

УДК 523.9, 523.982

У. М. Лейко

Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
ул. Обсерваторная 3, Киев-53, 04053
leikoum@ukr.net

Вариации магнитной асимметрии Солнца

Представлены результаты исследования северо-южной асимметрии солнечной активности и солнечных магнитных полей. Для исследования использованы временные ряды крупномасштабного магнитного поля Солнца как звезды и полярного магнитного поля Солнца (1975—2015 гг., <http://wso.stanford.edu>), площади солнечных пятен (1875—2015 гг., <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>). На основе анализа кумулятивной суммы временных рядов северо-южной асимметрии площади солнечных пятен выделен долговременный цикл северо-южной асимметрии солнечной активности (мелкомасштабных магнитных полей, тороидального компонента) длительностью около 140 лет. Сравнительный анализ вариаций кумулятивных сумм рядов суточных значений общего магнитного поля Солнца как звезды и асимметрии суточных значений площади солнечных пятен на временном интервале 1975—2015 гг. показал, что крупномасштабное магнитное поле Солнца возможно также имеет такой долговременный цикл. Вариации асимметрии крупномасштабных и мелкомасштабных полей Солнца до 2005.5 г. происходили синхронно, после этого момента — в противофазе.

ВАРІАЦІЇ МАГНІТНОЇ АСИМЕТРІЇ СОНЦЯ, Лейко У. М. — Приводяться результати дослідження асиметрії сонячної активності та сонячних магнітних полів. Для дослідження використано часові ряди великомасштабного магнітного поля Сонця як зірки і полярного магнітного поля Сонця (1975—2015 pp., <http://wso.stanford.edu>), площі сонячних плям (1875—2015 pp., <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>). На основі аналізу кумулятивної суми часових рядів північно-південної асиметрії площі сонячних плям виділено довготривалий цикл асиметрії сонячної активності (локальних магнітних полів, тороїдального компонента магнітного поля Сонця) тривалістю близько 140 років. Можливо, великомасштабне магнітне поле також

має такий довготривалий цикл. Порівняльний аналіз варіацій кумулятивних сум рядів добових значень загального магнітного поля Сонця і площі сонячних плям для інтервалу 1975—2015 рр. виявив, що варіації асиметрії великомасштабних і локальних магнітних полів Сонця відбувалися синхронно до 2005.5 р., а після цього моменту — в антифазі.

CHANGES OF SUN MAGNETIC ASYMMETRY, by Leiko U. M. — We report the results of the analysis of the north-south asymmetry of solar activity, solar magnetic fields. The analysis is based on solar mean magnetic field and solar polar magnetic field time series, 1975—2015 (<http://wso.stanford.edu>), the Greenwich sunspot data, 1875—2015 (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>). The long-term cycle (~ 140 years) of north-south asymmetry of solar activity was selected on the time series of the sunspot area. Probably the photospheric large-scale magnetic fields have this long-term cycle also. Variations of the asymmetry of large-scale and small-scale magnetic fields (area of sunspots) are in sync until 2005.5, after this time the dynamics asymmetry passes in antiphase.

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная активность — это разнообразные явления и процессы, связанные с образованием и распадом в солнечной атмосфере магнитных полей. Наиболее изученный вид солнечной активности — изменение числа солнечных пятен, телескопические наблюдения которых впервые были начаты в 1610 г. Г. Галилеем. Несмотря на то что физическая природа пятен оставалась неясной вплоть до XX века, наблюдения продолжались, и к XIX веку уже имелся достаточно продолжительный ряд наблюдений числа пятен. В 1843 г. Г. Швабе установил цикличность солнечной активности, а в 1848 г. Р. Вольф ввел индикатор солнечной активности — число Вольфа. На сегодняшний день известно, что помимо основной гармонике в 11 лет числа Вольфа имеют долгопериодическую составляющую около 80—90 лет (цикл Глейсберга). Благодаря радиоизотопным данным удалось выделить цикличность с периодом примерно 205 лет (цикл Зюйса). Помимо чисел Вольфа имеется индекс, характеризующий занимаемую пятнами площадь. Этот ряд начинается с 1874 г. С помощью этих данных можно получить информацию об уровне солнечной активности по полушариям, асимметрии солнечной активности.

В 1908 г. Г. Хейлом было установлено наличие магнитных полей в солнечных пятнах [11], а позже было обнаружено, что в течение каждого 11-летнего цикла все ведущие пятна биполярных групп имеют одинаковую полярность в северном полушарии и противоположную — в южном [12]. В последующем же цикле полярность магнитного поля пятен изменяется на противоположную как в северном, так и в южном полушариях (закон полярности Хейла). Таким образом, физическим циклом солнечной активности следует считать 22-летний цикл.

Кроме сильных полей в пятнах, на Солнце наблюдается слабое поле дипольного (полоидального) типа величиной порядка 1 мТл. В 1959 г. Х. Бэбкок [5, 6] установил, что это поле также изменяет свою полярность от цикла к циклу, и происходит это во время максимумов 11-летнего цикла солнечной активности. Таким образом, сложную структуру разворачивания солнечной активности на большой временной шкале определяет суперпозиция многих циклов.

Отличительной чертой солнечной активности является наличие асимметрии относительно северного и южного полушарий. Еще в конце XIX века Шперер и Маундер указали на асимметрию пятнообразовательной деятельности. Впервые детально это явление было исследовано в работе [14]. Позже было обнаружено, что асимметрия характерна для широкого спектра процессов солнечной активности, например для количества и длительности солнечных вспышек [15], вращения фотосферного магнитного поля [4, 16] и т. д. Важное место в исследовании асимметрии солнечной активности занимает поиск периодичностей и их анализ, что важно для установления природы этого явления. Для исследования особенностей асимметрии солнечной активности применялись различные статистические методы [8, 9], вейвлет-анализ [7, 10], анализ кумулятивной суммы временного ряда [2, 3]. Сейчас понятно, что асимметрия носит не случайный характер, а наблюдается на длительных промежутках времени. Многие детали (разнообразие) протекания солнечной активности, а также асимметрии подробно рассмотрены в работе [13].

В представленной работе, которая является продолжением исследований работы [2], изложены результаты исследования особенностей асимметрии солнечной активности, полученные в результате анализа кумулятивной суммы временных рядов некоторых индексов солнечной активности. На примере анализа кумулятивной суммы временного ряда полярного магнитного поля Солнца (1975—2015 гг.) обосновывается применение анализа кумулятивной суммы временного ряда для поиска длительных (долговременных) периодичностей. Посредством анализа временного хода кумулятивной суммы ряда среднемесячных значений площади солнечных пятен (1875—2015 гг.) исследуются долговременные изменения асимметрии солнечной активности. Проведен сравнительный анализ хода кумулятивных сумм временных рядов суточных значений общего магнитного поля Солнца (ОМПС) и суточных значений площади солнечных пятен для интервала 1975—2015 гг.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы временные ряды среднемесячных и суточных значений площади солнечных пятен по полушариям (A_N , A_S), ряды суточных значений H_0 общего магнитного поля Солнца (ОМПС) и ряды полярного магнитного поля Солнца (H_N , H_S).

Солнечные пятна являются наиболее ярким проявлением магнитных локальных полей. Суммарная по диску площадь пятен пропорциональна полному магнитному потоку пятен. Данные о солнечных пятнах (относительные числа Вольфа, площади солнечных пятен) публикуются на сайте <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>.

Полярные магнитные поля H_N и H_S Солнца и общее магнитное поле H_0 Солнца (ОМПС) наблюдаются в обсерватории имени Вилкокса с 1976 г. (<http://wso.stanford.edu>). Полярные магнитные поля представляют собой усредненные высокоширотные приполярные поля, относящиеся к гелиоширотам выше $\pm 55^\circ$. Полярные магнитные поля максимальны вблизи минимумов солнечной активности и минимальны — вблизи максимумов (рис. 1). Изменения знака полярного магнитного поля происходят в эпоху максимума солнечного цикла. Эти изменения в северном и южном полушариях не совпадают во времени.

Общее магнитное поле Солнца H_0 , которое характеризует магнитное поле Солнца как звезды, является интегрированным по видимому диску Солнца значением лучевой составляющей фотосферного магнитного поля. Величина H_0 пропорциональна магнитному потоку

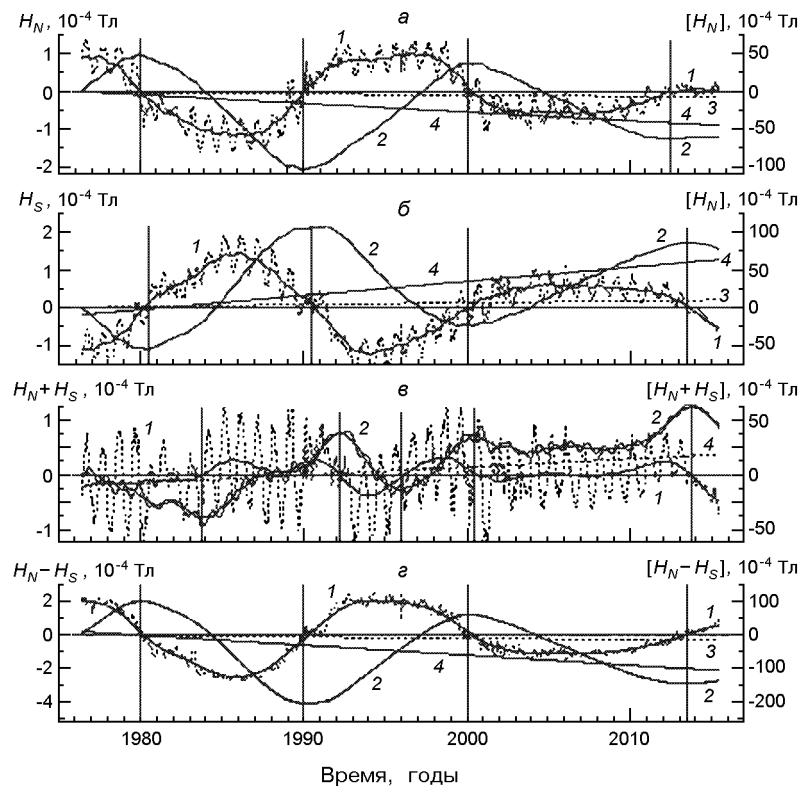


Рис. 1. Изменение со временем значений H_N и H_S полярного магнитного поля Солнца северного и южного полюсов, их суммы $H_N + H_S$ и разности $H_N - H_S$ (пунктирные кривые, шкала слева). Сплошные тонкие линии — скользящее среднее, штриховые прямые — линейный тренд. Жирные линии — соответствующие кумулятивные суммы этих величин (шкала справа). Сплошные тонкие прямые — линейный тренд кумулятивных сумм

видимого диска Солнца, т. е. разности фотосферных магнитных полей положительной и отрицательной полярностей (асимметрии). На сайте обсерватории выставлен ряд суточных значений ОМПС (см. рис. 5, *a*).

Для исследования нами был использован анализ кумулятивной суммы временных рядов выбранных нами индексов солнечной активности. Кумулятивная функция суммирует текущее значение анализируемого ряда со всеми предшествующими, усредняет короткопериодические изменения и выявляет долговременные: если кумулятивная сумма возрастает, то доминируют положительные значения, если убывает — отрицательные.

Свойства кумулятивной суммы хорошо демонстрирует ряд полярного магнитного поля Солнца. На рис. 1 пунктирными линиями 1 показано изменение со временем значений полярного магнитного поля отдельно для северного и южного полюсов (H_N , H_S), их сумма $H_N + H_S$ и разность $H_N - H_S$, тонкими сплошными линиями — их сглаженные значения, штриховыми прямыми — тренды. Жирными сплошными линиями 2 показаны соответствующие кумулятивные суммы $[H_N]$, $[H_S]$, $[H_N + H_S]$, $[H_N - H_S]$. (Здесь и далее кумулятивная сумма величины будет обозначаться заключением ее в квадратные скобки). Прямые сплошные линии — линейные тренды кумулятивных сумм. Сплошные вертикальные линии обозначают моменты изменения знака полярного магнитного поля на N- и S-полюсах. Четко видно, что моменты изменения знака магнитного полярного поля на всех четырех панелях соответствуют экстремумам кумулятивной суммы.

Графики кумулятивных сумм $[H_N]$ и $[H_S]$ (рис. 1, *a*, *б*) имеют синусоидальный вид с двумя максимумами и двумя минимумами. Затяжной минимум 24-го цикла и его низкая активность также отразились на ходе кривых кумулятивных сумм. Расстояние между двумя максимумами и двумя минимумами равно 20...22 г. Фазы роста и спада длятся около 11 лет. Максимумы кумулятивной суммы поля северного полюса совпадают с максимумами нечетных циклов чисел Вольфа, южного полушария — с максимумами четных циклов. Таким образом, период кумулятивной суммы магнитного поля на каждом из полюсов соответствует магнитному циклу Хейла, а ветви роста и спада — 11-летнему циклу солнечной активности.

Кривые на рис. 1, *в* имеют сложную форму. Кумулятивная сумма $[H_N + H_S]$ имеет пять экстремумов и плато длительностью около 10 лет (2002—2012 гг.). Расположение экстремумов хаотично, не совпадает с экстремумами кумулятивных кривых по отдельным полюсам. Плато, как видно из рис. 1, *в*, соответствует интервалу времени, в течение которого полярные поля на обоих полюсах были приблизительно равны по модулю (кривая сглаженных значений суммарного полярного поля имеет приблизительно нулевое значение).

Как видно из рис. 1, сдвиг по фазе магнитных полей на северном и южном полюсах составляет около 11 лет. Поэтому кривая кумулятив-

ной суммы $[H_N + H_S]$ имеет такую сложную форму, так как она является суммой кумулятивных сумм $[H_N]$ и $[H_S]$ (рис. 1, а, б). На рис. 1, г приведена разница $H_N - H_S$ полей северного и южного полюсов. По сути это сумма полей, сдвинутых по фазе на 11 лет. Как видно, кумулятивная сумма $[H_N - H_S]$ соответствует кумулятивной сумме поля северного полюса. (Кумулятивная сумма разницы $[H_S - H_N]$ соответствовала бы кумулятивной сумме $[H_S]$ поля южного полюса).

Небольшие линейные тренды на всех панелях скорее всего обусловлены аномально малыми значениями магнитного полярного поля в 24-м цикле.

Мы исследовали влияние фазового сдвига между полями на северном и южном полюсах на кумулятивную сумму. С этой целью сдвигался временной ряд поля южного полюса относительно временного ряда магнитного поля северного полюса, поля суммировались и на общем временном интервале строилась кумулятивная сумма результирующего ряда. Чем больше сдвиг, тем короче общий временной интервал.

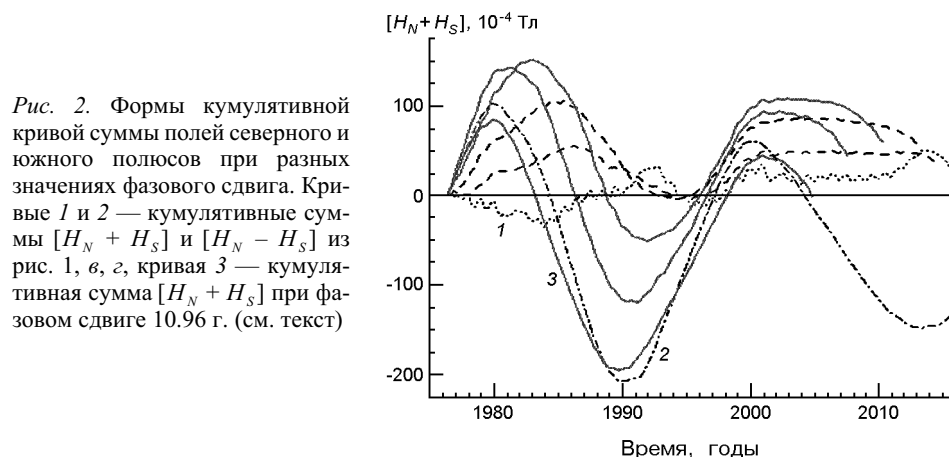


Рис. 2. Формы кумулятивной кривой суммы полей северного и южного полюсов при разных значениях фазового сдвига. Кривые 1 и 2 — кумулятивные суммы $[H_N + H_S]$ и $[H_N - H_S]$ из рис. 1, в, г, кривая 3 — кумулятивная сумма $[H_N + H_S]$ при фазовом сдвиге 10.96 г. (см. текст)

На рис. 2 приведены кумулятивные суммы $[H_N + H_S]$ для разных сдвигов по фазе полей на северном и южном полюсах. Кривые 1 и 2 — это кумулятивные суммы, приведенные на рис. 1, в, г. Остальные линии различной длины — кумулятивные кривые суммы полей двух полюсов, сдвинутых по фазам: 500, 1000, 2000, 3000, 4000 сут, или 1.37, 2.74, 5.50, 8.22, 10.96 г. Чем короче кривая, тем больше сдвиг по фазе. Эти кривые также имеют волнообразную синусоидальную форму, однако их экстремумы сдвинуты. Кривая 3 кумулятивной суммы, полученная в результате сдвига поля южного полюса относительно поля северного полюса на 10.96 г. и кривая 2 кумулятивной суммы магнитного поля северного полюса почти полностью совпадают.

В таблице приведены моменты экстремумов кумулятивных сумм рядов при различных сдвигах. Видно, что период всех кумулятивных сумм независимо от величины фазового сдвига (не равному 11 годам)

Моменты экстремумов кумулятивных сумм рядов при различных сдвигах

Фазовый сдвиг, лет	Момент максимума	Момент минимума	Момент максимума
1.37	1986	1994	2006
2.74	1984.5	1994	2006
5.50	1982.5	1992	2003
8.22	1981	1991	2001
10.96	1980	1990	2001
N	1980	1990	2000
N—S	1980	1990	2000

составляет 20—22 г., а фазы роста и спада длятся 11 лет.

Таким образом, анализ вариаций кумулятивной суммы временного ряда является весьма успешным инструментом для поиска скрытых долговременных периодичностей.

Следует отметить, что есть различные подходы для выделения периодичностей во временных рядах. Наиболее известные — фурье- и вейвлет-анализ. Однако кумулятивная сумма ряда дает возможность не только выделить периодичности в исследуемом временном ряду, но и определить моменты максимумов и минимумов периодических процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Долговременные вариации асимметрии площади пятен (локальных полей). В исследованиях северо-южной асимметрии наиболее часто изучаются ненормированный (абсолютный) индекс $NSA = A_N - A_S$ и нормированный индекс $NSA_n = (A_N - A_S)/(A_N + A_S)$. Следует отметить, что изменение со временем этих индексов не идентично [1], так как один индекс больше изменяется в минимуме активности, а другой — в максимуме. Северо-южная асимметрия также проявляется в различной длительности процессов активности в северном и южном полушариях. Например, циклы пятнообразования в северном и южном полушариях начинаются неодновременно, и их длительности различны [13].

На рис. 3 показано изменение кумулятивной суммы временных рядов нормированной и ненормированной северо-южной асимметрии, вычисленной по среднемесячным значениям площади солнечных пятен.

Как видно, кривые обеих кумулятивных сумм имеют волнообразную форму, изменяются примерно синхронно и имеют два экстремума — один минимум и один максимум. Это часть квазипериодического процесса; интервал от минимума до максимума — ветвь роста — составляет половину полного цикла. С 1875 г. по 1915 г. (от начала исследуемого интервала и до минимума) кумулятивные суммы умень-

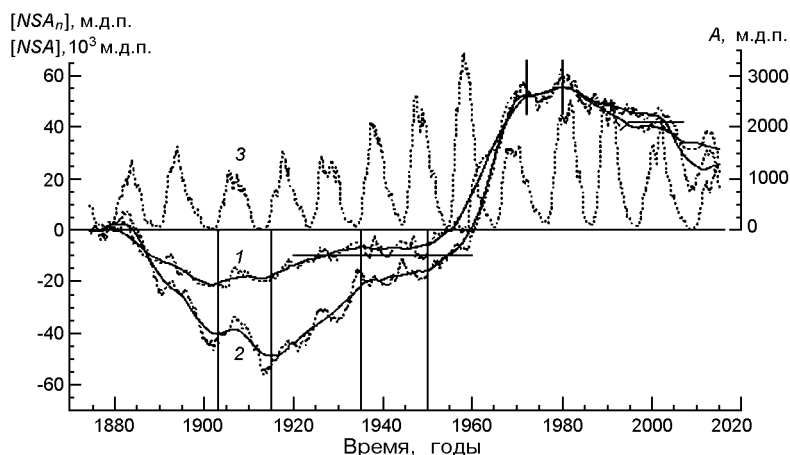


Рис. 3. Изменение со временем кумулятивных сумм рядов нормированной (кривая 1, $[NSA_n]$) и абсолютной (кривая 2, $[NSA]$) асимметрии солнечной активности (шкала слева), сплошные линии — их сглаженные значения. Кумулятивные суммы получены по ряду среднемесячных значений площади пятен (кривая 3, шкала справа)

шаются, на интервале 1915—1980 гг. — увеличиваются, после 1980 гг. опять уменьшаются. То есть, в 1875—1915 гг. по индексу суммарной площади пятен преобладало южное полушарие, в 1915—1980 гг. — северное, после 1980 г. — южное. Оба экстремума имеют два разных по интенсивности горба, второй боолее интенсивный в обоих случаях. Сплошными толстыми вертикальными линиями показаны моменты максимумов этих горбов. В минимуме первый горб наблюдается в 1900—1903 гг., второй — в 1912—1915 гг. В максимуме первый горб наблюдается примерно в 1973 г., второй — в 1980 г. Расстояние между первой и второй парой экстремумов в минимуме и максимуме кумулятивной суммы составляет примерно 70 и 65 лет. Можно предположить, что длительность полного цикла равна 130—140 лет.

Еще одна особенность кривых — наличие плато, где кумулятивная сумма почти не изменяется. Плато отмечены сплошными тонкими горизонтальными линиями, тонкие сплошные вертикальные линии — моменты их начала и конца. На ветви роста это интервал 1935—1950 гг., на ветви спада — 1995—2003 гг. В эти короткие интервалы не было доминирования относительно полушарий по индексу суммарная площадь пятен.

На рис. 4, взятом из работы [13], показан цикл Гляйсберга. Видно, что второй минимум кривой попадает приблизительно на циклы 14—15, следующий за ним максимум — на циклы 19—20. Минимум и максимум на кривой кумулятивной суммы также попадает на эти моменты.

Вариации асимметрии крупномасштабного поля Солнца. На рис. 5 показано изменение суточных значений H_0 ОМПС (а) и его секторной структуры (б). На рис. 5, в точками приведены их кумулятивные суммы, толстой сплошной линией — сглаженные значения куму-

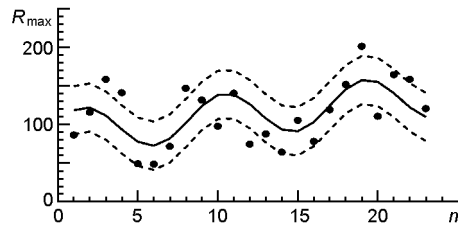


Рис. 4. Цикл Гляйсберга по данным [13]

лятивной суммы $[H_0]$, штриховой толстой линией — сглаженные значения кумулятивной суммы $[S]$ секторной структуры. Прямые линии — соответственно их линейные тренды. Кривые имеют различный ход, однако видна их синхронность. Обе кривые имеют два максимума и два минимума, причем оба максимума двугорбые, первый минимум — плато, во втором минимуме пока виден один горб. Моменты максимумов этих горбов показаны вертикальными линиями. По сути это кривые 22-летнего циклического процесса (равному циклу Хейла) с фазами роста и спада 11 лет. Следует упомянуть, что при анализе спектров мощности ОМПС неоднократно указывалось на наличие мощного 22-летнего пика и очень слабого пика с периодом 11 лет. Однако тренды этих кривых совершенно разные. Кумулятивная сумма секторной структуры почти не имеет тренда, в то время как кумулятивная сумма ОМПС имеет значительный тренд. Это значит, что секторная структура, обладая циклическостью в преобладании площади полей положительной и отрицательной полярности приблизительно в 22 г., не имеет более длинных циклов.

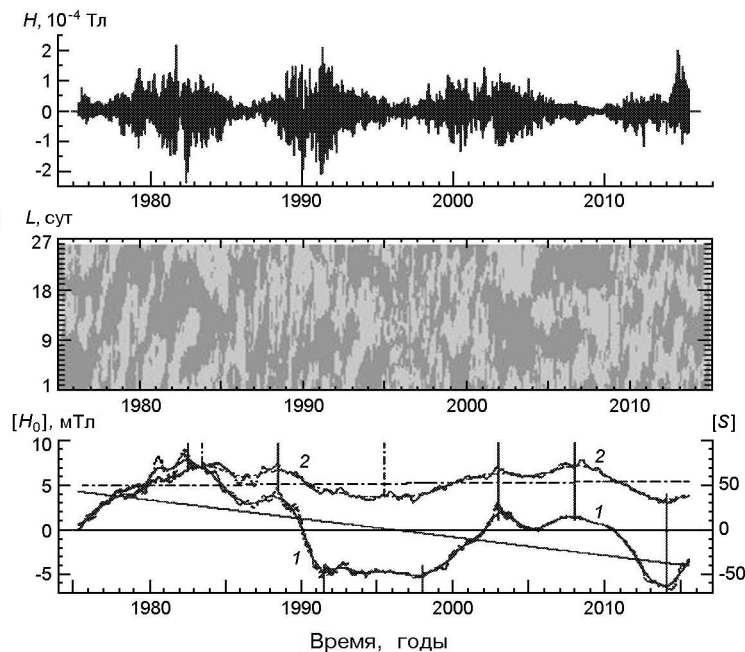
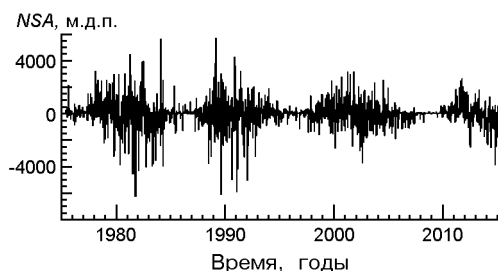


Рис. 5. Изменение со временем: а — общего магнитного поля Солнца H_0 (ОМПС), б — его секторной структуры L , в — кумулятивных сумм $[H_0]$ (линия 1) и $[S]$ (линия 2). Прямые линии — линейные тренды кумулятивных сумм

Рис. 6. Ход абсолютного индекса асимметрии NSA , вычисленного по рядам суточных значений площади солнечных пятен северного и южного полушарий



Значительный отрицательный тренд кривой кумулятивной суммы ОМПС указывает на то, что индекс величины поля имеет длительный цикл своего изменения, и имеющийся в нашем распоряжении интервал наблюдения находится на ветви спада этого цикла.

На рис. 6 приведены значения индекса асимметрии NSA , вычисленного по рядам суточных значений площади солнечных пятен северного и южного полушарий. Как видим, этот график похож на график изменения суточных значений ОМПС (рис. 5, а).

Мы сравнили ход кривых кумулятивных сумм $[H_0]$ суточных значений ОМПС и асимметрии $[NSA]$ суточных суммарных значений площади пятен северного и южного полушарий на интервале времени 1975—2015 гг. (рис. 7). Несмотря на различный характер приведенных кумулятивных сумм, их изменение синхронно до 2005.5 г. После этого момента их изменение происходит в противофазе. Отметим, что этот момент попадает на затяжной минимум 24-го цикла. На обеих кривых имеется плато приблизительно в одно и то же время. Также видно, что линейные тренды $[NSA] = 399.781 - 0.201487d$, $[NSA_n] = 384.876 - 0.193975d$ и $[H_0] = 414.619 - 0.207712d$ почти параллельны. А это подтверждает высказанное выше предположение о том, что индекс северно-южной асимметрии величины поля имеет какой-то дли-

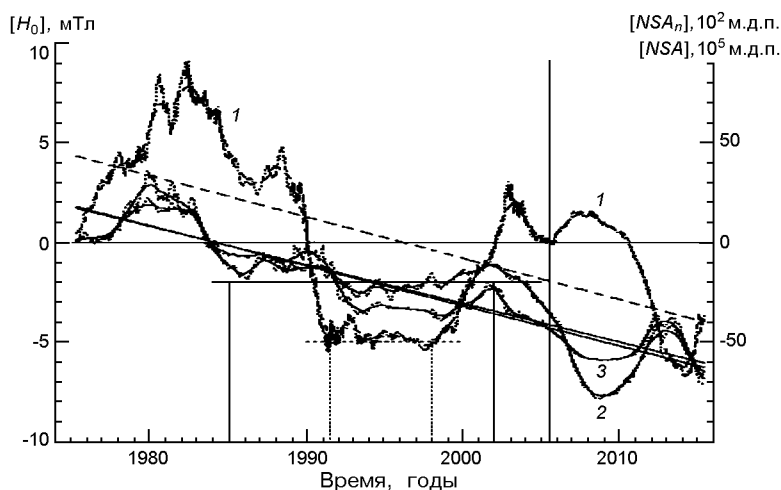


Рис. 7. Вариации кумулятивной суммы ряда ОМПС (1 — суточные и сглаженные значения $[H_0]$) и кумулятивных сумм рядов индексов асимметрии площади солнечных пятен (2, 3 — суточные и сглаженные значения $[NSA]$ и $[NSA_n]$). Наклонные прямые — тренды кумулятивных сумм

тельный цикл своего изменения, и имеющийся в нашем распоряжении интервал наблюдения находится на ветви спада этого цикла. Параллельность линий тренда дает возможность предположить, что этот цикл может быть такой же длины, как и цикл асимметрии площади пятен. В принципе это понятно, поскольку площадь пятен пропорциональна величине их магнитного поля. Следовательно, асимметрия величины магнитных полей как крупномасштабных, так и мелкомасштабных (полоидального и тороидального компонентов) имеет приблизительно 130—140-летнюю цикличность.

ВЫВОДЫ

На примере временного ряда полярного магнитного поля Солнца показано, что анализ вариаций кумулятивной суммы временного ряда дает положительные результаты при поиске циклических (периодических) вариаций. Период кумулятивной суммы рядов полярного магнитного поля равен 22-летнему магнитному циклу Хейла, фазы роста и спада — 11-летнему циклу солнечной активности.

На основе анализа кумулятивной суммы асимметрии временного ряда площади солнечных пятен выделен долговременный цикл северо-южной асимметрии солнечной активности (мелкомасштабных магнитных полей, тороидального компонента) длительностью порядка 140 лет.

Сравнительный анализ вариаций суточных значений общего магнитного поля Солнца как звезды и асимметрии суточных значений площади солнечных пятен на временном интервале 1975—2015 гг. показал, что, возможно, крупномасштабное магнитное поле Солнца (полоидальный компонент) также имеет близкий к 140 г. долговременный цикл. Изменения асимметрии крупномасштабных и мелкомасштабных полей Солнца до 2005.5 г. происходили синхронно, после этого момента — в противофазе. Этот момент времени попадает на затяжной минимум 24 цикла.

В работе использованы данные сайта <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml> и Обсерватории имени Вилкокса Стенфордского университета. Автор выражает глубокую благодарность за возможность использовать эти данные.

1. Лейко У. М. Про деякі особливості північно-південної асиметрії сонячної активності // Вісник Київ. ун-ту. Астрономія.—2011.—**47**.—С. 23—26.
2. Лейко У. М. Особенности асимметрии солнечной активности в течение различных временных интервалов // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2013.—**109**, № 4.—С. 1—4.
3. Мордвинов А. В. Долговременные изменения асимметрии магнитного поля Солнца и гелиосферы // Астрон. журн.—2006.—**83**, № 11.—С. 1042—1049.
4. Antonucci E., Hoeksema J. T., Scherrer P. H. Rotation of the photospheric magnetic fields — A north-south asymmetry // Astrophys. J.—1990.—**360**.—P. 296—304.

5. *Babcock H. D.* The Sun's polar magnetic field // *Astrophys. J.*—1959.—**130**.—P. 364—366.
6. *Babcock H. W.* The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle // *Astrophys. J.*—1961.—**133**.—P. 572—587.
7. *Ballester J. L., Oliver R., Carbonell M.* The periodic behaviour of the North-South asymmetry of sunspot areas revisited // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**431**.—P. L5—L8.
8. *Carbonell M., Oliver R., Ballester J. L.* On the asymmetry of solar activity // *Astron. and Astrophys.*—1993.—**274**.—P. 497—504.
9. *Carbonell M., Terradas J., Oliver R., Ballester J. L.* The statistical significance of the North-South asymmetry of solar activity revisited // *Astron. and Astrophys.*—2008.—Astro-phmanuscript no. 0454.
10. *Donner R., Thiel M.* Scale-resolved phase coherence analysis of hemispheric sunspot activity: a new look at the north-south asymmetry // *Astron. and Astrophys.*—2007.—**475**.—P. L33—L36.
11. *Hale G. E.* On the probable existence of a magnetic field in sun-spots // *Astrophys. J.*—1908.—**28**.—P. 315—343.
12. *Hale G. E., Ellerman F., Nicholson S. B., Joy A. H.* The Magnetic Polarity of Sunspots // *Astrophys. J.*—1919.—**49**.—P. 153—178.
13. *Hathaway D. H.* The solar cycle // arXiv:1502.07020v1 [astro-ph.SR].—2015.— <http://solarscience.msfc.nasa.gov/>.
14. *Newton H. W., Milson A. S.* Note on the observed differences in spottedness of the Sun's northern and southern hemispheres // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1956.—**465**.—P. 398—404.
15. *Ozguc A., Atac T., Rybak J.* Temporal variability of the flare index (1996—2001) // *Solar Phys.*—2003.—**214**. N 1.—P. 145—155.
16. *Zhang L., Mursula K., Usoskin I.* Solar surface rotation: N-S asymmetry and recent speed-up // *Astron. and Astrophys.*—2015.—**575**.—P. L2.

Статья поступила в редакцию 12.11.2015