

УДК 524.3-13

## БАЗА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ТЕЛЕСКОПЕ БСТ-2 КРАО

© 2025 г. О. А. Андреева<sup>1,\*</sup>, В. М. Малащук<sup>1,\*\*</sup>, А. А. Плотников<sup>1,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Крымская астрофизическая обсерватория РАН (КраО РАН), пос. Научный (Бахчисарайский р-он), Россия

\*e-mail: olga@craocriemea.ru

\*\*e-mail: mvm@craocriemea.ru

\*\*\*e-mail: plotnikov.andrey.alex@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.03.2024 г.

После доработки 05.08.2024 г.

Принята к публикации 26.09.2024 г.

Систематические наблюдения в ближней инфракрасной области на Башенном солнечном телескопе БСТ-2 Крымской астрофизической обсерватории начались в 1999 г. и продолжаются до сих пор. За это время накоплен уникальный наблюдательный материал, позволяющий анализировать эволюцию корональных дыр, волокон и активных областей. В связи с тем, что за это время наблюдательный процесс неоднократно модернизировался с разной степенью сложности и вносились изменения в программы обработки, у нас появилось несколько серий спектрограмм разных типов. Последний этап модернизации, в частности, касался создания нового программного обеспечения, с возможностью потоковой обработки результатов наблюдений. Это позволило систематизировать работу по унификации представления наших данных. В этой работе предложена обновленная база данных. Рассмотрена структура базы данных, доступ к ее элементам, приводятся примеры сравнения карт солнечного диска из нашей базы данных с изображениями Солнца в других спектральных линиях и синтезированными различными алгоритмами. Унифицированная база данных представляет собой удобный инструмент для единого визуализации наблюдательного материала, полученного более чем за два солнечных цикла. Она может быть полезна для научных исследований в области изучения природы и эволюции корональных дыр и их связи с другими структурами на Солнце.

**Ключевые слова:** Солнце, базы данных наблюдений Солнца, наблюдения в линии Не I  $\lambda$ 10830 Å

**DOI:** 10.31857/S0016794025010017, **EDN:** AFFCOF

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Инфракрасный солнечный спектр содержит множество физических данных о Солнце и исследуется с помощью современных детекторов и технологий наземных солнечных телескопов. Спектроскопические наблюдения в линии Не I 10830 Å (Не I) дают важную диагностическую информацию о структуре и динамике хромосферы и вышележащей короны.

В то время как элемент гелий был открыт по его желтой линии в видимом спектре во время солнечного затмения [Janssen, 1869], исследования инфракрасной спектральной линии начались только после того, как стала регулярно использоваться пленка. Спектры, полученные в обс. Макмат-Халберт (англ. McMath-Hulbert Observatory)

в Мичигане [Mohler and Goldberg, 1956] показали, что линия имеет большую ширину, соответствующую кинетической температуре 50 000 K, и, таким образом, она, вероятно, зарождается в горячих областях солнечной хромосферы. Линия Не I согласно Belenko [2001] образуется в верхней хромосфере на высоте ~2000 км и возбуждается ультрафиолетовым излучением. Линия поглощения Не I находится в пределах диапазона пропускания обычной преломляющей оптики и на длинноволновой границе чувствительности кремниевых ПЗС-детекторов [Penn, 2014]. Для наблюдения этой спектральной особенности использовалось множество комбинаций телескопов, инструментов и детекторов. Открытие линии поглощения Не I на диске Солнца было сде-

лано в обс. Маунт-Вилсон (*англ. Mount Wilson Observatory*) с использованием пленки [Babcock and Babcock, 1934], а затем линия наблюдалась там же, но уже с трубкой инфракрасного преобразователя изображения ITT FW-167 [Zirin and Howard, 1966]. Наблюдения полного диска в течение многих лет проводились с помощью кремниевых детекторов на вакуумном телескопе VST [Livingston et al., 1976; Jones et al., 1992] и продолжаются инструментами SOLIS VSM и FDP в Национальной солнечной обс. Китт-Пик (*англ. Kitt Peak National Observatory*) [Keller et al., 2003]; инфракрасных матричных детекторов [Penn and Kuhn, 1995; Schad et al., 2013]. Векторные магнитные измерения полного диска с использованием Не I проводятся на Солнечном вспышечном телескопе Национальной астрономической обс. Японии (*англ. National Astronomical Observatory of Japan*) примерно с 2010 г. [Hanaoka et al., 2011]. Хотя линия Не I доступна с помощью различных телескопов и детекторов, точный спектральный анализ ее является сложной задачей. Линия поглощения обычно очень слабая, достигает глубины всего в несколько процентов от интенсивности континуума спокойного Солнца, но может стать очень темной в волокнах или активных областях (АО) Солнца, где ее поглощение увеличивается в десять раз. Для анализа и научных целей лучше всего наблюдать большую спектральную область, окружающую центр линии [Malanushenko and Jones, 2004]. Сравнивая наблюдения рентгеновского телескопа Скайлэб (*англ. sky laboratory Skylab*) со спектрограммами Не I, Harvey et al. [1975] обнаружили, что корональные дыры (КД), видимые в рентгеновских данных, также демонстрируют отсутствие поглощения Не I на диске Солнца. Именно в этой линии возможно наблюдать КД с Земли.

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ В ЛИНИИ Не I 10830 Å НА ТЕЛЕСКОПЕ БСТ-2 КРАО

Во второй половине 80-х гг. прошлого века в Крымской астрофизической обс. (КрАО, *англ. Crimean Astrophysical observatory (CrAO)*) на Башенном Солнечном Телескопе-2 (БСТ-2, *англ. Tower Solar Telescope-2 (TST-2)*) под руководством Н.Н. Степанян были начаты работы по подготовке технических возможностей и программного обеспечения для наблюдений в линии Не I. Также под ее руководством была разработана система проведения наблюдений и обработки изображений, организованы ежедневный мониторинг и оперативное представление данных наблюдений в Internet. Это позволило КрАО участвовать в национальных и международных про-

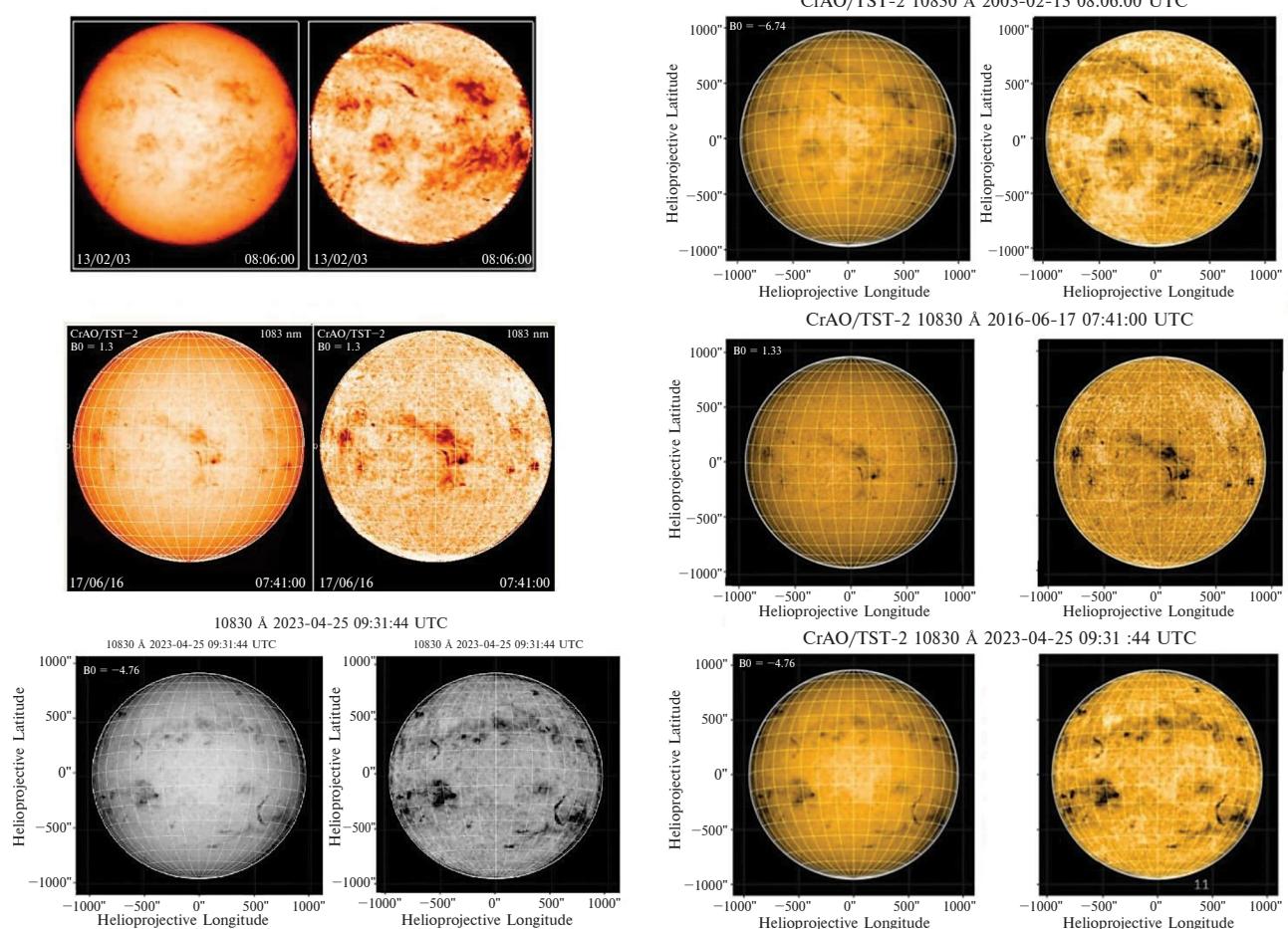
граммах наблюдений “Служба Солнца”, “SpaceWeather” и других. Создание полного каталога наблюдений или унифицированной базы данных (БД) также было ее задумкой и нами неоднократно обсуждалось.

Регулярные наблюдения в линии Не I в КрАО проводятся на телескопе БСТ-2 с дифракционным спектрографом и универсальным спектрофотометром с 1999 г. по настоящее время. За этот период получено свыше 4500 карт полного диска Солнца в линии Не I. Однако, в связи с тем, что в течение этого времени процесс наблюдений неоднократно претерпевал модернизацию разной сложности и вносились изменения в программы обработки, мы имели несколько рядов спектрограмм разного вида (рис. 1, левая панель). В связи с этим, возникло желание сформировать единую унифицированную БД, удобную для визуализации и анализа карт диска Солнца.

## 3. ФОРМИРОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Настоящая работа является продолжением серии работ [Андреева и Малащук, 2021; Andreeva and Malaschuk, 2022; Андреева и др., 2023а, б] по формированию унифицированной базы наблюдений Солнца в ближней инфракрасной области, полученных на телескопе БСТ-2 КрАО с 1999 г. по настоящее время. Первые две работы положили начало формированию единой базы данных 1999–2018 гг. В работе [Андреева и др., 2023а] представлены технические характеристики телескопа БСТ-2, его оптическая схема, а также рассмотрены этапы модернизации процесса наблюдений в линии Не I и программ обработки карт диска Солнца. Их было три, и они подробно описаны в работах [Букач и др., 1990; Степанян и др., 2000; Семёнов и др., 2021]. Последний этап 2019 г. касался системы управления спектрофотометром, было разработано полностью новое программное обеспечение, сопровождающее процесс сканирования, и написана новая программа последующей обработки результатов наблюдений. Модернизация 2019 г. также позволила улучшить качество получаемых изображений Солнца в линии Не I, сократила время наблюдений и обработки.

Благодаря тому, что новое программное обеспечение для обработки наблюдений позволяет в достаточно приемлемые сроки обработать в потоке большое количество данных, появилась возможность обработать весь наблюдательный материал по единой методике и привести визуализацию всех наблюдений к единому виду (пример см. рис. 1, правая панель). Это удобно для анали-



**Рис. 1.** Изображения Солнца, полученные в линии Не I 10830 Å на универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2/КрАО в разные периоды. Слева – до унификации, справа – карты диска Солнца за те же даты, но обработанные по единой методике.

за, сравнения и просмотра полученных карт Солнца. Ранее публикуемая БД ограничивалась только одним изображением в день, хотя зачастую наблюдений могло быть и больше. Также на сайте были доступны только JPEG-изображения наблюдений, чего недостаточно для компьютерных методов анализа. Мы решили дополнить базу и FITS-файлами. По этим причинам было начато формирование новой базы [Андреева и др., 2023б].

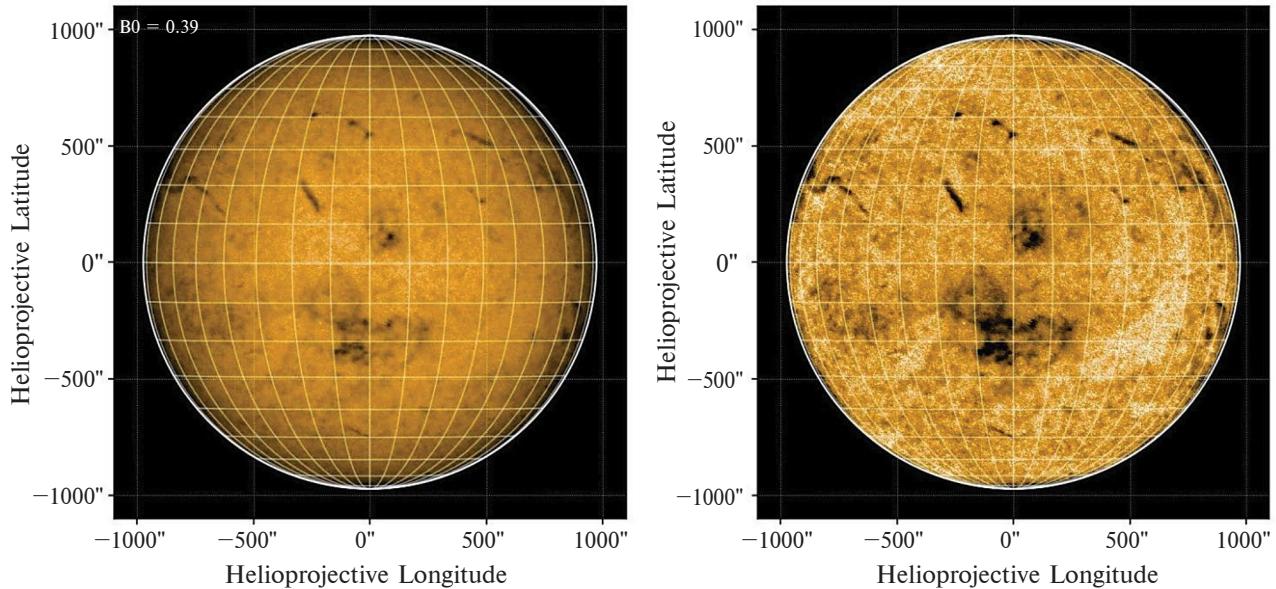
В результате работы программы обработки результатов наблюдений данные сохраняются в FITS-формате в двух вариантах: карта интенсивности с потемнением к лимбу и без него. В заголовок FITS-файлов внесена вся информация, регистрируемая во время сканирования изображения: дата и время наблюдения, ширина и высота щели спектрографа, угол наклона целистнатной установки, размер пикселя в угловых

координатах. Эти данные дают возможность пользователям легко проводить координатные преобразования для желаемого анализа.

Кроме того, для удобства визуального анализа данные сохраняются в формате JPEG-изображений (рис. 2) с добавлением вспомогательной информации. JPEG-файл представляет собой пару карт с изображениями диска Солнца, нормализованных к  $3.6'' \times 3.6''$  на один пиксель. Левое изображение – с потемнением к лимбу, правое – без потемнения. На картах указаны данные регистрации изображений – время и соответствующее значение угла  $B_0$  (угла между солнечным экватором и лучом зрения). На оба изображения наложена сетка с шагом в  $10^\circ$ .

При работе с наблюдательными данными требуется учитывать инструментальные эффекты, приводящие к ошибкам в измерениях. Ниже

CrAO/TST-2 10830 Å 2003-12-05 09:33:23 UTC



**Рис. 2.** Изображения Солнца, полученные в линии Не I 10830 Å на универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2. Слева – необработанное изображение, справа – обработанное, с учетом потемнения к краю и устранения люфта. Корональные дыры в этой линии выглядят как более яркие образования по сравнению с окружающей поверхностью, а волокна и активные области – как очень темные.

опишем индивидуальные особенности, присущие нашим наблюдениям.

Из-за неидеальности часового ведения в некоторые месяцы полученное “сырое” изображение может быть вытянуто в эллипс вдоль одной из осей. При обработке пропорции изображения меняются, чтобы изображение стало близко к форме круга.

Ввиду того, что изображение диска Солнца регистрируется не одномоментно, а попиксельно, атмосферное дрожание и собственные колебания телескопа всегда будут приводить к некоторой деформации изображения, вплоть до того, что лимб полученного изображения местами отходит от окружности (к примеру, северо-западная часть на рис. 2).

Также за время наблюдения (~45 мин для диска размером  $701 \times 701$  пк) диск Солнца может быть неоднократно перекрыт проходящими облаками. В результате полученное изображение Солнца будет частично перекрыто одной или несколькими темными полосами. Такие изображения вручную отфильтровываются от попадания в финальный каталог, однако могут быть полезными при анализе каких-либо локальных областей, поэтому сохраняются отдельно и могут быть высланы по запросу.

Позиционирование входного окна ФЭУ на спектральной линии проводится вручную. Также не исключен и временной дрейф изображения спектра вдоль направления дисперсии, вызванный собственными колебаниями спектрографа и неидеальностью центрирования его зеркал. Поэтому, вообще говоря, длина волны, на которой проводится сканирование, не будет в точности совпадать от изображения к изображению, что следует учитывать при сравнении численных значений интенсивности между различными картами.

Ниже мы представляем обновленную БД, ее структуру и доступ к ней, остановимся на вопросах первичного анализа изображений и сравним их с изображениями диска Солнца, полученными в других спектральных линиях и синтезированными различными методами.

#### 4. УНИФИРОВАННАЯ БАЗА ДАННЫХ

Обновленная БД находится на сайте нашего отдела в разделе “Наблюдения”, попасть на нее можно по ссылке (<https://sun.crao.ru/observations/hel-1083nm>) (рис. 3).

Вверху страницы находится последнее размещенное изображение в линии Не I. Ниже – таб-

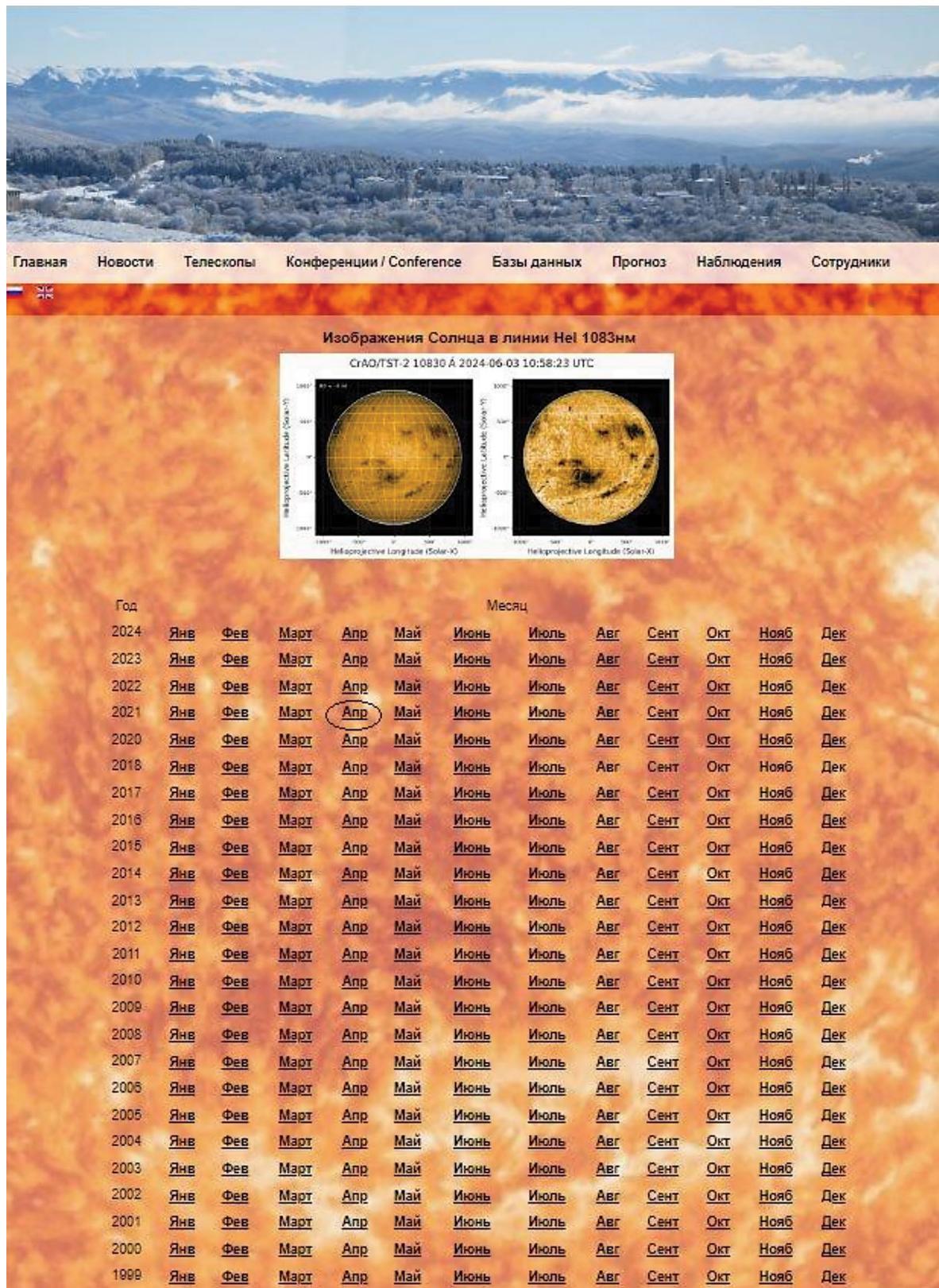


Рис. 3. Унифицированная база данных наблюдений диска Солнца в линии Не I 10830 Å, представленная на странице КрАО.

лица наблюдений по годам и месяцам со ссылками на соответствующие директории. На рис. 4 показан пример содержимого одной из директорий.

В корне директории за каждый месяц находятся jpg-файлы и 2 папки fits и fits\_cor, в которые добавлены карты интенсивности в формате FITS с потемнением к лимбу и без него, соответственно. Названия FITS-файлов совпадают с названиями соответствующих JPEG-изображений.

Ранее на нашей странице космической погоды выставлялось только одно изображение Солнца в линии He I в день наблюдений, несмотря на то, что могло быть получено несколько изображений

## Index of /~data/helium/21\_04

<u>Name</u>	<u>Last modified</u>	<u>Size</u>	<u>Description</u>
Parent Directory		-	
<a href="#">20210402_0842.jpg</a>	2023-12-29 16:25	179K	
<a href="#">20210402_0942.jpg</a>	2023-12-29 16:25	177K	
<a href="#">20210402_1002.jpg</a>	2023-12-29 16:25	200K	
<a href="#">20210402_1055.jpg</a>	2023-12-29 16:25	201K	
<a href="#">20210402_1148.jpg</a>	2023-12-29 16:25	200K	
<a href="#">20210406_0745.jpg</a>	2023-12-29 16:25	202K	
<a href="#">20210406_0832.jpg</a>	2023-12-29 16:25	199K	
<a href="#">20210406_0935.jpg</a>	2023-12-29 16:25	198K	
<a href="#">20210406_1026.jpg</a>	2023-12-29 16:25	199K	
<a href="#">20210406_1117.jpg</a>	2023-12-29 16:25	204K	
<a href="#">20210424_0749.jpg</a>	2023-12-29 16:25	180K	
<a href="#">20210424_0806.jpg</a>	2023-12-29 16:25	205K	
<a href="#">20210424_0852.jpg</a>	2023-12-29 16:25	204K	
<a href="#">20210426_0722.jpg</a>	2023-12-29 16:25	177K	
<a href="#">20210426_1004.jpg</a>	2023-12-29 16:25	205K	
<a href="#">20210426_1055.jpg</a>	2023-12-29 16:25	205K	
<a href="#">20210426_1141.jpg</a>	2023-12-29 16:25	204K	
<a href="#">20210430_0527.jpg</a>	2023-12-29 16:25	174K	
<a href="#">20210430_0547.jpg</a>	2023-12-29 16:25	205K	
<a href="#">20210430_0637.jpg</a>	2023-12-29 16:25	218K	
<a href="#">20210430_0729.jpg</a>	2023-12-29 16:25	207K	
<a href="#">20210430_0821.jpg</a>	2023-12-29 16:25	206K	
<a href="#">fits/</a>	2024-01-15 10:45	-	
<a href="#">fits_cor/</a>	2024-01-15 10:56	-	

Рис. 4. Структура директории обновленной базы данных. Апрель 2021 г.

в течение дня. В обновленной БД представлены и эти недостающие изображения. Пример нескольких последовательных изображений за один день показан на рис. 5.

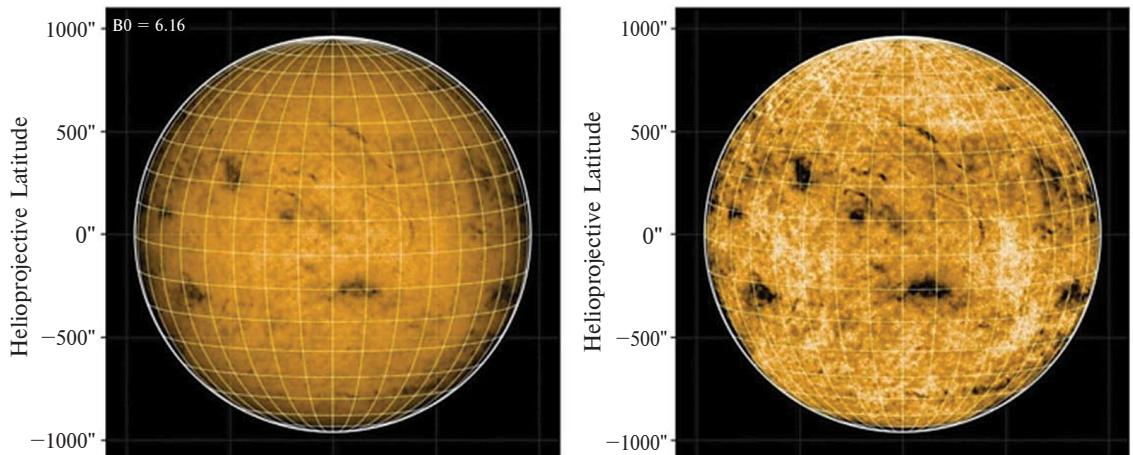
Как упоминалось выше, в архиве содержатся и карты, где часть диска закрыта проходящими облаками. Такие изображения не опубликованы на сайте и могут быть высланы по запросу (или будут впоследствии размещены в отдельном каталоге).

Данные можно скачивать через анонимный FTP-сервер. Каталог доступен по ссылке: (<ftps://sun.crao.ru/helium/>) через Проводник Windows или другими доступными средствами. Кроме того, можно получить интересующие файлы за любой период одним архивом обратившись к А. Плотникову по адресу: [plotnikov.andrey.alex@yandex.ru](mailto:plotnikov.andrey.alex@yandex.ru).

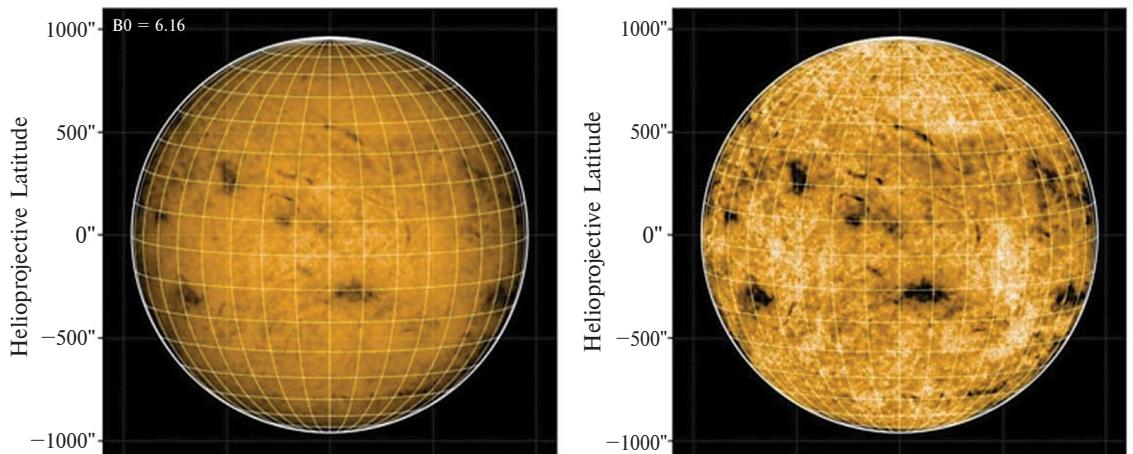
## 5. ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ДИСКЕ СОЛНЦА

Интересно проанализировать, как согласуются солнечные структуры карт диска Солнца из нашей БД БСТ-2/КрАО с изображениями Солнца в других спектральных линиях и синтезированными разными алгоритмами. Для сравнения мы рассмотрели изображения Солнца в спектральных линиях H-alpha, полученные в обс. Канзельхёэ (англ. KSO, Kanzelhoehe Solar Observatory), железа Fe XII 195 (EIT/SOHO, Extreme ultraviolet Imaging Telescope on board Solar & Heliospheric Observatory) и 193 Å (AIA/SDO, Atmospheric Imaging Assembly on board Solar Dynamics Observatory). Были использованы имеющиеся в открытом доступе данные за те же даты, близкие по времени. Это не всегда было возможно, поэтому брались те, что были доступны в этот день. Учитывая, что выполнялся первичный анализ на обнаружение солнечных образований, которые меняются не так быстро в течение дня, мы посчитали возможным сделать такое допущение. На изображениях в линии He I КД выглядят как более яркие области, чем окружающая поверхность, активные области и волокна окрашены темным цветом. На изображениях H-alpha волокна – темные, а АО – яркие участки поверхности, в линиях Fe XII 195 и 193 Å КД окрашены глубоким темным цветом, АО – яркие, волокна – темные образования. Также для сравнения использованы ежедневные интерактивные карты солнечной активности (СА) по данным Кисловодской Горной Астрономической Станции (КГАС), представленные на сайте (<https://observethesun.com>) и изображения Солнца с КД, выделенными двумя традиционными популярными алгоритмами SPoCA и CHIMERA.

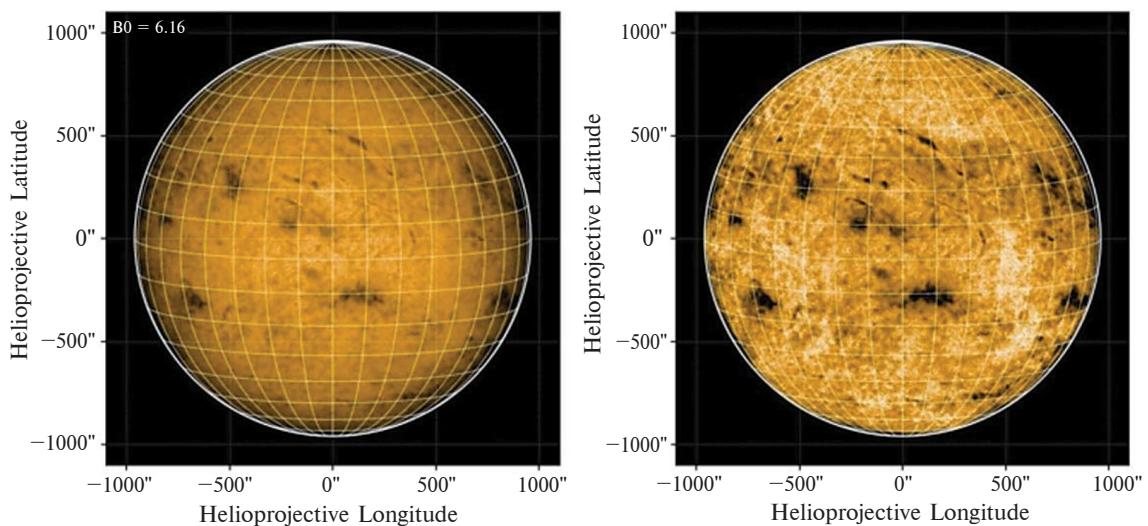
CrAO/TST-2 10830 Å 2003-10-11 09:17:10 UTC



CrAO/TST-2 10830 Å 2003-10-11 10:03:29 UTC



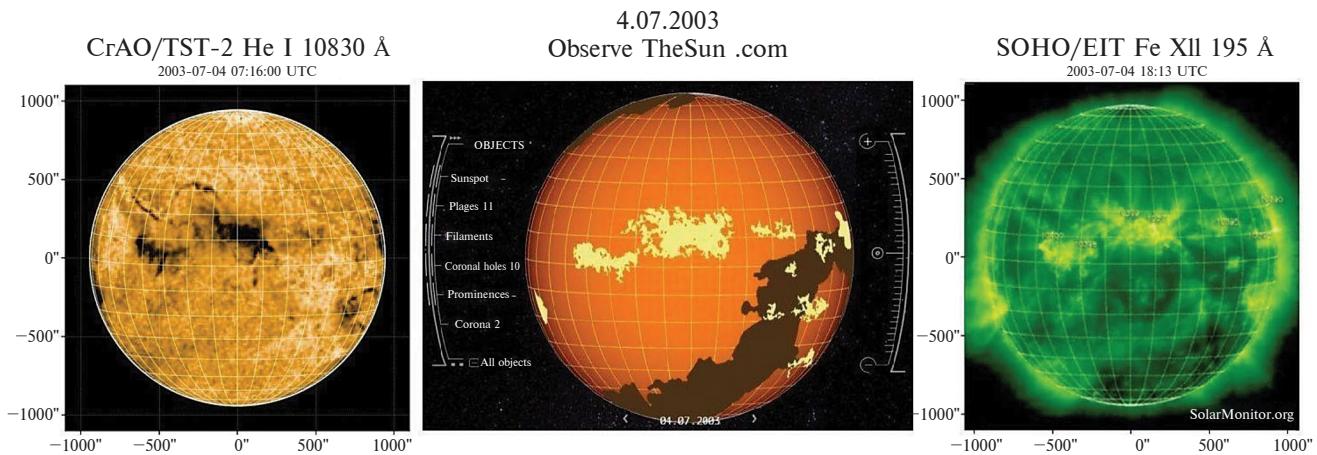
CrAO/TST-2 10830 Å 2003-10-11 11:05:18 UTC



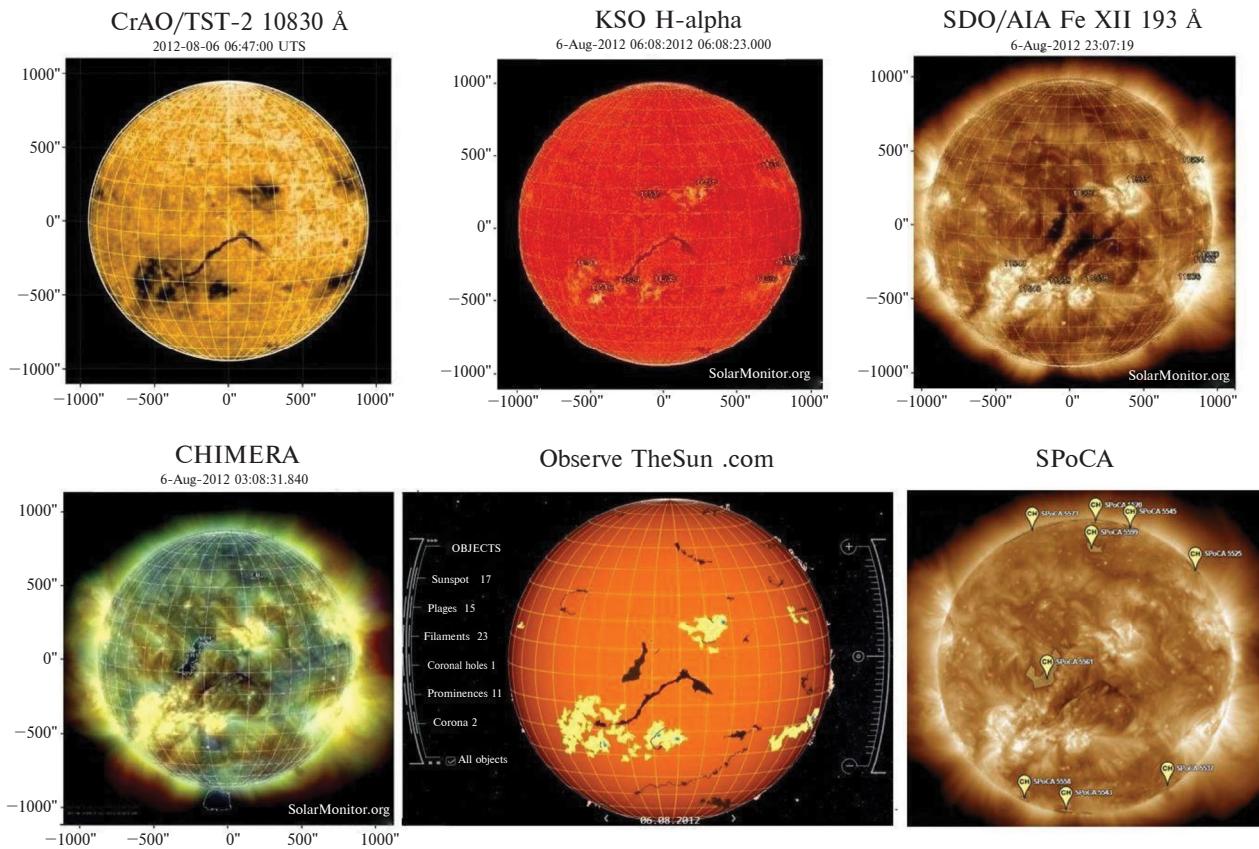
**Рис. 5.** Карты диска Солнца, полученные в линии Не I 10830 Å в один день – 11 октября 2003 г. в 09:17, 10:03 и 11:05. Слева – изображения с потемнением к лимбу, справа – обработанные с учетом потемнения.

Примеры сравнения идентификации солнечных образований на изображениях в линии He I, полученных на телескопе БСТ-2/КрАО

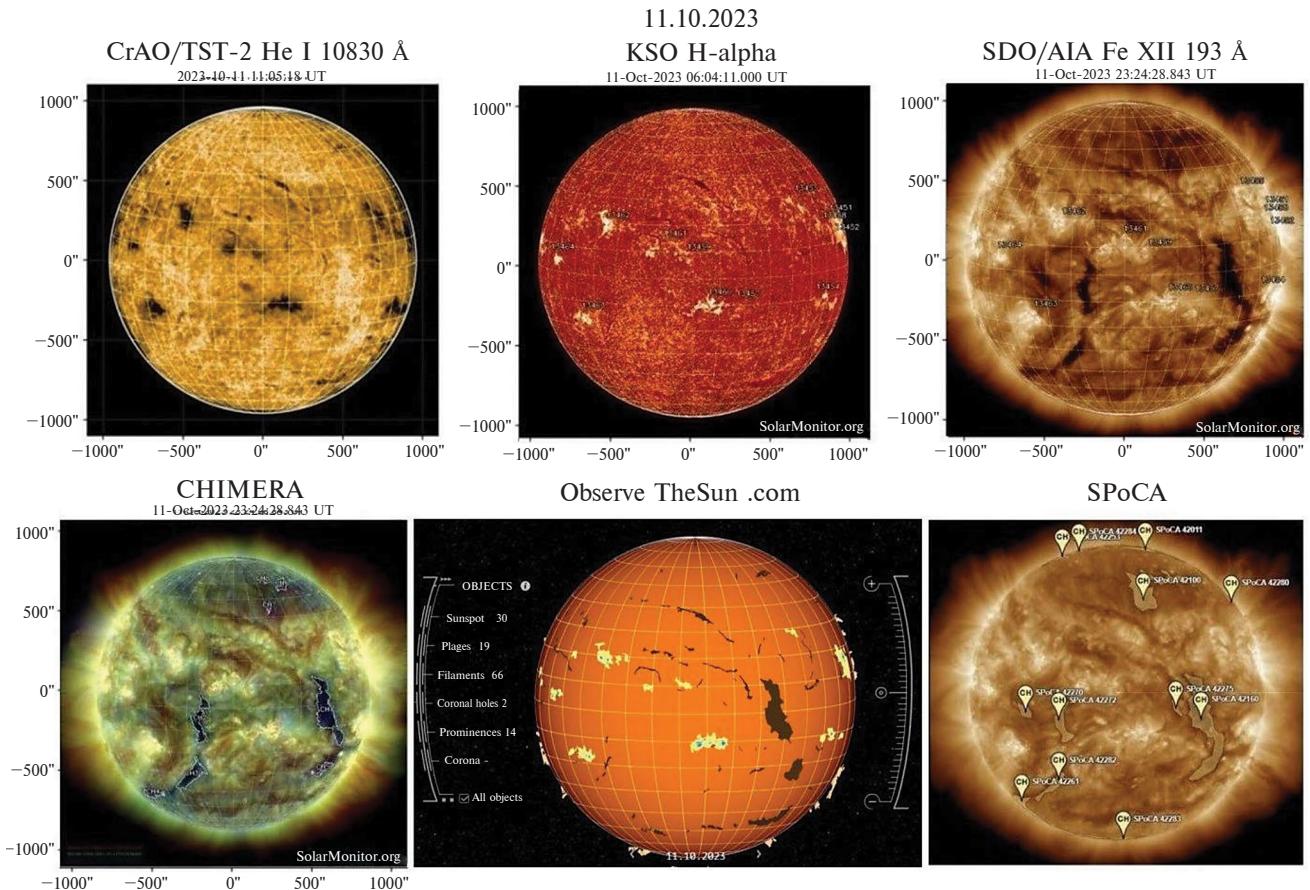
4 июля 2003, 6 августа 2012 и 11 октября 2023 гг. с изображениями других источников приведены на рис. 6–8.



**Рис. 6.** Изображения Солнца, полученные 4.07.2003 г. в спектральных линиях He I 10830 Å – слева и Fe XII 195 Å – справа, в центре – интерактивные карты СА по данным КГАС с сайта (<https://observethesun.com>).



**Рис. 7.** Изображения Солнца, полученные 6.08.2012 г. в спектральных линиях He I 10830 Å H-alpha и Fe XII 193 Å – верхний ряд слева направо. Нижний ряд: в центре – интерактивные карты СА по данным КГАС с сайта (<https://observethesun.com>). Слева и справа изображения Солнца с КД, отождествленными алгоритмами CHIMERA и SPoCA соответственно.



**Рис. 8.** Изображения Солнца, полученные 11.10.2023 г. в спектральных линиях He I 10830 Å, H-alpha, Fe XII 193 Å – верхний ряд слева направо. Нижний ряд: в центре интерактивные карты СА по данным КГАС с сайта (<https://observethesun.com>). Слева и справа – изображения Солнца с КД, отождествленными алгоритмами CHIMERA и SPoCA соответственно.

На всех трех изображениях рис. 6 хорошо про-сматриваются все АО, северная полярная и огромная южная КД, простирающаяся от полюса, пересекая экватор, до низких широт Северного полушария. Кроме того, на изображении в линии He I четко видны темные нити волокон в западной части Северного полушария.

В наших прошлых работах по исследованию КД по изображениям Солнца в линии Fe XII 193 Å (AIA/SDO) возникали трудности их отождествления, так как и КД, и волокна в этой линии выглядят как темные образования. В то же время, изображения в линии He I позволяют однозначно их различить. Это хорошо демонстрирует рис. 7. Большое волокно в центре Южного полушария, трудно различимое на изображениях в линии Fe XII 193 Å (AIA/SDO) и отождествленное алгоритмами CHIMERA и SPoCA, уверенно просматривается на изображении в линии He I. Этот

факт также подтверждается картами Солнца H-alpha/KSO и с сайта (<https://observethesun.com>). С другой стороны, слабую КД, расположенную близко к центру в низких широтах Северного полушария на изображении в линии He I, становится возможным различить только после просмотря на изображениях с других источников (нижний ряд рис. 7).

Также известно, что на данный момент не существует единого оптимального алгоритма выделения КД. На рис. 8 приведены интерактивные карты СА по данным КГАС и изображения Солнца с КД, выделенными алгоритмами CHIMERA и SPoCA – нижний ряд. Большинство КД, выделенных этими алгоритмами, видны также на изображениях в линии He I.

Анализ показал, что наблюдается достаточно хорошее согласие в отождествлении солнечных структур на диске Солнца. Использование изо-

бражений Солнца в разных спектральных линиях и выделение солнечных структур различными синтезированными методами – это хороший метод уверенного отождествления солнечных образований на диске Солнца.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате формирования унифицированной базы наблюдений в линии Не I 10830 Å, полученных на универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2 КрАО с 1999 г. по настоящее время, мы получили удобную для просмотра, анализа и сравнения единую визуализацию наблюдательного материала. База данных дополнилась недостающими ранее картами полного диска Солнца, стали доступными для пользователей не только JPEG, но и FITS-файлы. Первичный анализ сравнения изображений Солнца из обновленной базы данных с изображениями, полученными другими методами, показал, что это – хороший метод уверенного отождествления солнечных образований на диске Солнца.

Унифицированная БД может быть полезна при проведении научных исследований в области изучения природы и эволюции корональных дыр, их связи с другими структурами на Солнце. Это способствует решению таких важных проблем солнечной физики как исследование структуры, вращения и эволюции крупномасштабного магнитного поля, формирования потоков солнечно-го ветра.

Надеемся, что эти данные будут востребованы не только нашими сотрудниками, но и специалистами более широкого круга.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Мы высоко ценим вклад Н.Н. Степанян в становление наблюдательного процесса в ближней инфракрасной области в КрАО. Авторы благодарят прошлых и нынешних наблюдателей БСТ-2 (Степанян Н.Н., Маланущенко Е.В., Панамарчук И., Жигалкина Р.К., Штерцер Н.И., Тарашук В.П., Цыбизова О., Малащук В.М., Перебейнос В.А., Андрееву О.А., Ахтемова З.С., Плотникова А.А., Литвишко Д.В. и Шапошникова В.Д.) за продолжительный и кропотливый труд по накоплению наблюдательного материала за более чем 20 лет.

Мы выражаем глубокую благодарность Г.А. Сунице и Д.Г. Семёнову – высококвалифицированным инженерам, за усовершенствование и поддержание в рабочем состоянии всех систем телескопа БСТ-2 на протяжении рассматриваемого периода, а также А.С. Куценко – за проде-

ланную работу по модернизации технических и программных возможностей наблюдений Солнца в линии Не I 10830 Å, которая позволила улучшить качество и сократить время наблюдений.

Авторы признательны командам SDO/AIA, SOHO/EIT, КГАС, KSO за возможность иметь доступ к наблюдательным данными для отождествления и сравнения солнечных структур на диске Солнца с результатами наших наблюдений в линии Не I.

Благодарим анонимного рецензента за ценные предложения и замечания по статье и по организации базы данных.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания (Тема № 122022400224-7).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов с другими исследователями в данной области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

– Андреева О.А., Малащук В.М. Итоги 20-летних наблюдений Солнца в линии Не I  $\lambda$  1083 нм в Крымской астрофизической обсерватории // Изв. Крым. Астрофиз. обс. Т. 117. № 1. С. 62–68. 2021. <https://doi.org/10.31059/izcrao-vol117-iss1-pp62-68>

– Андреева О.А., Плотников А.А., Малащук В.М. Формирование унифицированной базы данных наблюдений Солнца в линии Не I 10830 Å, полученных в 1999–2023 гг. на телескопе БСТ-2 КрАО // Изв. Крым. Астрофиз. обс. Т. 119. № 4. С. 35–41. 2023а. <https://doi.org/10.34898/izcrao-vol119-iss4-pp35-41>

– Андреева О.А., Малащук В.М., Плотников А.А. Унифицированная база данных наблюдений Солнца в линии Не I 1083 нм, полученных на телескопе БСТ-2/КрАО / Тр. XXVII Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца “Солнечная и солнечно-земная физика – 2023”. Санкт-Петербург, ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г. Ред. А.В. Степанов, Ю.А. Наговицын. СПб: ГАО. С. 15–18. 2023б. <https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-15-18>

– Букач А.Б., Дидковский Л.В., Степанян Н.Н., Суница Г.А., Щербакова З.А. Получение спектров и карт Солнца в линии Не I  $\lambda$  10830 Å на базе УВК КАМАК-МЕРА-60 // Изв. Крым. Астрофиз. Обс. Т. 82. С. 172–183. 1990.

– Семёнов Д.Г., Суница Г.А., Куценко А.С. Система управления спектрофотометром телескопа БСТ-2 КрАО РАН // Изв. Крым. Астрофиз. Обс. Т. 117. № 1. С. 15–21. 2021. <https://doi.org/10.31059/izcrao-vol117-iss1-pp15-21>

- Степанян Н.Н., Долгополова Е.В., Елизаров А.И., Маланушенко Е.В., Парчевский К.В., Суница Г.А. Солнечный универсальный спектрофотометр // Изв. Крым. Астрофиз. обс. Т. 96. С. 194–204. 2000.
- Andreeva O., Malaschuk V. The near-infrared observations at the Tower Solar Telescope TST-2 of the Crimean Astrophysical Observatory // Open Astronomy. V. 30. № 1. P. 225–227. 2022. <https://doi.org/10.1515/astro-2021-0030>
- Babcock H.D., Babcock H.W. Some new features of the solar spectrum // Publ. Astron. Soc. Pac. V. 46. № 271. P. 132–133. 1934.
- Belenko I.A. Coronal hole evolution during 1996–1999 // Sol. Phys. V. 199. № 1. P. 23–35. 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010372926629>
- Hanaoka Y., Sakurai T., Shinoda K., Noguchi M., Miyashita M., Fukuda T. Infrared stokes spectropolarimeter at the National Astronomical Observatory of Japan / Proceedings of a conference “Solar polarization 6”. Maui, Hawaii, USA, May 30–June 4. 2010. Eds. Kuhn J.R., Harrington D.M., Lin H., Berdyugina S.V., Trujillo-Bueno J., Keil S.L., Rimmele T.R. / Astr. Soc. P. V. 437. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. P. 371–378. 2011.
- Harvey J., Krieger A.S., Timothy A.F., Vaiana G.S. Comparison of Skylab X-ray and ground-based Helium observations / Proc. Skylab Solar Workshop “Preliminary Results from the S-054 X-Ray Telescope and the Correlated Ground-Based Observations”. Florence, Italy, 21–22 March, 1974. Ed. G. Righini. Florence: Baccini & Chiappi. P. 50–58. 1975.
- Janssen M. The Total solar eclipse of August 1868. Part I // Astronomical Register. V. 7. P. 107–110. 1869.
- Jones H.P., Duvall T.L. Jr., Harvey J.W., Mahaffey C.T., Schwitters J.D., Simmons J.E. The NASA/NSO spectro-magnetograph // Sol. Phys. V. 139. № 2. P. 211–232. 1992. <https://doi.org/10.1007/BF00159149>
- Keller C.U., Harvey J.W., Giampapa M.S. (eds.) SOLIS: an innovative suite of synoptic instrument // Proc. SPIE. V. 4853. Innovative Telescopes and Instrumentation for Solar Astrophysics. 2002. <https://doi.org/10.1117/12.460373>
- Livingston W.C., Harvey J., Pierce A.K., Schrage D., Gillespie B., Simmons J., Slaughter C. Kitt Peak 60-cm vacuum telescope // Appl. Optics. V. 15. № 1. P. 33–39. 1976. <https://doi.org/10.1364/AO.15.000033>
- Malanushenko O.V., Jones H.P. Analysis of He I 1083 nm imaging spectroscopy using a spectral standard // Sol. Phys. V. 222. № 1. P. 43–60. 2004. <https://doi.org/10.1023/B:SOLA.0000036873.75777.33>
- Mohler O.C., Goldberg L. The width of the infrared helium line in the solar spectrum // Astrophys. J. V. 124. P. 13. 1956.
- Penn M.J., Kuhn J.R. Imaging spectropolarimetry of the He I 1083 nanometer line in a flaring solar active region // Astrophys. J. Lett. V. 441. № 1. P. L51–L54. 1995.
- Penn M.J. Infrared solar physics // Living Rev. Sol. Phys. V. 11. № 1. ID 2. 2014. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2014-2>
- Schad T.A., Penn M.J., Lin H. He I vector magnetometry of field-aligned superpenumbral fibrils // Astrophys. J. V. 768. № 2. ID 111. 2013. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/768/2/111>
- Zirin H., Howard R. The structure of the solar chromosphere. II. Spectroheliograms in  $\lambda$  10830 Å and their interpretation // Astrophys. J. V. 146. № 2. P. 367–371. 1966.

## Database of Near-Infrared Solar Observations Obtained with the TST-2 CrAO Telescope

O. A. Andreeva<sup>1,\*</sup>, V. M. Malashchuk<sup>1,\*\*</sup>, A. A. Plotnikov<sup>1,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Crimean Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nauchny, Russia*

\*e-mail: olga@craocriemea.ru

\*\*e-mail: mvm@craocriemea.ru

\*\*\*e-mail: plotnikov.andrey.alex@yandex.ru

Systematic observations in the near-infrared on the TST-2 solar tower telescope of the Crimean Astrophysical Observatory began in 1999 and continue until now. During this time, unique observational material has been accumulated that allows us to analyze the evolution of coronal holes, filaments and active regions. Due to the fact that during this time the observational process has been repeatedly modernized with varying degrees of complexity, and changes have been made to the processing programs, we have several series of spectroheliograms of different types. The last stage of modernization, in particular, concerned the creation of new software, with the possibility of stream processing of observation results. This allowed us to systematize the work to unify the presentation of our data. In this paper, we present the updated database. The structure of the database, access to its elements, and examples of comparison of solar disk maps from our database with images of the Sun in other spectral lines and synthesized by different algorithms are discussed. The unified database is a convenient tool for uniform visualization of observational material obtained over more than two solar cycles. It can be useful for scientific research in the field of studying the nature and evolution of coronal holes and their connection with other structures on the Sun.

*Keywords:* Sun, solar observational databases, observations in the He I  $\lambda 10830 \text{ \AA}$  line