

# "СКРЫТЫЕ" СОЛНЕЧНЫЕ ЦИКЛЫ – АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ 23-ГО ЦИКЛА КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ СОЛНЦА

М.И.Рябов<sup>1</sup>, А.Л.Сухарев<sup>1</sup>, С.А.Лукашук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Одесская обсерватория "УРАН-4" Радиоастрономического института НАН Украины,  
Одесса, Украина, ryabov-uran@ukr.net

<sup>2</sup> Кафедра астрономии физического факультета Одесского национального университета  
им.И.И.Мечникова, Одесса, Украина

**ABSTRACT.** Comparison of the basic properties of 23<sup>rd</sup> cycle of activity on all solar disk and on northern and to southern hemisphere separately is held. As the basic indicators of development of a cycle the data of daily and monthly average data of sunspots numbers –  $W$  and the areas of sunspots groups –  $Sp$ , flare index –  $FI$  were used. It is shown that duration of the basic phases of a cycle appears different for northern and southern hemispheres. Thus integrated indicators of indexes on all solar disk are only superposition of real physical processes occurring in northern and southern hemispheres. At the same time incidental "synchronisation" of activity of both hemispheres of the Sun is marked.

With application of a method correlation, periodogram and weivlet the analysis the cores «spectra of the periods» changes of indexes and their evolution throughout all cycle of activity are defined. «Spectra of the periods» are formed by occurrence on a disk of complexes of active areas (CAR) and activity complexes (CA) well distinguishable on maps of millimeter emission of the Sun.

## Введение

В ранее опубликованных работах [1] была показана связь развития комплексов активности (КА) и комплексов активных областей (КАО) с локальными проявлениями вспышечной активности. На основании этих данных был сделан вывод, что основополагающим процессом в формировании и развитии солнечного цикла является самостоятельное и, вероятно, независимое проявление активности северного и южного полушария Солнца. Выявление КА и КАО осуществлялось по картам радиоизображений Солнца полученных на РТ-22 КрАО на миллиметровых и сантиме-

тровых волнах за 20-23 циклы активности. В виду эпизодичности таких наблюдений поставлена задача выявления КА и КАО по динамике изменений основных индексов активности таких как, числа Вольфа –  $W$ , суммарные площади групп пятен –  $Sp$  и вспышечный индекс –  $FI$  вычисленных отдельно для северного и южного полушария. Рассмотрена динамика изменений ежедневных и среднемесячных величин указанных выше индексов и определены основные периоды их активности для северного и южного полушария. Для анализа периодичности процессов формирования циклов активности применены как стандартные методы Фурье анализа так и более современный вейвлет анализ.

## Представление развития цикла активности Солнца

Традиционным является представление солнечного цикла на основе данных среднемесячных и ежедневных значений чисел Вольфа –  $W$  и их сглаженных величин для всего солнечного диска (см. рис. 1).

Применение годовых сглаженных среднемесячных величин демонстрирует наличие двух максимумов в 2000 и 2002 году. Вместе с тем, после того как появились данные по  $W$  отдельно по каждому полушарию с 1955 года стала явной заметной тенденция о попеременном преобладании активности северного или южного полушария.

Представление данных по динамике изменения среднемесячных значений указанных выше индексов и их годовых сглаженных значений показано на рис. 2-4.

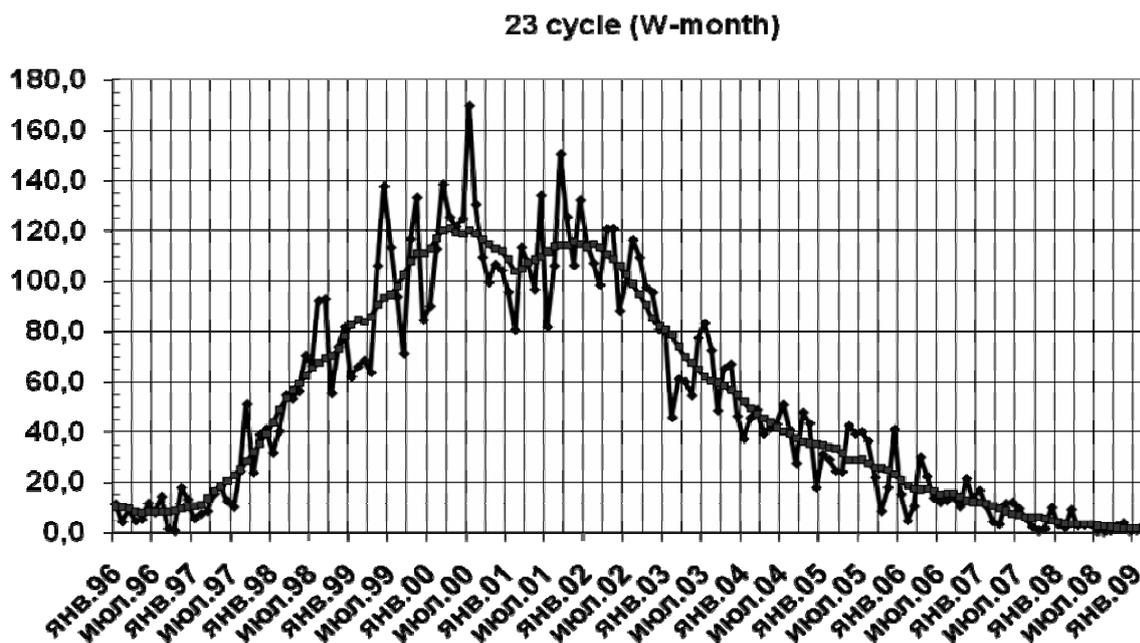


Рис. 1. Среднемесячные и сглаженные значения чисел Вольфа по всему солнечному диску в 23-м цикле активности и прогнозы развития 24-ого цикла.

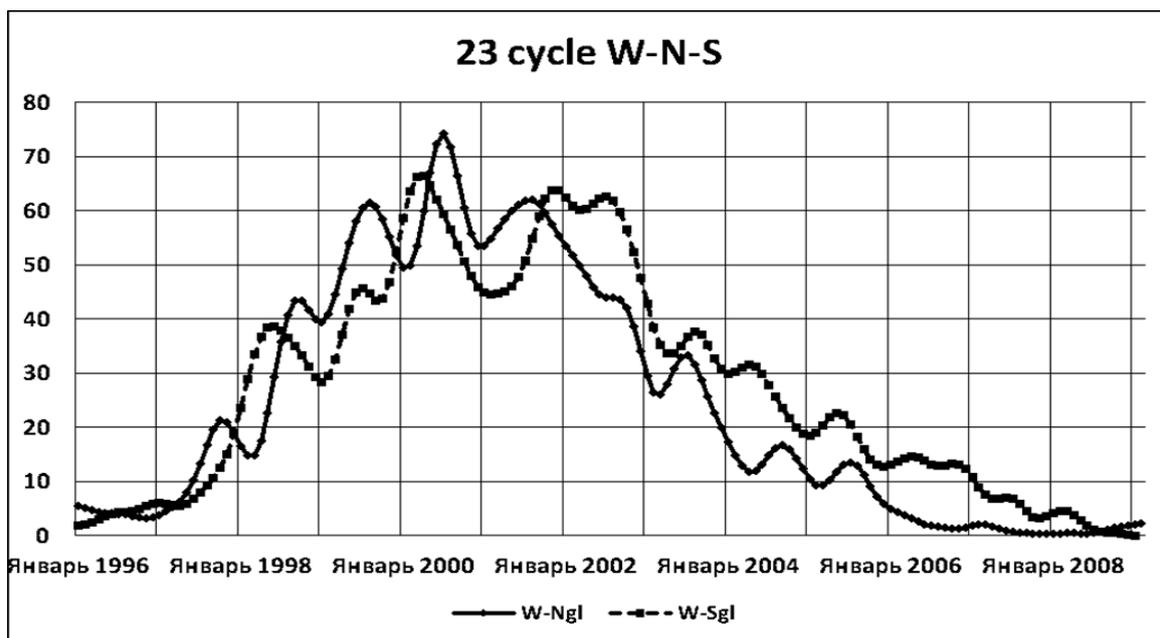


Рис. 2. Динамика изменений сглаженных среднемесячных величин W для северного и южного полушария.

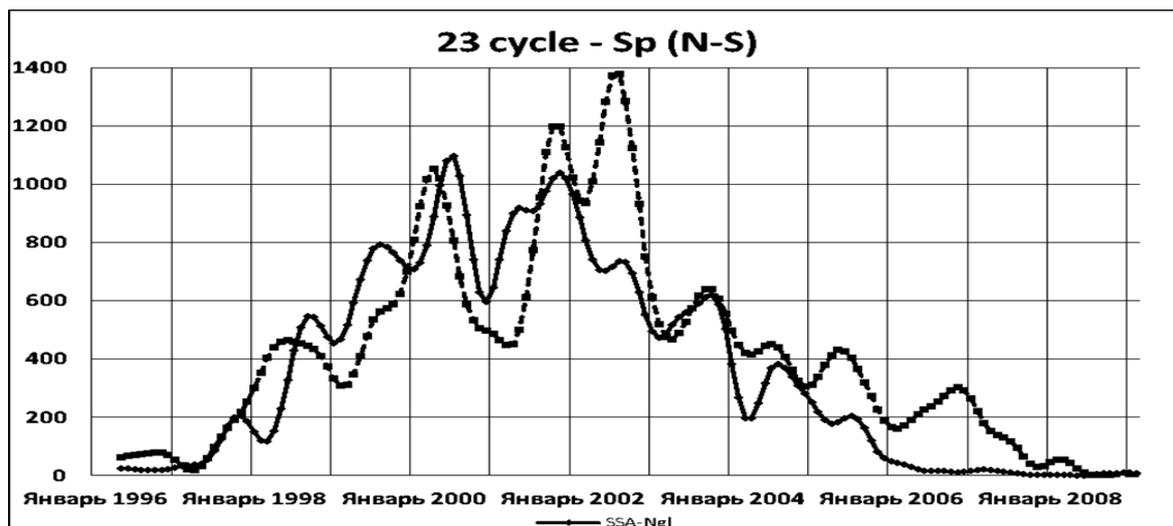


Рис. 3. Динамика изменений сглаженных среднемесячных величин Sp для северного и южного полушария.

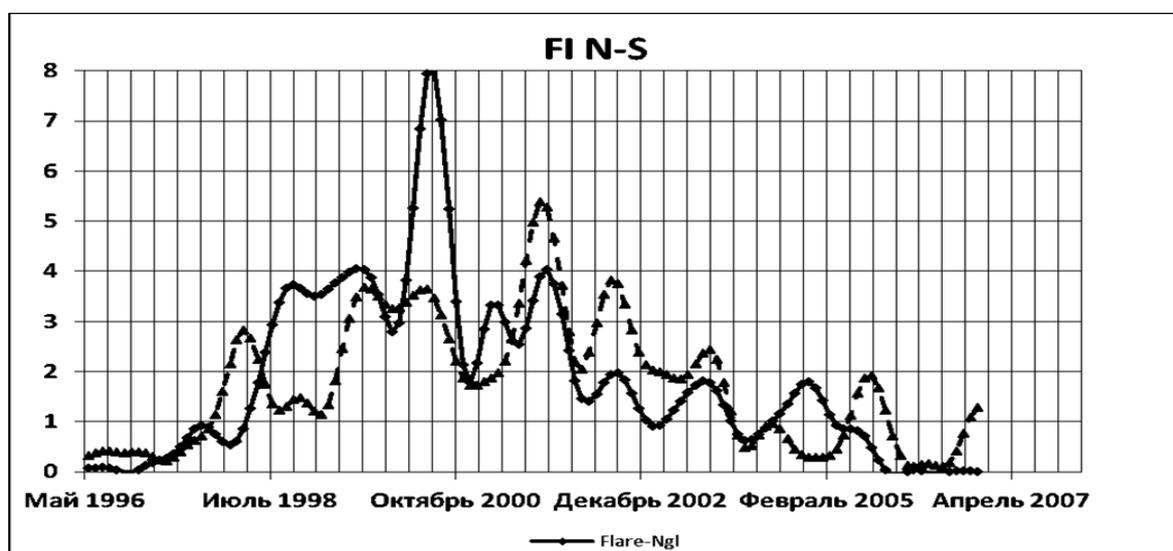


Рис. 4. Динамика изменений сглаженных среднемесячных величин вспышечного индекса FI для северного и южного полушария.

На всех рисунках видно различие в развитии активности в северном и южном полушариях. Заметно превышение активности северного полушария на фазе роста и первого максимума. Превышение активности южного полушария наблюдается в период второго максимума и спада солнечного цикла. Наиболее существенно преобладание активности южного полушария по данным суммарных площадей групп пятен – Sp. Для вспышечного индекса – FI характерно наличие максимального значения в период максимума 2000 года и систематическое превышение уровня активности начиная со второго максимума 2001 года. Однако этим не исчерпывается различие в активности северного и южного полушарий.

Заметно наличие квазипериодических флуктуаций в развитии каждого цикла активности. Они выглядят гораздо более четкими, чем при представлении данных по всему солнечному диску (сравним рис. 1 и рис. 2-4). Причем они далеко не всегда выглядят синхрон-

ными в двух полушариях. Различно и время наступления максимумов у различных индексов в северном и южном полушариях Солнца. В работе [2] подробно описаны основные фазы развития 23-го солнечного цикла отдельно для северного и южного полушария по индексам W, Sp, FI.

В многочисленных работах как по среднегодовым величинам чисел Вольфа, так и по различным другим индексам рассматривался ход изменения индекса асимметрии солнечного цикла который определяется как величина  $A = (N-S) / (N+S)$ , где N и S значения индексов активности для северного и южного полушария [3].

Применяется также индекс асимметрии как отношение суммарных площадей групп пятен в северном и южном полушарии в виде  $Q = \sum N / \sum S$  [3].

В данной работе реализован иной подход основанный на изучении закономерностей развития активности в каждом полушарии по отдельности для совокуп-

ности взаимодополняющих индексов активности, таких как числа Вольфа –  $W$ , суммарные величины площадей групп пятен –  $S_p$  и значения вспышечного индекса –  $FI$ . Числа Вольфа –  $W$  отражают количество центров активности на Солнце, суммарные величины площадей пятен –  $S_p$  указывают на их мощность, а величина вспышечного индекса –  $FI$  на реализацию энерговыделения активной областей. Очевидно, что проявление вспышечной активности есть результат возрастания площади групп пятен отражаемого индексом  $S_p$  и ростом числа центров активности представленного индексом – числа Вольфа –  $W$ .

В работе [1] на основе данных исследований источников  $S$ -компоненты в миллиметровом диапазоне показано что формирование областей предвспышечного накопления энергии происходит в таких крупномасштабных магнитосвязанных структурах на Солнце как комплексах активных областей (КАО) и комплексах активности (КА).

Исследования проводились как по данным среднемесячных так и ежедневных значений индексов. Наиболее детально динамика активности северного и южного полушарий может быть изучена на основе расчетов спектров временных изменений ежедневных значений индексов с применением различных методов анализа временных рядов.

#### **Результаты исследований с применением метода Фурье анализа.**

В работах [4-6] был рассмотрен результат применения Фурье анализа временных рядов на основе программы «Statistica8» к данным ежедневных значений чисел Вольфа –  $W$ , суммарной площади пятен –  $S_p$ , и вспышечного индекса –  $FI$ .

Для более детального выявления особенностей развития цикла вычисления основных периодов проводились отдельно для каждого года. На основе расчетов были составлены таблицы основных периодов для каждого из индексов и соответствующие «спектры» периодограмм в порядке от большего к меньшему значению.

В связи с «чувствительностью» данного метода к наличию тренда связанного с общим ходом солнечного цикла анализировались разности ежедневных значений индексов и годовых сглаженных величин. Это позволяло выделять кратковременные периоды вариаций индексов активности. Результаты расчетов показывают, что для каждого года характерен свой набор периодов.

Интервал периодов довольно широк. По  $W$  и  $S_p$  он меняется от 180 до 14 дней, по вспышечному индексу от 180 до нескольких дней. Можно условно выделить долгопериодические, полугодовые изменения индек-

сов (период в 180 дней), периоды средней продолжительности 90 и 120 дней и более короткие от 60 до 14 дней. Каковы физические процессы приводящие к такой сложной комбинации периодов по разным индексам в разные годы и в различных полушариях? Что бы лучше выявить основные тенденции следует применить вейвлет анализ, который позволяет определять распределение энергии переменности по всему циклу и выявляет локализацию отдельных периодов активности.

#### **Вейвлет-анализ**

В работе использовалось непрерывное вейвлет-преобразование на основе функции Морле. Это позволило выделить отдельные гармонические компоненты на разных масштабах, проследить их изменение со временем и продолжительность существования. В работе применялась программа «AutoSignal» предназначенная для обработки сигналов с применением частотно-временного (вейвлет) и Фурье анализа.

#### **Частотно-временные вейвлет-спектры**

В результате расчетов были получены матрицы коэффициентов непрерывного вейвлет преобразования, представляющие поверхности в трёхмерном пространстве. На частотно-временных спектрах гармонические компоненты сигнала видны в виде ярких пятен, вытягивающихся в полосы вдоль оси времени. Эти пятна могут иметь существенные изгибы и переходить с одного масштаба на другой, что возможно свидетельствует о том, что частота синусоидальной компоненты изменяется со временем. Если в сигнале присутствуют несколько периодических компонент с разными периодами, то на вейвлет спектре будут видны несколько горизонтальных линий расположенных друг над другом. Графически непрерывный вейвлет спектр представляется в виде поверхности двумерной B-spline интерполяции. На рис. 5 показан пример частотно-временного вейвлет спектра для индекса  $FI$  южного полушария. На приведенном рисунке хорошо просматривается динамика развития периодов как на протяжении всего цикла, так и возникающих в периоды повышенной активности. Матрица данных периодов по всему временному спектру позволяет выделить наиболее мощные периоды по каждому индексу. Результаты показаны на Рис. 6-7. На каждом рисунке погоризонтальной оси даны значения периодов в сутках. По вертикальной оси даны значения мощности периодов.

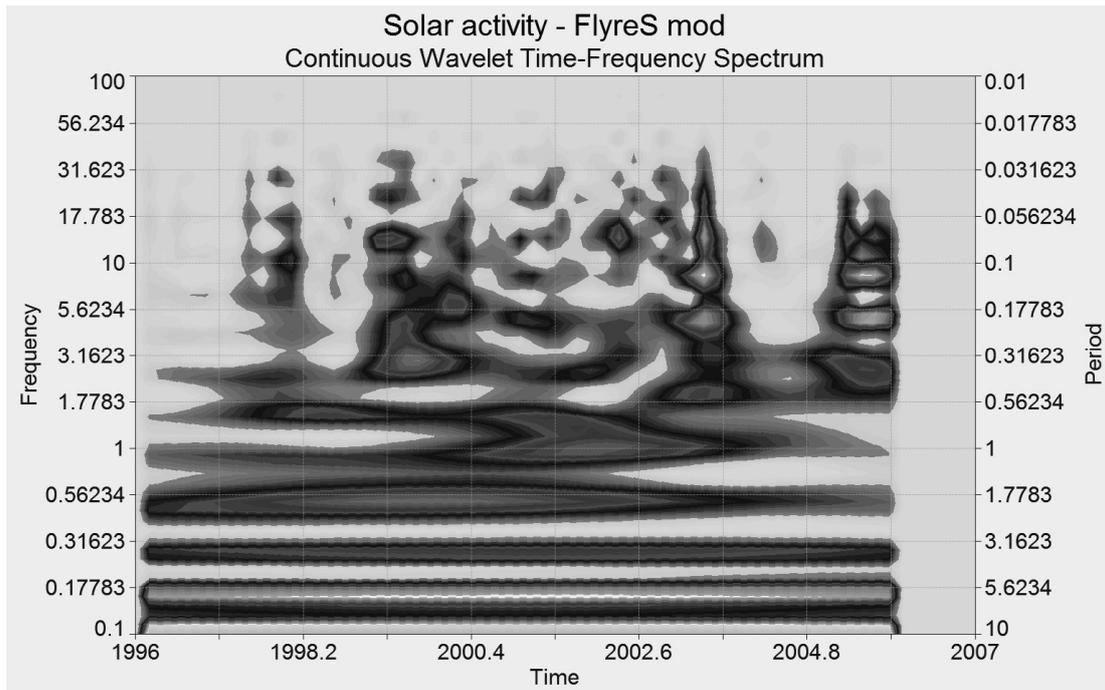


Рис. 5. Частотно-временной вейвлет спектр вспышечного индекса – FI южного полушария Солнца

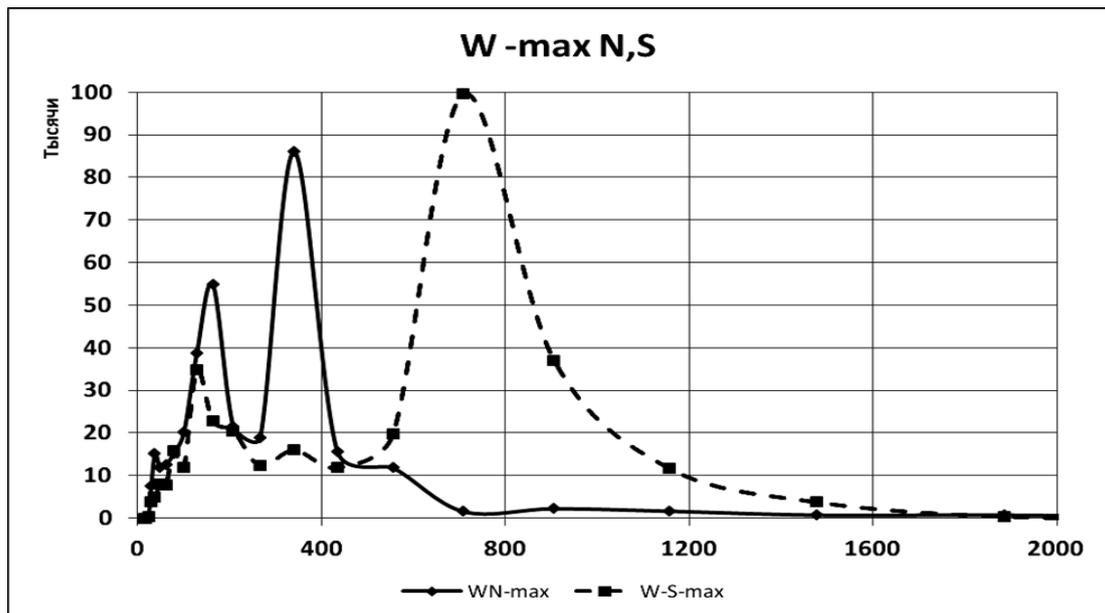


Рис. 6. Максимальные значения мощности периодов для индекса числа Вольфа – W по северному и южному полушарию Солнца.

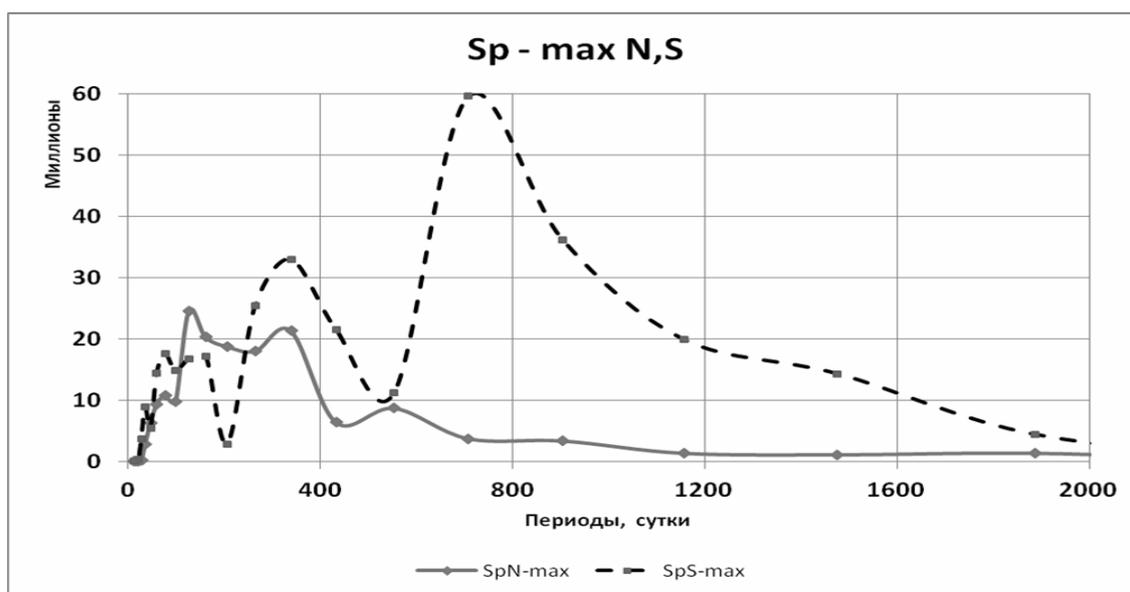


Рис. 7. Максимальные значения мощности периодов для индекса Sp по северному и южному полушарию Солнца.

Примечательным результатом данного представления является то, что по индексам W и Sp максимальная мощность в северном полушарии соответствует периодам 128 и 340 суток, а для южного полушария наиболее мощными является 709 и 340 суток. Таким образом развитие активности в северном и южном полушарии Солнца проходит на разных масштабах времени.

Для выделения более коротких периодов проводилась фильтрация долгопериодических компонент, что позволило исследовать динамику короткопериодических компонент связанных с периодом вращения Солнца на различных широтах (O-C данные). Итоговые результаты для наиболее интенсивных периодов приведены в Таблице 1. Здесь кроме величин периодов указаны время его начала, конца и максимума (с указанием интенсивности).

Из данных Таблицы 1 видно что наиболее продолжительные периоды существуют в течении всего цикла активности. Менее продолжительные периоды «работают» ограниченное время, затем диссипируют и вновь появляются в другой фазе цикла.

## Выводы

- Различное проявление активности Солнца в его северном и южном полушарии является фундаментальным свойством солнечного цикла и должно быть учтено в различных моделях и прогнозировании.
- На основе анализа «трендовой» и «флуктуационной» составляющей для северного и южного полушария по различным индексам активности могут быть определены основные свойства солнечного цикла в целом.
- Основные базовые структуры в которых реализуется «флуктуационная» составляющая по различным индексам для северного и южного полушария являются комплексы активных областей – КАО и комплексы активности – КА.
- Существуют отдельные периоды, когда повышенная активность происходит в северном и южном полушарии одновременно.
- Результаты применения вейвлет анализа позволяют рассмотреть весь спектр временных изменений основных индексов активности, который показывает наличие как постоянно существующих так и эпизодически возникающих периодов на различных фазах солнечного цикла.

Таблица 1

Индекс	Период (дни)	Начало	Конец	Максимум	Интенсивность максимума
Sp N	128	2002.12	2004.7	2003.33	24 311 520
	340	1996.18	2001.31	1999.25	21 258 840
	163	2000.35	2003.83	2001.75	20 146 450
	208	2001.9	2004.99	2003.26	18 607 350
Sp N O-C	29	2002.82	2003.83	2003.5	105 905
Sp S	709	1996	2006	2000.46	59 524 080
	906	1996	2006	2001.46	36 054 440
	340	2000.35	2005.34	2002.32	32 826 780
Sp S O-C	29	2002.16	2002.89	2002.36	74 471
W N	340	1996	2002.23	1999.18	85 620
	163	1999.91	2002.82	2001.11	54 460
W N O-C	29	1999.73	2000.70	2000.08	157
W S	709	1996	2006	2000	99 523
	906	1996	2006	2001.75	37 026
	128	1997.54	2003.15	1999.73	34 430
W S O-C	29	2000.91	2002.95	2002.56	83
Fl N	37	1999.84	2000.5	2000.15	3456
	266	1998.38	2002.75	2000.35	2747
	128	1998.75	2001.46	2000.13	1767
	340	1996.91	2001.44	1999.84	1326
Fl S	29	2003.15	2003.76	2003.5	1315
	709	1996	2006	1999.67	1024
	128	1998.62	2001.13	1999.58	1043

## Литература

1. М.И.Рябов, В.Н.Ишков, И.Г.Моисеев, Н.С.Нестеров, Н.Г.Серокурова. Использование данных о миллиметровом излучении локальных источников на Солнце как индикатора эволюции центра активности. «Солнечные магнитные поля и корона». Труды XIII консультативного совещания по физике Солнца, Новосибирск, 1989, стр. 239-242
2. М.И.Рябов, С.А.Лукашук «Основные свойства 23-ого цикла солнечной активности и роль комплексов активности в его развитии.», «Вісник Астрономічної школи», 2009, том 6, № 1-2, с. 167-173.
3. Ю.И.Витинский, А.И.Оль, Б.И.Сазонов «Солнце и атмосфера Земли», Гидрометеиздат. Ленинград, 1976, 352 с.
4. М.И.Рябов, С.А.Лукашук «Каталог комплексов активности на Солнце и их роль в периодических процессах солнечного цикла» Труды X-ой Международной Гамовской конференции-школы «Астрономия на стыке наук: Астрономия на стыке наук-комомикрофизика, космология и гравитация, астрофизика, радиоастрономия и астробиология», Одесса, «Астропринт, 2010, с. 180-184.
5. Рябов М.И., Лукашук С.А. Характеристики 23-ого солнечного цикла и роль комплексов активности в развитии его вспышечных проявлений// Космічна наука і технологія, 2010, Т.16, №1, с. 77-85.
6. Рябов М.И., Лукашук С.А. Комплексы активности и их роль в аномальной активности северного и южного полушария. Сб. статей «Циклы активности на Солнце и звездах». Санкт-Петербург, 2009, с. 121-135.