с 1999 года по настоящее время. Эти наблюдения необходимо продолжать и дальше для расширения ряда данных на текущий солнечный цикл.

2 Этапы модернизации БСТ-2

Вместе с тем за это время неоднократно выполнялась модернизация процесса наблюдений разной сложности, и процесс обработки изображений также претерпевал некоторые изменения. Этапы модернизации приведены ниже и подробно описаны в следующих работах:

1. Вторая половина 1980-х годов. Введен в строй солнечный спектрофотометр (Букач и др., 1990).

1998. Модернизация Универсального спектрофотометра (УСФ) (Степанян и др., 2000).
2019. Модернизация системы управления спектрофотометром (Семёнов и др., 2021).

Разработано полностью новое программное обеспечение (А. Куценко), сопровождающее процесс сканирования (работает под управлением Windows 10). А. Плотниковым написана новая программа последующей обработки результатов наблюдений на языке Python с применением библиотек SciPy, NumPy, Matplotlib и SunPy.

Модернизация 2019 года позволила улучшить качество получаемых изображений Солнца в линии He I, сократила время наблюдений и обработки. Остановимся более детально на этом этапе.

2.1 Программа сканирования SCANNER

На рис. 1 приведен интерфейс новой программы сканирования SCANNER в режиме “Спектр”. В этом режиме программа позволяет точно выставить центр линии He I перед началом сканирования.

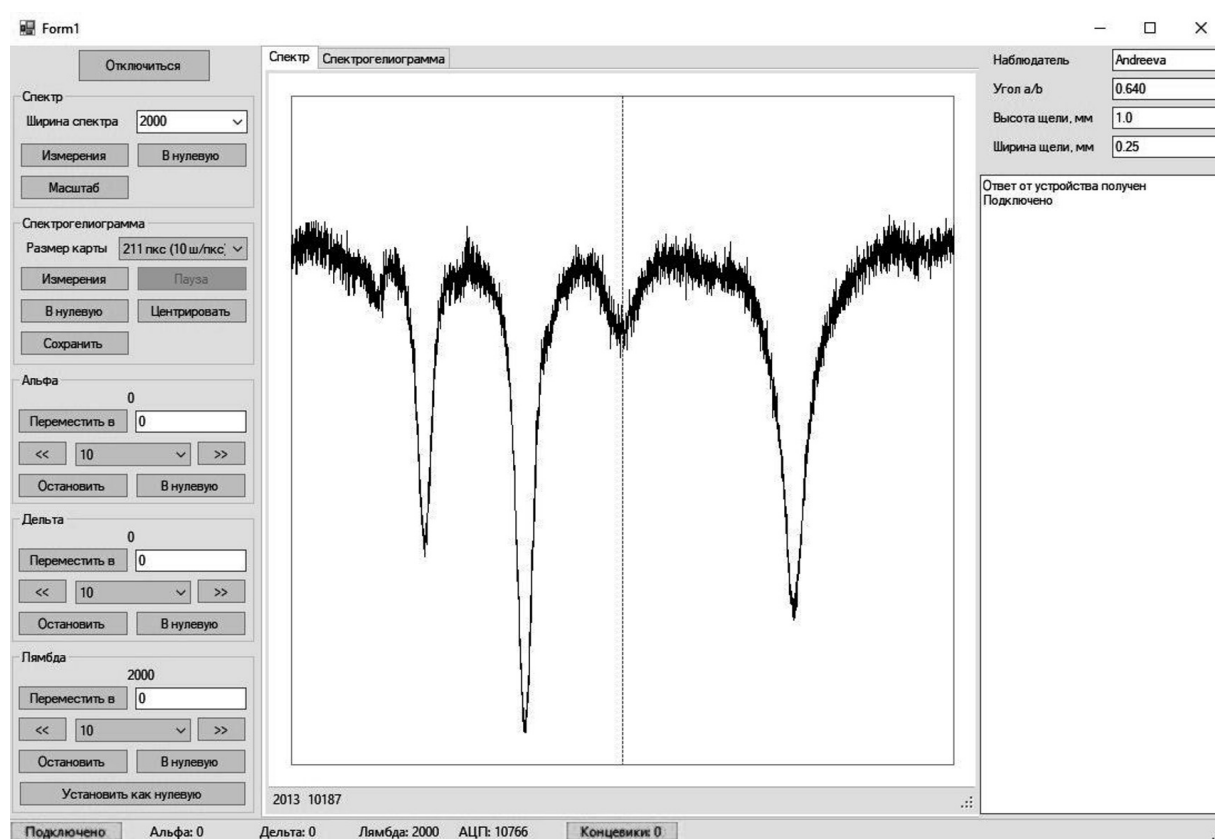


Рис. 1. Интерфейс программы SCANNER в режиме “Спектр”

В режиме “Спектрогелиограмма” мы получаем изображение Солнца в линии He I (рис. 2). Но до начала сканирования у нас есть возможность центрировать изображение на щели спектрографа, выбрать один из четырех вариантов (211 × 211 пкс; 321 × 321 пкс; 421 × 421 пкс; 701 × 701 пкс) размера карты полного диска Солнца, а соответственно и время сканирования: от 15 до 40 минут. Последняя опция является весьма актуальной при неустойчивой погоде. Появились новые возможности: ставить наблюдения на паузу в случае появления облаков и затем продолжить сканирование; сохранять часть диска в случае необходимости, а также ряд других. В результате сканирования мы получаем изображение, которое требует окончательной обработки (рис. 2). “Гребенка” на лимбе, потемнение к краю, не учтен наклон оси Солнца к плоскости экватора Земли на данную дату, а также положение целостатной пары телескопа (измеряется перед началом наблюдений) – все эти вопросы решаются в программе обработки наблюдений.



Рис. 2. Интерфейс программы SCANNER в режиме “Спектрогелиограмма”

2.2 Программа обработки результатов наблюдений

В программе реализованы алгоритмы, решающие следующие задачи:

1. Устранение последствий люфта при сканировании. Из-за люфта соседние строки сдвинуты относительно друг друга и по краям возникает “гребенка”. Решение: для каждой строчки сканирования определяется положение обоих краев диска (критерий – 0.5 от максимума интенсивности в строчке), после чего все строчки выравниваются по вертикали – центры строчек (среднее арифметическое положения краев) сводятся к одной координате по горизонтали.
2. Компенсация потемнения к лимбу. Интенсивность умножается на аксиально-симметричную функцию (полином четвертого порядка от радиуса), одинаковую для всех дисков.
3. Поворот изображения с учетом даты и положения целостатной установки на начало сканирования. Данные сохраняются в FITS-формате в двух вариантах: карта интенсивности с потемнением к лимбу и без него. Также, для удобства визуального анализа, данные сохраняются в формате JPEG-изображений с добавлением вспомогательной информации.

JPEG-файл представляет собой пару карт с изображениями диска Солнца, приведенных к разрешению 3.6×3.6 секунд дуги на пиксел (рис. 3). На картах также указаны данные регистрации изображений. Левое изображение – с потемнением к лимбу, правое – без потемнения. На оба изображения наложена сетка с шагом в 10° . На изображение добавлено соответствующее значение угла θ_0 – угла между солнечным экватором и лучом зрения.

В заголовок FITS-файлов внесена вся информация, регистрируемая во время сканирования изображения: дата и время наблюдения, ширина и высота щели спектрографа, угол наклона целостатной установки, размер пиксела в угловых единицах. Эти данные дают возможность пользователям легко проводить координатные преобразования для желаемого анализа.

Новая программа обработки позволяет осуществлять потоковую обработку изображений, что очень важно для нашей задачи унификации визуализации базы наблюдений.

CrAO/TST-2 10830 Å 2023-01-03 10:26:41 UTC

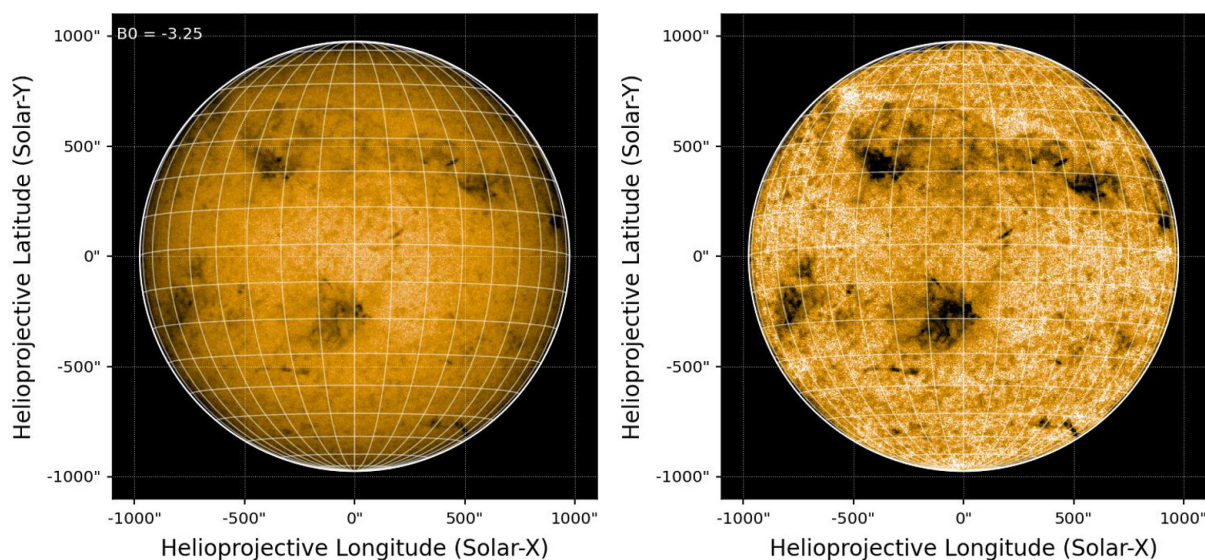


Рис. 3. Изображения Солнца, полученные в линии He I на Универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2. Слева – обработанное без учета потемнения к краю, справа – с учетом потемнения к краю

3 Формирование унифицированной базы данных

На сегодняшний день мы имеем базу данных наблюдений в линии HeI за период с 1999 по 2023 год на сайте¹ нашего отдела. Она позволяет выбрать любое изображение за интересующий нас период. Но, поскольку изображения были получены в разные периоды и обработаны разными программами, они визуально отличаются. Есть несколько причин для унификации:

1. Благодаря тому, что новое программное обеспечение, формирующее окончательное изображение, позволяет в достаточно приемлемые сроки проанализировать в потоке большое количество данных, у нас появилась возможность обработать весь наблюдательный материал по единой методике и привести визуализацию всех наблюдений к единому виду. Это удобно для анализа, сравнения и просмотра полученных карт Солнца.
2. Ранее публикуемая база ограничивалась только одним изображением в день, хотя зачастую наблюдений было больше.
3. В данный момент на сайте доступны только JPEG-изображения наблюдений, чего недостаточно для компьютерных методов анализа. Базу необходимо дополнить и FITS-файлами.

По этим причинам мы приступили к формированию новой базы. По окончании работы она будет доступна по существующей ссылке. Планируется, что данные будут доступны в трех видах: JPEG (пример на рис. 3), FITS с потемнением к лимбу, FITS с компенсацией потемнения к лимбу. Фрагменты унифицированной базы данных приведены на рис. 4.

4 Заключение

В результате формирования унифицированной базы наблюдений в линии He I 10830 Å, полученных на Универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2 КрАО с 1999 года по настоящее время мы получаем удобную для просмотра, анализа и сравнения единую визуализацию наблюдательного материала. База данных дополняется недостающими ранее картами полного диска Солнца. Становятся

¹ <https://sun.crao.ru/observations/izobrazheniya-solntsa-v-linii-hei-1083nm>

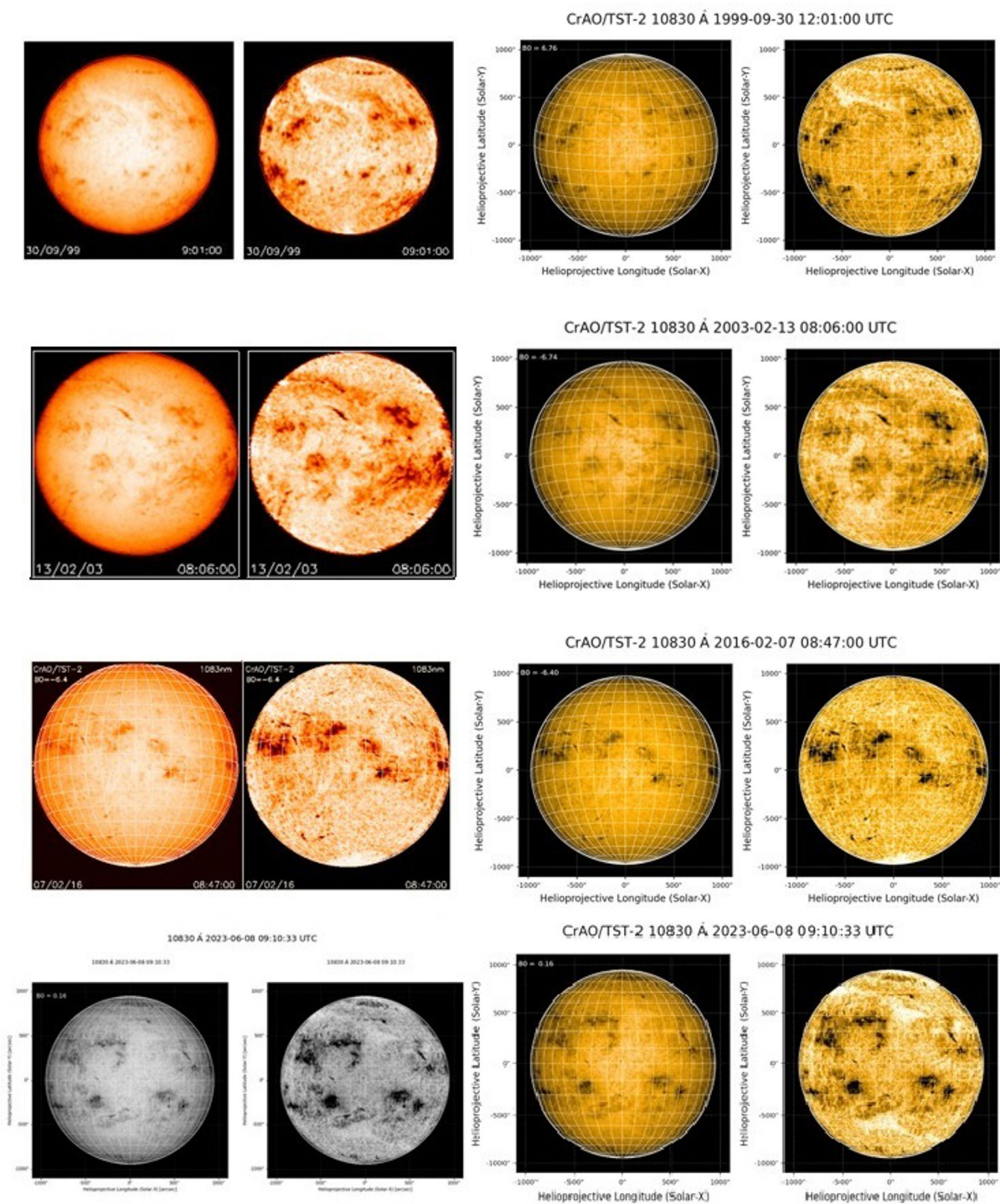


Рис. 4. Слева – примеры изображений из базы наблюдений в разные промежутки. Справа – те же изображения, но обработанные по единой методике

доступными для пользователей не только JPEG-файлы, но и FITS-файлы. Унифицированная база данных может быть полезна при проведении научных исследований в области изучения природы и эволюции КД, связи с другими структурами на Солнце. Это способствует решению таких важных проблем солнечной физики, как структура, вращение и эволюция крупномасштабного магнитного

поля, формирование потоков солнечного ветра. Надеемся, что эти данные будут востребованы не только нашими сотрудниками, но и специалистами более широкого круга.

Литература

- Букач А.Б., Дидковский Л.В., Степанян Н.Н., Суница Г.А., Щербакова З.А., 1990. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 82. С. 172. [Bukach A.B., Didkovskii L.V., Stepanyan N.N., Sunitsa G.A., Shcherbakova Z.A., 1990. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 82, p. 172. (In Russ.)]
- Семёнов Д.Г., Суница Г.А., Куценко А.С., 2021. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 117. № 1. С. 15. [Semyonov D.G., Sunitsa G.A., Kutsenko A.S., 2021. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 117, no. 1, p. 15. (In Russ.)]
- Степанян Н.Н., Долгополова Е.В., Елизаров А.И., Маланушенко Е.В., Парчевский К.В., Суница Г.А., 2000. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 96. С. 194. [Stepanyan N.N., Dolgopolova E.V., Elizarov A.I., et al., 2000. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 96, p. 194. (In Russ.)]

Formation of a unified database of solar observations in the He I 10830 Å line obtained in 1999–2023 at the CrAO TST-2 telescope

O.A. Andreeva, A.A. Plotnikov, V.M. Malashchuk

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
olga@craocrimea.ru

Abstract. The TST-2 telescope has accumulated unique observational material for more than two solar cycles. Since 1999, more than 4500 maps of the full disk of the Sun in the He I 10830 Å line have been obtained, allowing us to study the evolution and characteristics of coronal holes, filaments, and active regions. Due to the fact that during this period the observational process was repeatedly upgraded and some changes were made in the processing programs, we have several series of solar maps of different types. In this paper we aim to process all observational material according to a unified methodology and to form a unified database of observations in the He I 10830 Å line. A brief description of the algorithm for processing observations is given, and a few fragments of the database are presented.

Key words: observations in the He I 10830 Å line, solar observation database