

УДК 524.3-13

## Итоги 20-летних наблюдений Солнца в линии He I $\lambda$ 1083 нм в Крымской астрофизической обсерватории

О.А. Андреева, В.М. Малащук

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

Поступила в редакцию 27 октября 2021 г.

**Аннотация.** В 1999–2018 гг. в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на Башенном солнечном телескопе БСТ-2 был получен обширный наблюдательный материал из изображений диска Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм. За это время процесс обработки изображений претерпевал некоторые изменения. С середины 2018 до конца 2019 года наблюдения не проводились. В 2020 году на телескопе была выполнена модернизация как процесса наблюдений, так и обработки изображений. В настоящий момент все изображения, полученные в разные периоды до модернизации, обрабатываются по единой методике, и из них формируется каталог. В работе представлена небольшая историческая справка о наблюдениях в линии He I  $\lambda$  1083 нм в КрАО, краткое описание и фрагменты каталога.

**Ключевые слова:** КрАО, солнечный телескоп, наблюдения в линии He I  $\lambda$  1083 нм, корональные дыры

### 1 Введение

Инфракрасные наблюдения в солнечной астрофизике становятся все более и более актуальными, поскольку они открывают совершенно новые перспективы. Линия He I  $\lambda$  1083 нм (HeI) – наиболее сильная триплетная линия нейтрального гелия, позволяющая исследовать физические свойства верхней хромосферы и переходного слоя между хромосферой и короной. Именно в этой линии, которая образуется в верхней хромосфере на высоте около 2000–3000 км и возбуждается ультрафиолетовым излучением, можно наблюдать корональные дыры (КД) с Земли. Эта линия – линия поглощения; в КД она становится слабее, и это приводит к тому, что излучение в ней по сравнению с соседними частями короны оказывается выше. КД в линии HeI более яркие, чем окружающая корона.



Рис. 1. Н.Н. Степанян

В 80-х годах прошлого столетия в Крымской астрофизической обсерватории под руководством Н.Н. Степанян (рис. 1) были начаты работы по подготовке технических возможностей и программного обеспечения для наблюдений в линии He I  $\lambda$  1083 нм. Н.Н. Степанян была идейным и научным руководителем практически всех работ, связанных с организацией системы наблюдений в линии HeI и последующей обработки полученных изображений. Был организован ежедневный мониторинг и оперативное представление данных наблюдений в Интернет, созданы обширные базы данных. Это позволило КрАО участвовать в национальных и международных программах наблюдений: Служба Солнца, SpaceWeather и других.

### 2 Башенный солнечный телескоп БСТ-2

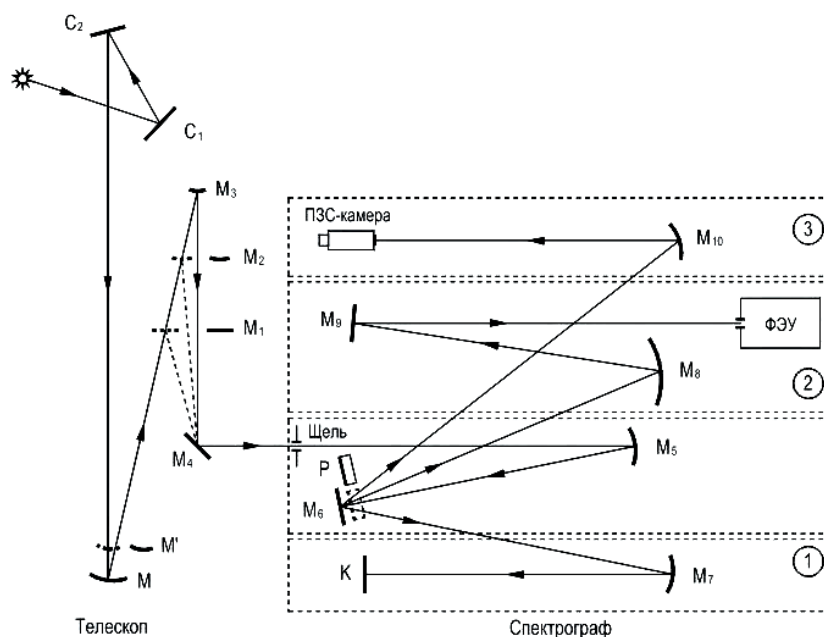
Наблюдения в линии HeI в КрАО проводятся с 1989 г. по настоящее время на Башенном солнечном телескопе БСТ-2 (рис. 2)



**Рис. 2.** Башенный солнечный телескоп БСТ-2. Внешний вид и целостатная установка

с дифракционным спектрографом и Универсальным спектрофотометром (УСФ). В 1998 году УСФ был модернизирован (Stepanian et al., 2000). С 1999 года начались регулярные наблюдения в линии HeI.

Телескоп БСТ-2 предназначен для спектральных и монохроматических наблюдений Солнца. Два главных зеркала и три системы Кассегрена позволяют получить на щели спектрографа изображение Солнца размером от 80 до 300 мм.



**Рис. 3.** Оптическая схема телескопа БСТ-2

Спектрограф оснащен двумя решетками и тремя камерами, позволяющими регистрировать спектры разной дисперсии. Приемниками информации могут служить фотоленки, фотопластинки, ФЭУ и ПЗС-камера.

Оптическая схема телескопа (рис. 3) подробно описана в работе (Stepanian et al., 2014). Цифрами обозначены схемы для изображения спектра, проходящего через щель светового пучка: 1 – на

кассетной части (используется при измерении магнитных полей пятен); 2 – на ФЭУ (используется при сканировании солнечного диска в линии He I  $\lambda$  1083 нм); 3 – на ПЗС-камере.

Такая инструментальная база позволяет решать широкий круг астрофизических задач. Основные научные интересы сотрудников, использующих наблюдения на БСТ-2, сосредоточены в области определения физических и динамических характеристик солнечных образований (вспышек, флоккулов, пятен, корональных дыр, фоновых магнитных полей).

Область спектральной чувствительности ФЭУ-83 (от 390 до 1100 нм) позволяет применять УСФ для исследования Солнца в близкой инфракрасной области. Одна из ежедневных, регулярно выполняемых программ на телескопе – получение изображений Солнца и отдельных его частей в линии He I  $\lambda$  1083 нм и их анализ.

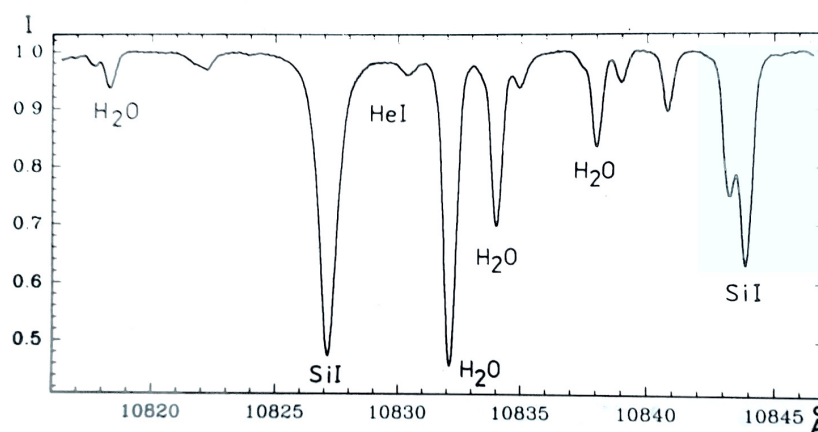


Рис. 4. Спектр центра Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм, полученный с УСФ телескопа БСТ-2

Изображения Солнца строятся путем сканирования оптического изображения Солнца на щели спектрографа. Фотометр регистрирует интенсивность в центре линии He I. На рис. 4 приведен пример спектра центра Солнца в линии He I, полученный на УСФ телескопа БСТ-2.

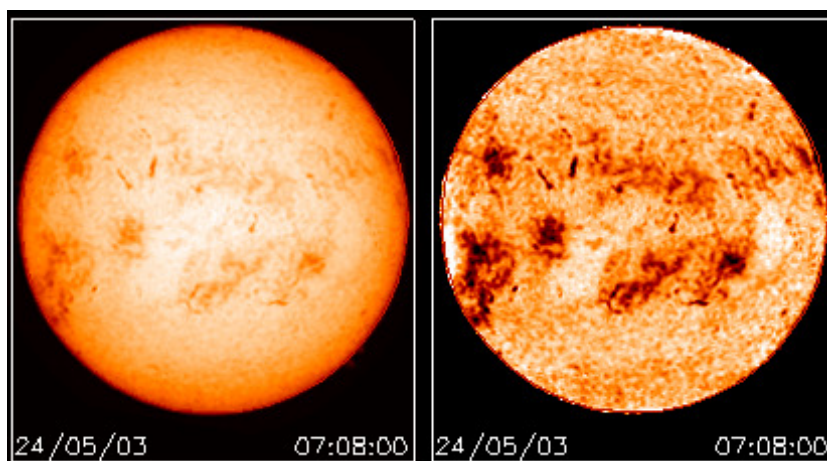
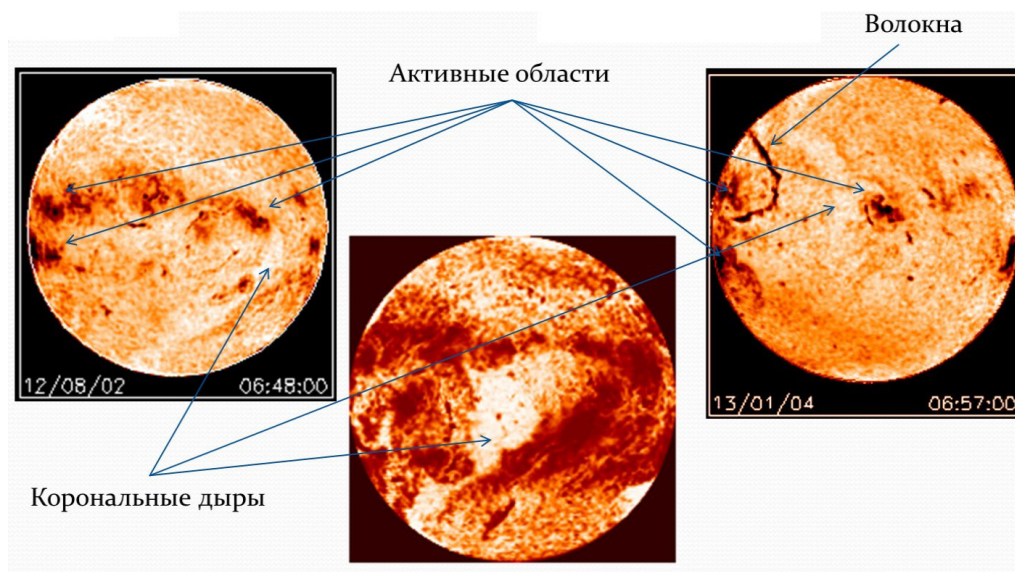


Рис. 5. Изображение Солнца, полученное в линии He I  $\lambda$  1083 нм на УСФ телескопа БСТ-2 24 мая 2003 года. Слева – необработанное изображение, справа – обработанное с учетом потемнения к краю

Телескоп и регистрирующее устройство обслуживаются персональным компьютером. Сервисные программы позволяют в течение нескольких минут учесть потемнение к краю и проанализировать изображение для выявления КД. Одно из ранее полученных изображений представлено на рис. 5. На изображении указывается время и дата наблюдения. Изображения нормализованы к  $4.8 \times 4.8$  секунд дуги на один пиксель. Далее на рис. 6 приведены примеры обработанных изображений Солнца, на которых хорошо различимы активные области, корональные дыры и волокна.



**Рис. 6.** Активные области, корональные дыры и волокна на изображениях Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм, полученных на телескопе БСТ-2

На рис. 5 и 6 активные области видны как темные образования, корональные дыры – как светлые протяженные области с пониженным контрастом, волокна – как темные нити на диске Солнца.

### 3 Наблюдения в линии He I $\lambda$ 1083 нм на БСТ-2 в КраО

В течение 1999–2018 годов в программе наблюдений Солнца в линии HeI на телескопе БСТ-2 принимали участие: Степанян Н.Н., Гусейнов М.Д., Маланушенко Е.В, Щербакова З.А., Шумко А.В, Панамарчук И.Г., Таращук В.П., Малащук В.М., Перебейнос В.А., Штерцер Н.И., Андреева О.А., Ахтемов З.С., Жигалкин Р.К. Инженерная группа во главе с Сунницей Г.А., Семёновым Д.Г. технически поддерживала и совершенствовала процесс наблюдений. В 2016 году Борисенко А.В. обновил визуализацию наблюдений на сайте КраО, добавив на обработанные изображения 10-градусную сетку и нормализовав изображения к  $2.4 \times 2.4$  секунд дуги.

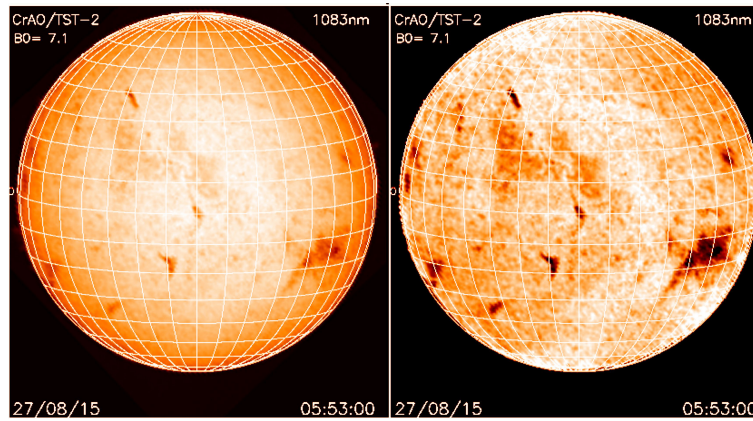
За все это время был получен обширный наблюдательный материал. Он широко использовался крымскими учеными для исследования КД, поскольку это одно из важных направлений изучения физических процессов на Солнце в КраО. За указанный период выполнено более 50 работ по этой тематике. На данном материале, под руководством Н.Н. Степанян, Е.В. Маланушенко защищена диссертация ‘‘Исследование атмосферы Солнца в области корональных дыр’’. Краткий обзор работ, выполненных сотрудниками КраО с использованием наблюдений в линии HeI, представлен в статье (Malashchuk, Andreeva, 2019).

С июля 2018 года до конца 2019 наблюдения не проводились. В 2020 году была выполнена модернизация процесса наблюдений и возобновились регулярные наблюдения в линии HeI.

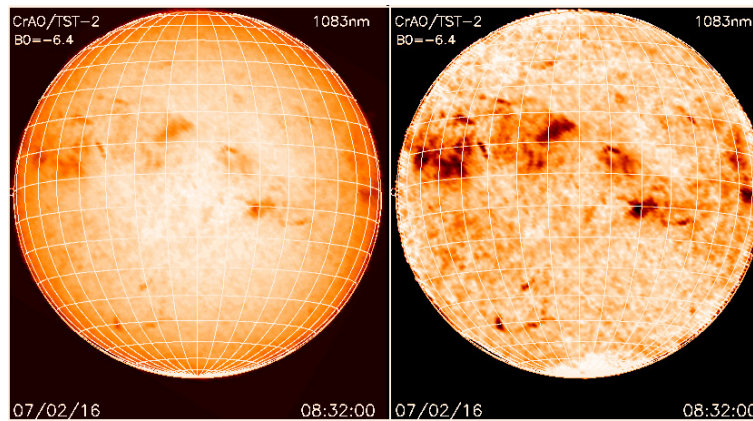
#### 3.1 Формируемый каталог

В настоящее время в КраО формируется каталог на основе данных наблюдений, полученных на БСТ-2 с дифракционным спектрографом и Универсальным спектрофотометром в 1999–2018 гг., до модернизации. Все изображения, полученные в разные периоды, обрабатываются по единой методике.

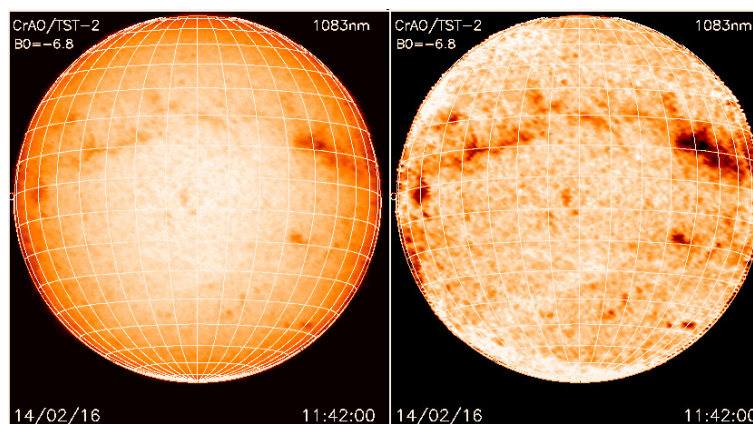
В каталоге будут представлены файлы в FITS- и GIF-форматах. В FITS-файлах отражена информация, регистрируемая во время сканирования изображения: дата и время наблюдения, спектральное разрешение, диапазон изменения наблюдаемых величин, угол  $B_0$ . GIF-файл представляет собой пару карт с изображениями диска Солнца, нормализованными к  $2.4 \times 2.4$  секунд дуги на один



**Рис. 7.** Изображение Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм, полученное на телескопе БСТ-2 (слева) и обработанное с учетом потемнения к краю (справа) 27.08.2015 г.



**Рис. 8.** Изображение Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм, полученное на телескопе БСТ-2 (слева) и обработанное с учетом потемнения к краю (справа) 07.02.2016 г.



**Рис. 9.** Изображение Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм, полученное на телескопе БСТ-2 (слева) и обработанное с учетом потемнения к краю (справа) 14.02.2016 г.

пиксель. На картах также указаны данные регистрации изображений. Левое изображение – необработанное, правое – обработанное с учетом потемнения к краю. На оба изображения наложена сетка, у которой меридианы и параллели нанесены через  $10^\circ$ .

Фрагменты каталога представлены на рисунках 7, 8, 9.

Каталог может быть полезен при проведении научных исследований в области изучения природы и эволюции КД, что способствует решению таких важных проблем солнечной физики, как структура и физические условия в солнечной короне, выделение и перенос энергии в солнечной атмосфере и нагрев спокойной короны, вращение и эволюция крупномасштабного магнитного поля, формирование потоков солнечного ветра.

## Литература

- Степанян Н.Н. и др., 2000. Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. Т. 96 С. 194. [Stepanian N.N. et al., 2000. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 96, p. 194. (In Russ.)]
- Malashchuk V.M., Andreeva O.A, 2019. *Astron. Astrophys. Trans.*, vol. 31, no. 2, pp. 217–236.
- Stepanian N., Sunitsa G., Malashchuk V., 2014. *Bull. Crimean Astrophys. Observ.*, vol. 110, no. 1, pp. 149–160.

## Results of 20-year observations of the Sun in the He I $\lambda$ 1083 nm line at the Crimean Astrophysical Observatory

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

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409  
*olga@craocrimea.ru*

**Abstract.** Between 1999 and 2018, the Crimean Astrophysical Observatory (CrAO) obtained extensive observational material from images of the solar disk in the He I  $\lambda$  1083 nm line at the Tower Solar Telescope BST-2. During this time, the imaging process underwent some changes. From mid-2018 to the end of 2019, no observations were made. In 2020, the telescope underwent an upgrade of both the observation process and image processing. At the moment, all the images obtained in different periods before the modernization are processed according to the same methodology, and a catalog is formed from them. The paper presents a brief historical overview of the observations in the He I  $\lambda$  1083 nm line at CrAO, a brief description, and fragments of the catalog.

**Key words:** CrAO, solar telescope, observations in the He I  $\lambda$  1083 nm line, coronal holes