Секция А. Астрофизика и физика Солнца. БШФФ-2026. С. 106–109.

УДК 523.98
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-106
Orcid: 0009-0006-1305-718X, 0009-0007-7045-7144

ОЦИФРОВАННЫЙ КАТАЛОГ ПОЛУСФЕРНЫХ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ (1944–1998) ПО ДАННЫМ АРХИВА АСТРОНОМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА

Е.П. Миненко, Н.В. Карачик

Астрономический институт Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,
mkatya@astrin.uz

A DIGITIZED CATALOG OF HEMISPHERIC SUNSPOT ACTIVITY INDICES (1944–1998) FROM THE ULUGH BEG ASTRONOMICAL INSTITUTE ARCHIVE

E.P. Minenko, N.V. Karachik

Ulugh Beg Astronomical Institute Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan,
mkatya@astrin.uz

Аннотация. Представлены результаты оцифровки солнечных наблюдений из архива Астрономического института им. Мирзо Улугбека и формирования электронного каталога полусферных индексов, включающих число Вольфа, число групп солнечных пятен и площади солнечных пятен для северного и южного полушарий Солнца. Для анализа межполушарной динамики применен метод вейвлет-когерентного анализа. Исследование пяти солнечных циклов показало устойчивую высокую когерентность между полушариями на масштабах ~8–16 лет, соответствующих циклу Швабе, что указывает на глобальную синхронизацию солнечной магнитной активности. В то же время выявлены квазипериодические колебания (<3 лет) с прерывистой когерентностью, отражающие частично независимое развитие полушарий.

Ключевые слова: солнечная активность, цифровой каталог, полусферные индексы, солнечные циклы.

Abstract. This study presents the results of the digitization of solar observations from the archive of the Ulugh Beg Astronomical Institute and the development of an electronic catalog of hemispheric solar activity indices, including sunspot number, group sunspot numbers, and sunspot areas for the northern and southern hemispheres of the Sun. Wavelet coherence analysis is employed to investigate hemispheric dynamics. Analysis of five solar cycles reveals persistent high inter-hemispheric coherence at timescales of ~8–16 years, corresponding to the Schwabe cycle, indicating a global synchronization of solar magnetic activity. In contrast, quasi-periodic oscillations (<3 years) exhibit intermittent coherence, reflecting a partially independent evolution of hemispheres.

Keywords: solar activity, digitized catalog, hemispheric indices, solar cycles.

ВВЕДЕНИЕ

Северо-южная асимметрия является важной характеристикой солнечного цикла и проявляется в распределении различных индексов активности, включая солнечные пятна, их площади и группы, вспышечную активность, интенсивность зеленой корональной линии, факелы, протуберанцы и фотосферные магнитные поля [Newton & Milsom, 1955; Waldmeier, 1961; Temmer et al., 2001, 2002; Brajša et al., 2002; Knaack et al., 2005]. Исследование северо-южной асимметрии и создание соответствующих каталогов имеют важное значение для понимания механизмов солнечного динамо, эволюции магнитного поля и долговременных вариаций солнечной активности, поскольку усредненные индексы по всему солнечному диску могут сглаживать существенные особенности солнечных циклов. Недавние исследования [Zhang et al., 2022] подтвердили важность непрерывных полусферных рядов данных для анализа долговременной асимметрии и вариаций солнечных циклов. В связи с этим особую актуальность приобретает цифровизация архивных наблюдений, обеспечивающая получение однородных и длительных рядов данных для детального анализа активности отдельно в северном и южном полушариях Солнца.

Одним из первых систематических исследований в данном направлении стали работы [Temmer et al., 2001, 2006], основанные на каталоге полусферных чисел солнечных пятен, построенном по рисункам солнечных пятен, полученным в Солнечной обсерватории Канзельхёэ (Kanzelhöhe Solar Observatory, Австрия) и обсерватории Скалнате-Плесо (Skalnaté Pleso Observatory, Словакия). В работе [Temmer et al., 2006] представлен расширенный анализ асимметрии солнечной активности между северным и южным полушариями Солнца за период 1945–2004 гг., охватывающий почти шесть солнечных циклов (№ 18–23). Показано, что северное и южное полушария проявляют выраженную асимметрию в активности солнечных пятен, особенно вблизи максимумов солнечного цикла, при этом их эволюция носит частично независимый характер. Позднее в работе [Veronig et al., 2021] был представлен расширенный каталог полусферных чисел солнечных пятен за период 1874–2020 гг. (циклы 12–24), что позволило исследовать фазовые сдвиги солнечных циклов и долговременные изменения межполушарной асимметрии. Данный каталог основан на объединении и перекалибровке исторических площадей солнечных пятен Royal Greenwich Observatory, полусферных наблюдений Kanzelhöhe и Skalnaté Pleso, а также современных данных SILSO, что обеспечило формирование однородного длительного ряда чисел солнечных пятен отдельно для северного и южного полушария.

Работы по восстановлению и сохранению исторических солнечных наблюдений активно проводятся для архивов различных астрономических

обсерваторий, в частности, был создан каталог наблюдений Коимбрской обсерватории (Coimbra Astronomical Observatory, Португалия) за период 1929–1941 гг. [Carrasco et al., 2021]. В работе [Karachik et al., 2025] представлен обзор широкого спектра архивных данных Астрономического института имени Мирзо Улугбека (АИ АН РУз.) и представлен каталог среднемесячных индексов солнечной активности за 1932–2000 гг. Авторы подчеркивают также необходимость перевода архивных данных в электронный формат для их дальнейшего научного использования и интеграции в международные базы данных.

Настоящая работа является продолжением процесса цифровизации архива АИ АН РУз. и посвящена созданию каталога полусферных индексов солнечной активности за период 1944–1998 гг. Для восстановления и верификации данных были использованы оригинальные рукописные журналы, хранящиеся в архиве института. Созданный каталог позволяет исследовать долговременную эволюцию солнечной активности отдельно для северного и южного полушария Солнца, а также может быть использован в исследованиях фазовых сдвигов солнечных циклов и межполушарной асимметрии.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Архив солнечных наблюдений АИ АН РУз. представляет собой один из крупнейших наборов данных по солнечной активности в Центральной Азии. Регулярные наблюдения Солнца в Ташкенте проводятся с начала XX века, а систематические фотогелиографические и индексные наблюдения были организованы в рамках Службы Солнца СССР начиная с 1932 г. Архив включает журналы наблюдений, фотопластинки и фотопленки, а также вычисленные индексы солнечной активности, представляющие значительную ценность для исследований долговременной изменчивости солнечных циклов и северо-южной асимметрии солнечной активности. В качестве первого шага по представлению этих данных в электронном формате и обеспечению их открытой доступности нами был создан каталог ежемесячных индексов солнечной активности [https://doi.org/10.7910/DVN/6XPXC1].

Основная часть полусферных данных (охватывающая период с 1944 по 1989 г.) была опубликована в выпуске № 136 (483) «Циркуляра Астрономического института Академии наук Узбекской ССР» [Kuleshova et al., 1991]. Однако таблицы содержат многочисленные пропущенные или нечитаемые значения. Нечитаемые данные были восстановлены с использованием рукописного журнала вычисленных индексов солнечной активности, хранящегося в архиве Астрономического института. На рис. 1 приведен пример отсканированной страницы из данной статьи (*а*) и страница рукописного журнала (*б*) с вычисленными среднемесячными индексами.

По рукописному журналу вычисленных индексов солнечной активности из архива Астрономического института были скорректированы нечитаемые значения: число Вольфа — 14 значений, число групп пятен — 16 (2 дописали), площадь солнечных пятен — 15. Всего было уточнено более 40 значений различных индексов по полушариям. Данные из «Циркуляра…» дополнены наблюдениям еще за 9 лет, до мая 1998 г., по всем трем показателям: число Вольфа, число групп пятен и площадь солнечных пятен. Вся процедура оцифровки была выполнена вручную, в связи с трудностями чтения и интерпретации рукописного источника. Составленный каталог помещен в открытый доступ на ресурсе Harvard Dataverse [https://doi.org/10.7910/DVN/LXU0EE]. Он представляет собой первый электронный полусферный каталог индексов солнечной активности по данным наблюдений Службы Солнца в Ташкенте. Нами были замечены некоторые расхождения для небольшого числа данных между суммой значений индексов по полушариям и общим среднемесячным значением того же индекса. После оцифровки ежедневных значений среднемесячные показатели будут перепроверены и подвергнуты корректировке для устранения выявленных расхождений.

На основе созданного электронного каталога проведен анализ долговременных циклических и квазипериодических вариаций числа Вольфа, числа групп пятен и площади солнечных пятен северного и южного полушарий, а также выполнена оценка особенности их взаимосвязи в рамках современных представлений о механизмах солнечного динамо. Для исследования временной эволюции синхронности межполушарной активности применен метод вейвлет-когерентности (wavelet coherence), позволивший изучить изменение согласованности колебаний на различных временных масштабах.

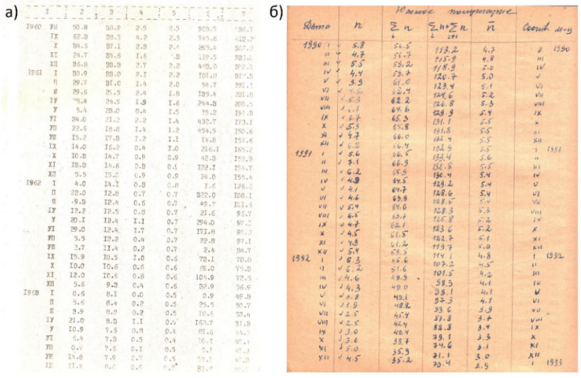

Рис. 1. Отсканированные страницы с индексами активности солнечных пятен из печатного каталога, представленного в [Kuleshova et al., 1991] (*а*), и рукописного журнала (*б*)

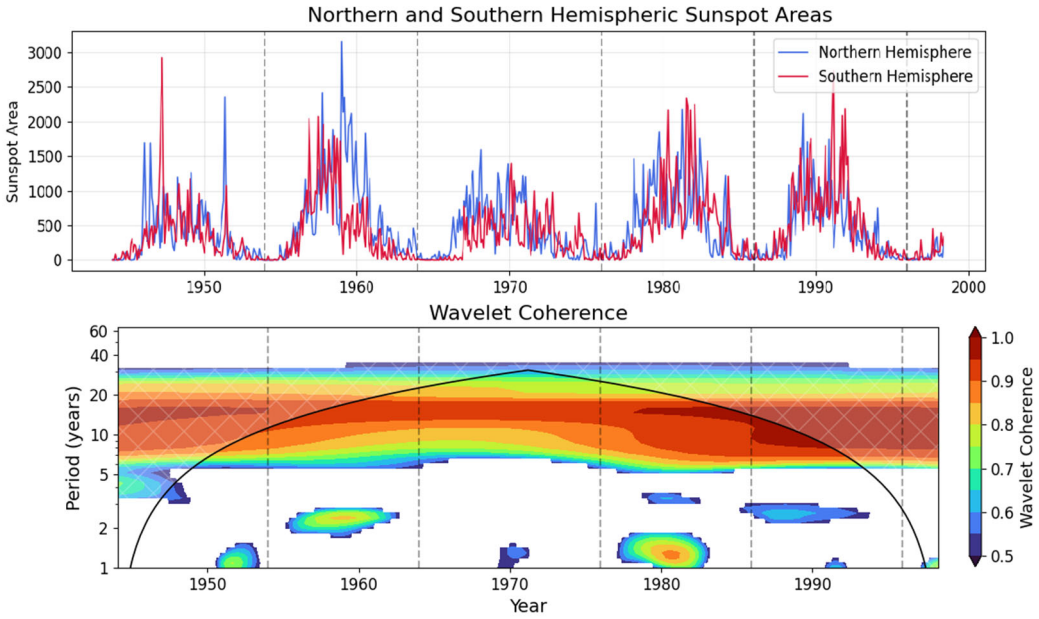

Рис. 2. Временные вариации среднемесячной площади солнечных пятен в северном (синим) и южном (красным) полушариях (вверху), спектр модуля вейвлет-когерентности между временными рядами полушарной активности (внизу); черная сплошная линия ограничивает область 95%-го уровня статистической значимости

На рис. 2 представлены графики временной вариации значений среднемесячной площади солнечных пятен (верхняя панель) за период порядка пяти полных циклов солнечной активности (№ 18–22). Перпендикулярными линиями обозначены границы каждого цикла. На нижней панели показана скалограмма вейвлет-когерентности площадей солнечных пятен в северном и южном полушариях Солнца. Слева дана шкала модуля когерентности межполушарной активности. Основная область значений локализована в высокоамплитудной красно-оранжевой области спектра, соответствующей коэффициенту когерентности более 0.8. Черная сплошная линия ограничивает область 95%-го уровня статистической значимости.

Максимальная когерентность наблюдается в диапазоне около 8–16 лет, что соответствует основному циклу солнечной активности. Это подтверждает, что основной энергетический масштаб одинаков для обоих полушарий. С другой стороны, связь между полушариями не является постоянной во времени. Наблюдаются интервалы ослабления когерентности, что указывает на временное усиление северо-южной асимметрии солнечной активности. На вейвлет-когерентной диаграмме в области малых периодов (~1–3 года) наблюдаются отдельные локализованные области повышенной когерентности, проявляющиеся в виде изолированных «островков» около 1950, 1957–1960, 1979–1982 и 1987–1991 гг. Эти структуры указывают на существование краткопериодических квазипульсаций, соответствующие квазидвухлетним (QBO-like) колебаниям солнечной активности.

Анализ всех трех индексов солнечной активности показал наличие выраженной 11-летней цикличности, а также различия в амплитуде и временной эволюции активности северного и южного полушария. Дополнительно выявлены квазипериодические вариации, проявляющиеся на временных масштабах менее 3 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПЛАНЫ НА БУДУЩЕЕ

Спектральный анализ (wavelet coherence) показывает, что северное и южное полушария Солнца демонстрируют устойчивую связь на масштабе ~11-летнего цикла Швабе во всех трех рассмотренных индексах солнечной активности: числе Вольфа, числе групп солнечных пятен и площади пятен. Это свидетельствует о существовании глобальной синхронизации солнечной магнитной активности, обусловленной действием общего динамо-механизма. Анализ пяти солнечных циклов показал, что степень синхронизации и характер межполушарной связи изменяются от цикла к циклу. Таким образом, солнечная асимметрия не является постоянным свойством, а представляет собой динамически изменяющееся и, вероятно, модулируемое во времени явление.

Северное и южное полушария Солнца в целом синхронизированы на масштабе 11-летнего цикла, однако солнечная асимметрия является временно изменяющимся и циклически модулируемым явлением. Анализ вейвлет-когерентности выявляет устойчивую и высокую когерентность между площадями солнечных пятен северного и южного полушария на периодах, близких к циклу Швабе (~8–16 лет), что указывает на существование общего крупномасштабного механизма солнечного динамо. Напротив, короткопериодические колебания (<3 лет) демонстрируют прерывистую и локализованную когерентность, что свидетельствует о частично независимой магнитной активности полушарий на высоких частотах.

Квазипериодические вариации с периодами менее ~3 лет характеризуются нестабильной и локальной

когерентностью, что свидетельствует о частично независимом развитии магнитной активности северного и южного полушарий на высокочастотных временных масштабах. В отличие от глобального 11-летнего цикла, короткопериодические процессы не демонстрируют устойчивой межполушарной синхронизации и, вероятно, определяются локальными динамическими механизмами солнечного динамо. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с ранее опубликованными исследованиями [Knaack et al., 2005; Veronig et al., 2021; Zhang et al., 2022; Ravindra et al., 2022].

В будущем планируется расширение каталога за счет включения информации о числе наблюдений, использованных при месячном усреднении, а также добавление оценок стандартного отклонения (или стандартной ошибки). Для этого необходимо выполнить дополнительную оцифровку исходных ежедневных наблюдений соответствующих индексов солнечной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Brajša R., Wöhl H., Vršnak B., et al. Differential rotation of stable recurrent sunspot groups // Solar Phys. 2002. V. 206. P. 229–241.

Carrasco V.M.S., Vaquero J.M., Gallego M.C., et al. Sunspot Catalogue of the Observatory of the University of Coimbra (1929–1941) // Solar Phys. 2018. V. 293, iss. 11. P. 153, 15 p.

Karachik N.V., Minenko E.P., Ehgamberdiev Sh.A. Historical Solar Observations Archive at the Ulugh Beg Astronomical Institute (Tashkent): Catalogue of Monthly Averaged Sunspot Activity Indices (1932–2000) // Mont. Not. Roy. Astron. Soc. 2025. V. 541, iss. 1. P. 93–100.

Knaack R., Stenflo J.O., Berdyugina S.V. Evolution and rotation of large-scale photospheric magnetic fields of the Sun during cycles 21–23 // Astronomy & Astrophysics. 2005. V. 438, N 3. P. 1067–1082.

Kuleshova K.F., Mustaeva F.G., Slonim Y.M., Tishchenko V.M. Solar activity indices in cycles No. 17–21 (1934–1989) // Tsirkulyar Tashkentskoj Astronomicheskoj Observatorii. 1991. N 136. P.15.

Newton H.W., Milsom A.S. Note on the observed differences in spottedness of the Sun's Northern and Southern Hemispheres // Mont. Not. Roy. Astron. Soc. 1955. V. 115. P. 398–404.

Ravindra B., Chowdhury P., Ray P.C., Pichamani K. Temporal evolutions and quasi-periodic variations present in the sunspot number and group sunspot area data measured at Kodaikanal Observatory for solar cycles 14 to 24 // Mont. Not. Roy. Astron. Soc. 2022. V. 513, iss. 3. P. 3815–3831.

Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., et al. Statistical analysis of solar Hα flares// Astronomy & Astrophysics. 2001. V. 375, N 3. P. 1049–1061.

Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A. Hemispheric sunspot numbers R_n and R_s: Catalogue and the N–S asymmetry analysis // Astronomy & Astrophysics. 2002. V. 390. P. 707–715.

Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., et al. Hemispheric sunspot numbers R_n and R_s from 1945–2004: Catalogue and N–S asymmetry analysis for solar cycles 18–23 // Astronomy & Astrophysics. 2006. V. 447. P. 735–743.

Veronig A. M., Jain S., Podladchikova T., et al. Hemispheric sunspot numbers 1874–2020 // Astronomy & Astrophysics. 2021. V. 652, A56, 12 p.

Waldmeier M. The asymmetry of solar activity in the years 1959–1969 // Solar Phys. 1971. V. 20. P. 332–344.

Zhang X.J., Deng L.H., Fei Y., et al. Hemispheric asymmetry of long-term sunspot activity: Sunspot relative numbers for 1939–2019 // Mont. Not. Roy. Astron. Soc. 2022. V. 514, iss. 1. P. 1140–1147.

URL: https://doi.org/10.7910/DVN/6XPXC1 (дата обращения 27.05.2026).

URL: https://doi.org/10.7910/DVN/LXU0EE (дата обращения 27.05.2026).