

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ДОСТУПА К МУЛЬТИ-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

**Березин И.А., Тлатов А.Г., Шрамко А.Д.,
Сапралиев М.Е., Дормидонтов Д.В.**

Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

SYSTEM OF PROCESSING, STORAGE AND ACCESS TO MULTI-INSTRUMENTAL SOLAR ACTIVITY DATA

**Berezin I.A., Tlatov A.G., Shramko A.D.,
Sapraliev M.E., Dormidontov D.V.**

Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Kislovodsk, Russia

Data of the Kislovodsk Mountain Astronomical Station (KMAS) of the Pulkovo Astronomical Observatory RAS represent images of the solar photosphere, chromosphere, and corona. In addition to measurements in the core of spectral lines, synoptic measurements of the full profiles of spectral lines on the disk of the Sun are carried out: H_{α} , Ca II K and Fe I (630 nm). Radio observations at wavelengths of 3.2 and 4.9 cm are also being continuously monitored. We present a complex automated system of data processing, including recognition of objects in solar images, generation of maps of magnetic fields on the photosphere and chromospheric parameters, assembly of video clips on observational data for quick viewing, creation of synoptic maps of the magnetic field, calculation of flare indices and solar activity indices. The main infrastructural component of the presented system is the KMAS server, which provides storage and processing of data almost in real time. The KMAS server provides open access via the Internet to data of different levels: from spectral and spectropolarimetric data to high-level data such as magnetic field maps and contours of objects segmented in solar images.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-33-36>

Введение

На Горной Астрономической Станции (ГАС) ГАО РАН существует много наблюдательных программ. В синоптическом режиме ведутся измерения в солнечной фотосфере, хромосфере, короне. Помимо измерений в ядре спектральных линий, регулярно проводятся измерения полных профилей спектральных линий H_{α} , Ca II K и Fe I (630 нм) на всём диске Солнца. В непрерывном режиме ведутся радионаблюдения на длинах волн 3.2 и 4.9 см и измерения магнитного поля Земли. За многие годы наблюдений на ГАС скопился внушительный архив солнечных данных, размеры которого исчисляются сотнями терабайт. Благодаря сотрудничеству с Калмыцким Государственным Университетом мы смогли организовать удалённый доступ к некоторой части архива, в том числе к спектральным и спектрополяризметрическим данным. Файловый HTTP сервер доступен по адресу

<http://solar-data.ru:8080/> или <http://31.173.211.53:8080/>. Помимо хранения данных на базе сервера реализуется комплексная автоматизированная система обработки, включающая распознавание объектов на изображениях Солнца, формирование карт фотосферных магнитных полей и параметров хромосферы, сборку видеороликов по данным наблюдений для быстрого просмотра, создание синоптических карт магнитного поля, вычисление вспышечных индексов и других показателей солнечной активности.

Структура данных

Ниже перечислены основные типы данных, представленных на сервере ГАС:

- Изображения Солнца в формате FITS: в белом свете, в линии Ca II K, в линии H α ;
- Магнитограммы полного диска Солнца по данным магнитографа СТОП (Солнечный Телескоп Оперативного Прогнозирования), синоптические карты;
- Интенсивность короны в линиях Fe XIV 5303 Å и Fe X 6374 Å в виде текстовых таблиц и изображений;
- Текстовые форматы (abr, br, grp, pral, prb, cnt), содержащие результаты сегментации объектов на Солнце и характеристики этих объектов;
- Таблицы и графики с индексами солнечной активности;
- Спектральные и спектрополяриметрические данные, полученные на хромосферных телескопах и магнитографе СТОП соответственно.

Основной объём информации составляют спектральные данные нулевого уровня (Lev0) – это спектры солнечного излучения – кадры, записанные спектрогелиографом при прохождении изображения Солнца по щели прибора. Кадры спектров пронумерованы в порядке сканирования (от восточного лимба к западному). Из данных нулевого уровня формируются данные первого уровня (Lev1), которые представлены в виде многослойных FITS-файлов. Структура такого FITS-файла для наблюдений в линии H α продемонстрирована на рис. 1.

Спектрополяриметрические данные (данные магнитографа СТОП) нулевого уровня организованы более сложно, поскольку содержат кадры, записанные спектрографом для разных поляризационных компонент солнечного света. В каждом положении изображения Солнца на щели спектрографа записываются четыре типа спектров: для света с левой и правой круговой поляризацией пропущенного или нет через полуволновую фазовую пластинку $\lambda/2$. Пластинка $\lambda/2$ нужна для устранения эффекта инструментальной поляризации. Для снижения шума регистрируется несколько десятков кадров спектров каждого типа, всё это хранится в виде трёхмерных массивов, записанных в FITS-файлы, пронумерованных в порядке сканирования Солнца. Значения в ключах COMPONENT и HALF-WAVE в заголовках FITS-файлов обозначают тип соответствующих спектров.

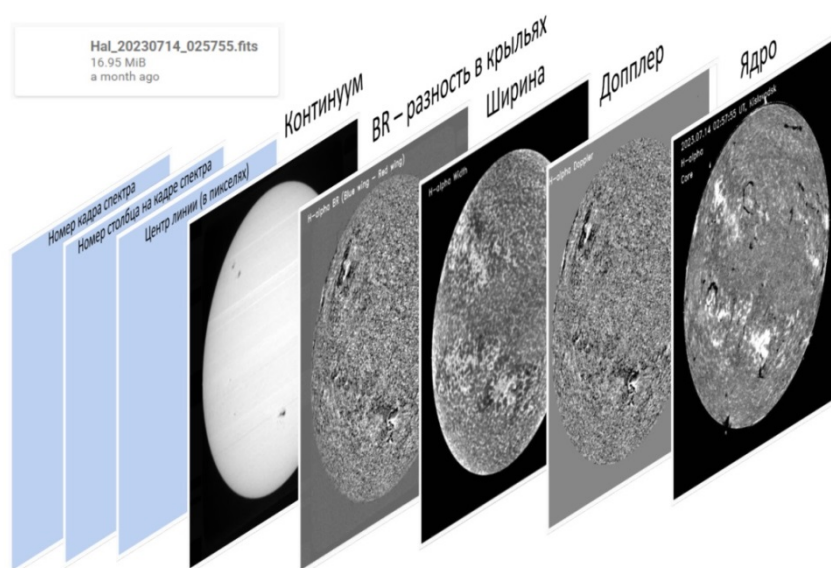


Рис. 1. Организация данных первого уровня (Lev1) патрульного спектрогелиографа в линии H_{α} в виде многослойного FITS-фала.

Спектрополяриметрические данные первого уровня – это магнитограммы полного диска Солнца. Из магнитограмм формируются данные более высокого уровня – синоптические карты магнитного поля.

Обработка данных

Кроме хранения данных и организации удалённого доступа, на сервер возложены задачи ведения различных расчётов в автоматическом режиме. Это обработка данных патрульных телескопов и магнитографа, моделирование, подсчёт индексов солнечной активности и прочее. Однако не все этапы обработки данных могут быть автоматизированы, такие задачи как сегментация и группирование пятен, обработка данных коронографа решаются при участии оператора.

Вычисление индексов солнечной активности

На сервере ведётся регулярный автоматический подсчёт индексов солнечной активности: площадей солнечных пятен, хромосферных флоккул, волокон, корональных дыр, интенсивности солнечной короны. Патрульные наблюдения в оптическом и радиодиапазоне позволяют определять индексы, характеризующие вспышечную активность, что особенно интересно для мониторинга состояния космической погоды.

Наблюдения в линии H_{α} традиционно используются, в том числе, для регистрации солнечных вспышек [1]. Солнечные Патрульные Оптические Телескопы (СПОТ) [2], работающие на ГАС, измеряют полные профили хромосферных линий H_{α} и Ca II K . Это позволяет нам детально диагностировать параметры хромосферы, регистрировать и изучать различные эруптивные процессы и прочее. Среди прочего, мы можем оценивать измене-

ния потока излучения в ядре хромосферных линий. На рис. 2 приведён пример оперативно вычисляемого индекса H_α , который определяется как

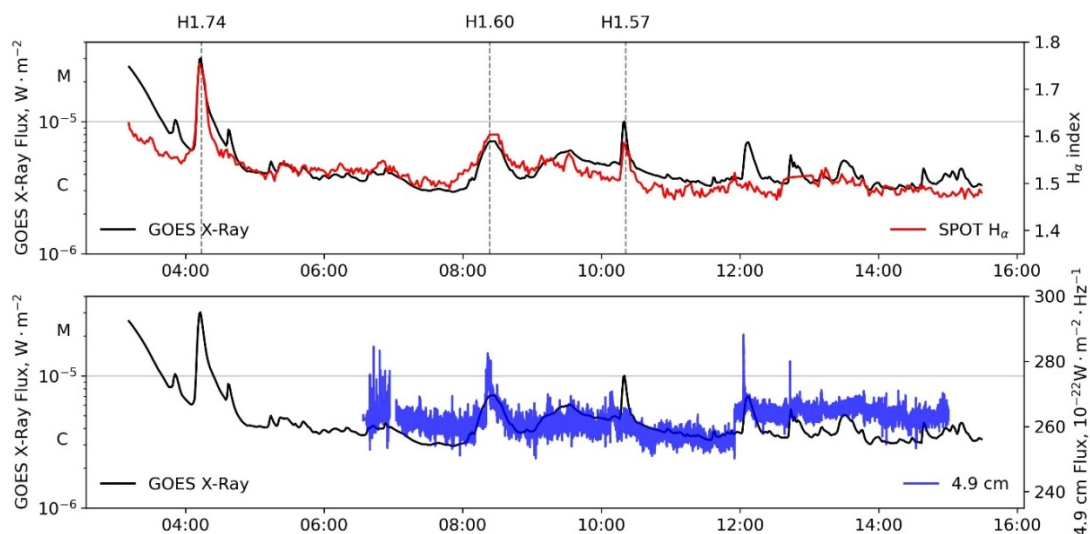


Рис. 2. Индекс H_α (верхняя панель) и радио (4.9 см, нижняя панель) по данным ГАС, сравнения с потоком рентгеновского излучения по данным GOES за 14.07.2024.

средняя интенсивность излучения в активных областях по отношению к интенсивности спокойной хромосферы. Рост индекса до пиковых значений сигнализирует о состоявшейся солнечной вспышке. Около 04:00 UT 14.07.2024 интенсивность выросла до 1.74 по отношению к спокойной хромосфере (индекс H1.74), что соответствует зарегистрированной в рентгене вспышке класса M3.0 по шкале GOES. Кроме того, на представленном примере в линии H_α зарегистрированы более слабые вспышки C-класса (H1.60, H1.57). Мы можем заключить, что СПОТ является перспективным прибором для оценки вспышечной активности.

Работа выполнена по госзаданию Минобрнауки РФ № 075-03-2024-113 «Разработка новых наблюдательных и теоретических подходов в прогнозе космической погоды по данным наземных наблюдений».

Литература

1. Veronig A.M., Pötzi W. // Ground-Based Observations of the Solar Sources of Space Weather. 2016. Vol. 504. P. 247.
2. Berezin I.A., Tlatov A.G., Pevtsov A.A. Solar Filament Eruptions in H_α Doppler Velocity // ApJ. 2023. – Vol. 950. – P. 100.