СОЗДАНИЕ РЯДОВ СВОЙСТВ ОТДЕЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

**Тлатов А.Г.^{1,2}, Васильева В.В.¹, Сапешко В.И.¹, Скорбеж Н.Н.¹,
Тлатова К.А.¹, Илларионов Е.А.³**

¹*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия*

³*Московский государственный университет, Москва, Россия*

CREATION OF SERIES OF PROPERTIES OF INDIVIDUAL SUNSPOTS

**Tlatov A.G.^{1,2}, Vasil'eva V.V.¹, Sapeshko V.V.¹, Skorbez N.N.¹,
Tlatova K.A.¹, Illarionov E.A.³**

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Russia*

²*Kalmyk State University, Elista, Russia*

³*MSU, Moscow, Russia*

Data on sunspot area is important for studying solar activity and its long-term changes. In the Kislovodsk Mountain Astronomical Station, we are working on compiling several catalogs of sunspots: processing of photogeliographic data on photographic plates 1954–2010 (KPD), observational data in Kislovodsk on digital CCD (KPDD) 2010–2019, Kislovodsk data SDO/HMI (HMIKD) 2010–2019.

We also compiled an additional catalog of sunspots from the digitized images of the Royal Greenwich Observatory for 1919–1972. By comparing these catalogs when they overlap in time, we can examine how various factors affect the measured area of sunspots.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-381-386

Введение

Данные площадей солнечных пятен предоставляют самые длинные доступные временные ряды среди физических показателей солнечной активности [1]. Самый длинный и наиболее широко используемый набор данных по ежедневным площадям пятен и координатам групп пятен был опубликован в томах Гринвичских фотогелиографических результатов (GPR). В 1976 году наблюдения GPR были прекращены.

С 1948 года начались наблюдения солнечных пятен на Кисловодской Горной астрономической станции ГАО РАН (ГАС). Ряды данных групп солнечных пятен были основаны на результатах обработки фотографических пластинок, снятых на ГАС. Отсутствующие дни наблюдений заполнялись по данным наблюдений других обсерваторий Службы Солнца, тем не менее, их обработка проводилась сотрудниками ГАС. Ряд групп солнечных пятен по результатам наблюдений на фотопластинках охватывает период 1954–2010 г. С 2010 г. на ГАС перешли на цифровую регистрацию. Это позволило улучшить качество получаемых изображений и внедрить

методы компьютерного анализа изображений для выделения пятен. Важным является тот факт, что переход на цифровую обработку позволил осуществлять выделение отдельных солнечных пятен, пор и ядер солнечных пятен (<http://158.250.29.123:8000/web/grp/>). При этом сохранен и формат каталога отдельных солнечных групп пятен (http://158.250.29.123:8000/web/Soln_Dann/).

В данной работе мы представляем первые результаты выделения отдельных солнечных пятен на фотографических пластинках Кисловодска за период 1954-2010 гг.

Базы данных характеристик солнечных пятен

Помимо данных ГАС и GPR существуют два других независимых источника данных. Это данные сети солнечных оптических наблюдений (SOON) и данные наблюдений фотогелиографа Дебреценской обсерватории (DPD) [2].

Наблюдательная сеть SOON состоит из сети солнечных обсерваторий, расположенных по всему миру для круглосуточного синоптического солнечного патрулирования солнечных пятен. Основными обсерваториями SOON являются члены BBC США (USAF). Сеть SOON производит анализ данных в режиме реального времени, поэтому необходима быстрая обработка данных. Данные сети отправляются в центры обработки данных Национального управления океанических и атмосферных исследований США (USAF/NOAA). К данным SOON вместе с данными GPR можно получить доступ с двух веб-сайтов. Одним из них является сайт (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/sunspotregionsdata.html>) (NCEI), где данные SOON можно найти для групп солнечных пятен USAF_MWL. Альтернативная версия данных GPR-SOON поддерживается D. Hathaway [3] на его новом сайте (<http://solarcyclescience.com/activerregions.html>), в то время как его старая версия все еще доступна в Центре космических полетов им. Маршалла (MSFC) (<https://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>). Этот последний набор данных содержит одно значение скорректированной площади солнечных пятен на группу в день, это обычно среднее значение дневных значений двух или более станций наблюдения. Авторы работы [3] нашли поправочный коэффициент 1.4, который при применении к данным SOON приведет их к масштабу областей солнечных пятен GPR и ГАС. Таким образом, суточные площади групп пятен Hathaway умножаются на 1.4, но записи отдельных площадей групп в NOAA/NCEI остаются без изменений.

Каталог пятен обсерватории Дебрецен (DPD) 1974–2018 гг. содержит данные о положении и площади для всей группы и каждого пятна в ней (<http://fenyi.solarobs.csfk.mta.hu/en/databases/DPD/>). Ежедневные данные измеряются на полнодисковых фотопластинках “белого” света, полученных в основном в Дебрецене и на его наблюдательной станции в Дьюле.

Пробелы в данных были заполнены наблюдениями сотрудничающих обсерваторий или, в некоторых случаях, космическими фотосферными изображениями. После прекращения наблюдений в Дебрецене в 2013 году каталог DPD продолжался с использованием наблюдений других обсерваторий. К сожалению, с июня 2018 г. каталог перестал обновляться и, вероятно, дальше продолжаться не будет. Помимо каталога наблюдения фотогелиографа, сотрудники обсерватории Дебрецена подготовили два альтернативных каталога данных площадей группы солнечных пятен, включая пересмотренную версию исторической записи GPR (в формате, совместимом с базой данных DPD) и набор данных, основанный исключительно на спутниковых наблюдениях HMI/SDO. Последний набор данных называется SDO/HMI – доступен с часовой периодичностью с 2010 по 2014 год.

Каждая база данных имеет свои преимущества, которые можно использовать для различных исследований. База данных SOON основана на наблюдениях сети обсерваторий, имеет хорошее финансирование и организацию (USAF и NOAA), временное разрешение, лучше одного дня, и информацию о классификации групп солнечных пятен. ГАС имеет хорошо отработанные методы обработки данных наблюдений, большую длительность, а также большое количество времени параллельной работы с GPR. DPD предоставляет подробную информацию о пятнах, веб-сайт включает изображения, из которых получены области солнечных пятен. Уровни площади группы пятен записей ГАС и DPD ближе к уровням GPR, чем SOON.

Метод обработки

Чтобы идентифицировать солнечные пятна на солнечных изображениях, мы использовали методы, опубликованные в программе SolarView [4]. Солнечное изображение может содержать не только элементы, принадлежащие Солнцу, но также и различные артефакты, такие как дефект эмульсии, стирание эмульсии, царапины, пылинки, облака, надписи, пятна, маркеры ориентации и многое другое. Свойства некоторых из этих артефактов похожи на солнечные пятна (особенно когда качество изображения не слишком хорошее), поэтому их трудно отфильтровать автоматически, но во многих случаях это может сделать обученный человеческий глаз/мозг (не всегда). Даже когда в среднем изображение хорошее, существуют области с более плохим качеством, и небольшие пятна в этих областях не могут быть точно отождествлены. Однако если на близком по времени снимке эти пятна расположены в областях с хорошим обзором, то они будут четко видны и могут обеспечить верификацию. Вблизи солнечного лимба, особенно когда качество изображения не слишком хорошее, границы полутени и тени не слишком четкие.

В этом случае вмешательство человека может повысить точность определения этих границ. Для этого в основе нашего программного комплекса мы

используем методы автоматической обработки и возможность выбора человеком методов автоматического наблюдения и/или редактирования границ выделенных объектов.

Программный комплекс SolarView позволяет выделять границы фотосфера-полутень и границы ядра-полутень пятен, определять геометрические характеристики такие, как координаты, площадь и другие характеристики пятен. Если оператор считает, что выделенный элемент имеет недостаточную или наоборот избыточную площадь, оператор может корректировать границы. Это может происходить при сжатии или росте элемента. При этом скорость роста зависит от относительной величины градиента Sobel при изменении границ. Кроме того, поры, пятна и тени могут быть удалены или добавлены. Каталоги HMI/SDO выпускаются в автоматизированной версии.

Рис. 1. Результаты предварительной обработки выделения отдельных солнечных пятен по данным обработки фотопластинок Кисловодска в период 1954–2019 гг. а) Площадь пятен; б) Число выделенных пятен; в) Международный индекс солнечных пятен. Представлены ежемесячные значения и данные сглаженные скользящим окном по 13-ти точкам.

На рис. 1 представлены результаты предварительной обработки выделения отдельных солнечных пятен по данным обработки фотопластинок Кисловодска в период 1954–2019 гг. в том числе площадь пятен; число выделенных пятен в сравнении с международным индексом солнечных пятен. Как видно из представленного графика на момент 10.2019 г. не все годы наблюдений обработаны полностью. На рис. 2 представлено широтно-временное распределение площадей пятен. Пока при обработке наблюдается дефицит площади в 19-м цикле активности. В дальнейшем мы планируем представить более полную версию обработки.

Рис. 2. Широтно-временная диаграмма распределения площадей солнечных пятен, полученных в результате нынешней оцифровки. Точками показаны положения групп солнечных пятен.

Помимо обработки фотографических пластинок фотогелиограмм, мы проводим выделение отдельных солнечных пятен и пор на ежедневных наблюдениях SDO/HMI, выполненных в квазиконтинууме (имена файлов hmi.Lc_45s) с 2010 (<http://158.250.29.123:8000/web/sdo/>). Чтобы минимизировать размер набора данных и смягчить эффект орбитальных движений, используется только одно изображение в день (сделанное в 5:00 UT). Чтобы минимизировать эффекты проецирования, мы дополнительно ограничиваем набор данных элементами, обнаруженными в пределах 30° от центра солнечного диска. Мы классифицировали все элементы на поры и солнечные пятна. Элементы, для которых площадь тени равна общей площади, классифицируются как поры, а элементы с полутенью – как солнечные пятна, соответственно. После идентификации солнечных пятен и пор их границы накладывались на магнитограммы продольного поля, снятые HMI одновременно с квазиконтинуумными изображениями. Магнитограммы

были использованы для расчета общего магнитного потока и максимальной плотности магнитного потока.

Рис. 3. Диаграмма зависимости средней интенсивности магнитного поля B_{av} от логарифма площади. На диаграмме представлено разбиение пятен на группы поры, регулярные пятна и переходные пятна.

На рис. 3. Представлено бимодальное распределение свойств солнечных пятен в зависимости от их размера и средней интенсивности магнитного поля. Мы видим существенное различие магнитных характеристик пор и регулярных пятен.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 18-02-00098 –а и проекта РНФ N 15-12-20001.

Литература

1. *Ermolli, I., Shibasaki, K., Tlatov, A., van Driel-Gesztelyi, L.* Solar cycle indices from the photosphere to the corona: Measurements and underlying physics // *Space Sci. Rev.*, 2014, 186, 105.
2. *Györi, L., Ludmány, A., Baranyi, T.* Comparative analysis of Debrecen sunspot catalogs. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 2017, 465, 1259.
3. *Hathaway, D., Wilson, R., Reichmann, E.* Group sunspot numbers: Sunspot cycle characteristics // *Solar Phys.*, 2002, 211, 357.
4. *Tlatov, A.G.; Vasil'eva, V.V.; Makarova, V.V.* Applying an Automatic Image-Processing Method to Synoptic Observations // *Solar Phys.*, 2014, V. 289, p.1403.