

УДК 523.985: 523.4-325

**Л. А. Акимов, И. Л. Белкина**

Научно-исследовательский институт астрономии  
Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина  
ул. Сумская 35, Харьков, 61022  
e-mail: akimov@astron.kharkov.ua

### **Асимметрия распределения вспышек $H$ по диску Солнца в 21-м цикле**

*Изучена северо-южная и восточно-западная асимметрия распределения числа  $H$ -вспышек по диску Солнца в 21-м цикле солнечной активности. Получено, что количество вспышек на востоке в среднем на 2.7 % больше, чем на западе, а количество вспышек на севере и юге примерно одинаково в среднем за цикл. Однако в начале цикла больше вспышек было в северном полушарии, а в конце цикла — в южном. Показано, что северо-южная асимметрия имеет 540-сут период, а в восточно-западной асимметрии обнаруживается хорошо выраженный годичный период. Максимальное количество вспышек на востоке наблюдается в апреле — июне. Обсуждается возможность объяснения восточно-западной асимметрии воздействием планет на солнечную активность.*

*АСИМЕТРИЯ РОЗПОДІЛУ СПАЛАХІВ  $H$  ПО ДИСКУ СОНЦЯ У 21-МУ ЦИКЛІ, Акімов Л. А., Белкіна І. Л. — Вивчено північно-південну і східно-західну асиметрію розподілу кількості  $H$ -спалахів по диску Сонця у 21-му циклі сонячної активності. Отримано, що кількість спалахів на сході в середньому на 2.7 % більша, ніж на заході, а кількість спалахів на півночі і півдні приблизно однакова в середньому за цикл. Проте на початку циклу більше спалахів було у північній півкулі, а наприкінці циклу — у південній. Показано, що північно-південна асиметрія має 540-добовий період, а у східно-західній асиметрії виявляється добре виражений однорічний період. Максимальна кількість спалахів на сході спостерігається у квітні — червні. Обговорюється можливість пояснення східно-західної асиметрії впливом планет на сонячну активність.*

*SOME ASYMMETRY IN DISTRIBUTION OF H FLARES ON THE SOLAR DISK DURING THE 21-TH CYCLE, by Akimov L. A., Belkina I. L. — The North-South and East-West asymmetries in the distribution of H flare numbers on the solar disk in the 21-th cycle of the solar activity are studied. It is shown that the mean number of flares on the eastern half of the solar disk is, on the average, by 2.7 % more than that of the western one, and a difference between the numbers of northern and southern flares is unimportant. However, at the beginning of the cycle more flares occurred in the northern hemisphere, and at the end of the cycle a southern flare dominance was observed. It is shown that North-South asymmetry has a period of 540 days, and an annual period is pronounced for the East-West asymmetry. One of the possible explanation for East-West asymmetry is planet effects on the solar activity.*

## ВВЕДЕНИЕ

Исследованию северо-южной и восточно-западной асимметрии распределения по диску различных параметров, характеризующих солнечную активность, посвящено много работ. Объяснить наблюдаемую асимметрию только внутрисолнечным происхождением не всегда представляется возможным. Асимметрию распределения числа пятен по долготам удалось объяснить преимущественно западным наклоном оси пятен в сочетании с более глубоким расположением пятна в фотосфере [1, 2].

Известный факт доминирования количества вспышек в северном или южном полушарии в течение длительного времени является следствием наличия мощных активных областей с повышенным пятнообразованием и вспышечной активностью, расположенных в так называемых «активных зонах» [5].

Вызывает особые трудности интерпретация восточно-западной асимметрии распределения числа вспышек по диску, так как нет видимых физических причин сохранения такой асимметрии в течение длительного периода. Высказывались гипотезы о некотором внешнем галактическом влиянии на вспышечную активность [4, 7]. Однако исследования [11] восточно-западной асимметрии вспышек в 1959—1975 гг., усредненных поквартально, не подтвердили эту гипотезу.

В настоящей работе мы рассматриваем как одну из возможных причин, вызывающих превышение количества вспышек на восточной половине диска, воздействие планет на солнечную активность.

Хотя влияние планет на солнечную активность многими исследователями серьезно не воспринимается, но есть много заслуживающих внимания работ на эту тему, в частности [6, 13]. В работе [13] приводятся доводы такого влияния и иллюстративный материал в поддержку планетной теории, дан обширный перечень разных исследований, как подтверждающих, так опровергающих связь солнечной активнос-

ти с движением планет. Это влияние обычно отвергается по причине трудности объяснения его в рамках общепринятых механизмов формирования солнечной активности. Однако к настоящему времени все больше исследователей приходят к осознанию того факта, что Солнце нельзя рассматривать как совершенно изолированную систему, не подверженную влиянию извне.

Асимметрия в числе вспышек изучалась неоднократно [9, 11, 12, 14]. В работе [11] по временным изменениям среднегодовых значений индекса восточно-западной асимметрии для числа вспышек на солнечном диске за период с 1935 по 1976 гг. в среднем найдена устойчивая асимметрия. На востоке вспышек было на 1.67 % больше, чем на западе. Было показано, что основной вклад в асимметрию 1963—1976 гг. дают субвспышки. Так, если превышение числа всех вспышек на восточной половине диска за указанный период составляет 1.46 % по сравнению с числом вспышек на западной половине, то для субвспышек восточный избыток составляет 2.67 %. Кроме того, в работе [11] было показано, что асимметрия была максимальной в первом и втором квартале 1959—1975 гг. В работе [14] по исследованиям восточно-западной асимметрии по вспышкам в  $H$  за 1975—1999 гг. сделан вывод о доминировании вспышек в восточной половине солнечного диска в течение 17—22-го циклов.

В настоящей работе был проведен статистический анализ распределения числа  $H$ -вспышек по солнечному диску для 21-го цикла. В циклах с 17-го по 19-й объективному изучению доступны лишь среднегодовые значения, поскольку данные наблюдений получены с большими пропусками и по разным методикам в разных обсерваториях. В перечисленных выше работах вычислялась разность между числом восточных и западных вспышек, отнесенная к их сумме на выбранном временном интервале (обычно за год). Эта методика вполне логична, когда имеются большие пропуски в наблюдениях. В 21-м цикле было очень мало пропусков в наблюдениях, поэтому мы сочли возможным использовать ежедневные значения чисел вспышек.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ

Для исследования асимметрии было подсчитано ежедневное количество вспышек (с 1 января 1976 г. по 31 декабря 1986 г.) в четырех секторах солнечного диска: северо-восточном (NE), северо-западном (NW), юго-восточном (SE) и юго-западном (SW). Данные взяты из (Solar Geophysical Data), где приводятся наблюдения всех обсерваторий, участвующих в Службе Солнца. Проведен тщательный анализ исходных данных. Введены небольшие поправки, учитывающие пропуски в патруле. Для этого число  $n_1$  наблюдаемых вспышек за сутки делилось на время  $t_1$  патруля. Пусть  $n_2$  — число пропущенных вспышек за время  $t_2$  отсутствия патруля. Мы полагаем, что  $n_2 = n_1 t_2/t_1$ , а

общее число вспышек за сутки  $n = n_1 + n_2$ . Вспышки не классифицировались по мощности, следовательно, в подавляющем большинстве это субвспышки.

Полученный ежедневный ряд включает 55964 вспышки. При этом в северной полусфере 27830, южной 28134, восточной 28745, западной 27219. Разность между числом восточных и западных вспышек составляет 1526, а северных и южных — 304. Разность между количествами восточных и западных вспышек, отнесенная к сумме всех вспышек, составляет 2.7 %. Корень квадратный из общего числа вспышек, характеризующий среднее квадратичное отклонение для случайных процессов, равен 237. Отсюда можно заключить, что северо-южная разность близка к случайной, а восточно-западная в 6.4 раза больше случайной ошибки измерений.

**Северо-южная асимметрия.** Хотя средняя разница между севером и югом незначительна, но динамика развития вспышечной активности в обоих полушариях заметно различается. На рис. 1, а показана временная зависимость количества вспышек в северном и южном полушариях. Первичные данные усреднены за полгода методом скользящего окна. На этом и последующих рисунках по оси ординат отложены данные, нормированные на суточные значения изучаемого индекса, а по оси абсцисс — время в сутках.

На рис. 1, б представлена разница между количествами северных и южных вспышек в зависимости от времени. Видно, что в начале цикла преваляло северное полушарие, а в конце — южное. Кроме того, эта разница содержит периодическую составляющую около 540 сут. Амплитуда этой составляющей значительно превосходит случайную ошибку наблюдений. Видно, что показатели активности двух полушарий находятся в противофазе.

Полученные результаты согласуются с исследованиями вспышек 21-го цикла методом вейвлет-анализа [12]. Постепенное перемещение

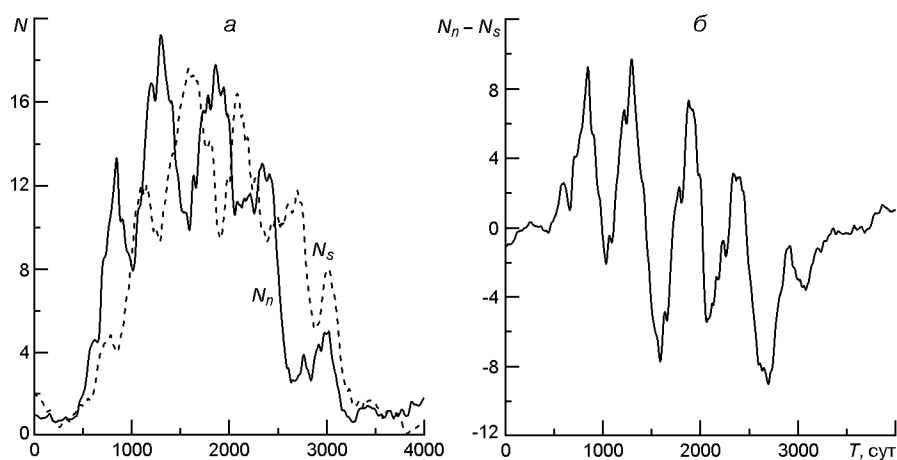


Рис. 1. Временные зависимости: а — количества вспышек для северного ( $N_n$ ) и южного ( $N_s$ ) полушарий Солнца, б — разности  $N_n - N_s$  количества вспышек между северным и южным полушариями. Первичные данные усреднены за полгода методом скользящего окна

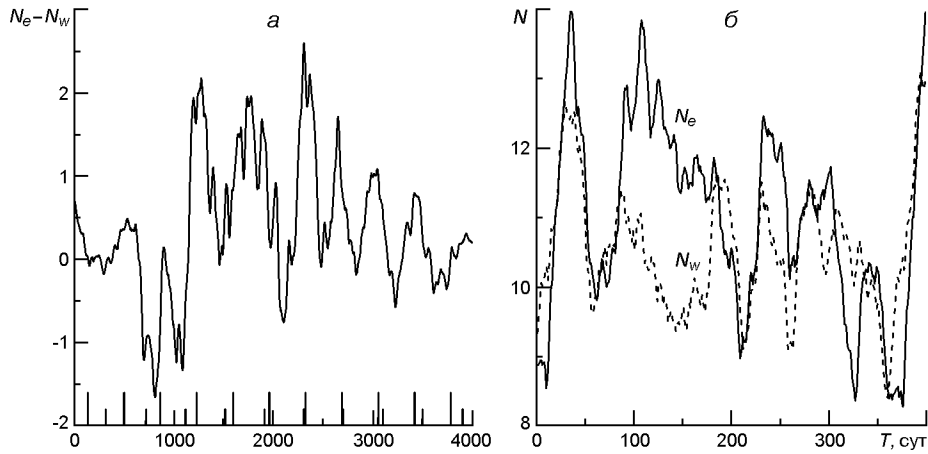


Рис. 2. Временные зависимости: *а* — разности  $N_e - N_w$  вспышек между восточным и западным полушариями Солнца (данные усреднены за полгода). Длинными вертикальными отрезками отмечены моменты середины второго квартала, а короткими — моменты нижнего соединения Земли и Юпитера; *б* — вариации количества вспышек на протяжении одного года на восточном ( $N_e$ ) и западном ( $N_w$ ) полушариях Солнца (данные усреднены за 27 сут)

активности в 21-м цикле из северного полушария в южное наблюдалось и по исследованию магнитных полей в работе [9]. Там же показано, что активность имеет периодичность 540 сут и развивается в противофазе в северной и южной полусфере.

**Восточно-западная асимметрия.** Временной ход восточно-западной асимметрии иллюстрирует рис. 2, *а*. Данные усреднены за полгода методом скользящего окна. В первой четверти цикла несколько больше вспышек было в западной полусфере, а затем до конца цикла большее количество вспышек происходило в восточной полусфере. Хорошо выражена годовая периодичность, особенно в заключительной части цикла.

Временную структуру этой периодичности можно видеть на рис. 2, *б*, где методом наложенных эпох представлена годовая зависимость количества вспышек в восточной и западной полусфере Солнца. Первичный ряд усреднен по 27 сут методом скользящего окна. Восточная полусфера значительно превалировала над западной во втором квартале года. Эта часть года вносит основной вклад в восточно-западную асимметрию.

Количественный подсчет показывает, что с 97 по 180 сут года количество вспышек, отнесенное ко всем вспышкам в этом интервале, на востоке на 10.7 % больше чем на западе. В то же время в остальную часть года эта разница составляет 0.3 %. За 94 сут произошло на обоих полушариях 14714 вспышек, а разница составляет 1517. Это в 13 раз больше квадратного корня из числа вспышек.

В целом для 21-го цикла количество вспышек на 2.7 % больше на востоке, чем на западе. Подобный результат (превышение восточных вспышек на 2.4 %) получен в работе [14].

## ОБСУЖДЕНИЕ

Принципиально северо-южную асимметрию можно объяснить образованием больших активных комплексов в северном или южном полушарии, т. е. горячих точек, описанных в работе [5].

Выявленная 540-сут периодичность, активность полушарий в противофазе, максимум амплитуды этого периода в 21-м цикле могут представлять значительный интерес для выявления природы солнечной активности.

Восточно-западная асимметрия распределения количества вспышек по диску Солнца, полученная нами, достаточно большая. Была бы она сравнительно равномерно распределена на протяжении года, можно было бы искать объяснение в положении наблюдателя относительно несимметрично устроенных вспышек, как в случае с пятнами. Можно предполагать передачу некоторого возмущения со стороны Земли и Юпитера по магнитным трубкам западной полусферы, пересекающим с солнечным ветром орбиты этих планет. Но дело осложняется тем обстоятельством, что эта реакция в 21-м цикле в основном ограничена вторым кварталом.

Хорошо выраженная годовая периодичность свидетельствует о наличии некоторого внешнего фактора в звездной системе координат. Это может быть некоторый агент галактического происхождения или асимметрия во влиянии планет на солнечную активность. В работе [4] изучалось распределение 25377 вспышек в 1958—1976 гг. по эклиптическим долготам. Показано, что число вспышек на долготах, близких к направлению на центр Галактики ( $l = 266$ ) на 20 % больше, чем в противоположном. Но близко расположен и афелий орбиты Меркурия. Не отвергая полностью галактическую природу асимметрии, в данной работе мы будем рассматривать только возможное влияние планет.

На рис. 3 представлена временная зависимость количества вспышек на восточной (сплошная кривая) и западной (пунктирная кривая) полусфере Солнца от положения Меркурия на орбите. Отсчет дней ведется от перигелия. Мы видим, что около перигелия количество вспышек на восточной стороне значительно превышает количество вспышек на западной. Возможно, что в этот период под действием Меркурия и Земли более активно освобождается энергия, запасенная в активных областях, и за 7 сут перемещения активных областей на запад она не успевает восстановиться. Некоторая асимметрия наблюдается и около афелия. Она составляет четвертую часть полной асимметрии.

Среди возможных причин образования восточно-западной асимметрии следует рассмотреть динамические приливы, о которых упоминается в работах [6, 8, 10]. Создается впечатление, что Меркурий начинает генерировать динамическую волну, ее подхватывает и усиливает Земля и другие планеты горизонтальным ускорением.

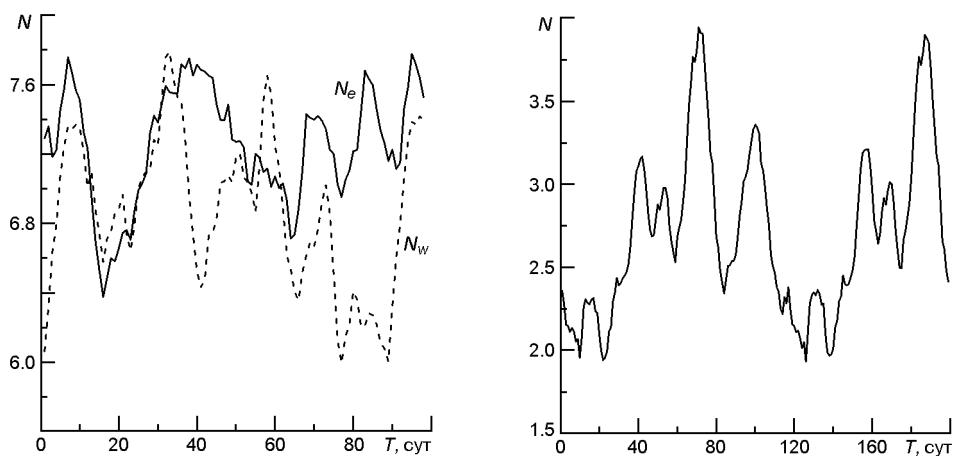


Рис. 3. Зависимость количества вспышек от положения Меркурия на орбите. Сплошная кривая — для восточного полушария, пунктирная — для западного полушария. Отсчет суток ведется от перигелия. Данные усреднены за 9 сут

Рис. 4. Зависимость количества  $N$  вспышек в северо-восточном секторе от соединений Земли и Меркурия. Минимум соответствует нижнему соединению

Отметим также, что солнечная поверхность перемещается относительно Меркурия со скоростью 7 град/сут вблизи перигелия и 10 град/сут вблизи афелия, и на ветви спада 21-го цикла соединения Земли и Юпитера происходили в первой половине года. На рис. 2,  $a$  длинными вертикальными отрезками отмечены моменты середины второго квартала, а короткими — моменты нижнего соединения Земли и Юпитера. Мы видим, что эти моменты близки на спаде цикла активности.

Перемещение фотосферных масс вдоль радиуса на прямой, соединяющей Солнце и планету, мало. Но Солнце не препятствует движению масс перпендикулярно к радиусу. Хотя приливной горб мал, его энергия достаточно велика. При наличии горизонтального приливного движения могут возникать стоячие волны между комплексами активности. Зависимость скорости от радиуса может приводить к сдвиговой деформации в замагниченных активных комплексах.

В работе [8] показано, что долготы соединения Земли и Меркурия располагаются чаще между активными долготами. По нашим данным тоже заметно снижение количества вспышек вблизи нижнего соединения Меркурия с Землей. Для иллюстрации на рис. 4 приведена зависимость количества вспышек в северо-восточном секторе Солнца, полученная методом наложенных эпох с периодом 116 дней, соответствующему среднему интервалу между соединениями. Минимум кривой наблюдается вблизи нижнего соединения планет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из проведенных исследований временного распределения числа вспышек в четырех секторах солнечного диска в 21-м цикле можно сделать следующие выводы.

1. В северо-южном распределении числа вспышек в среднем наблюдается постепенное перемещение активности из северной полушария в южную.

2. Северо-южная асимметрия имеет периодический характер. Период составляет около 540 сут.

3. Наблюдается хорошо выраженная восточно-западная асимметрия числа вспышек, которая содержит годовую составляющую.

4. Основной вклад в восточно-западную асимметрию наблюдается во втором квартале года.

Разработка модели взаимодействия планет с активными областями на солнечной поверхности сложная, но актуальная и интересная задача. Помимо конфигурации планет, нужно учитывать конфигурацию и мощность активных центров на Солнце, их долготное и широтное распределение. В летне-осенний период перигелий Меркурия находится на западе от Земли, а проявление отрицательной асимметрии незначительно (рис. 3). В последнем случае вращение солнечной поверхности происходит от Земли к Меркурию. В зимне-весенний период от Меркурия к Земле. Мы считаем, что при формировании восточно-западной асимметрии вспышечной активности взаимодействуют несколько факторов: вращение Солнца с запада на восток, вращение планет в том же направлении, угловое расстояние между планетами и распределение активных областей по диску Солнца.

1. Вальдмаер М. Результаты и проблемы исследования Солнца. — М.: Изд-во иностр. лит., 1950.—240 с.
2. Витинский Ю. И., Копецкий М., Куклин Г. В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. — М.: Наука, 1986.—296 с.
3. Романчук П. П. Природа солнечной цикличности // Астрон. журн.—1981.—58, вып. 1.—С. 158—166.
4. Шпитальная А. А. Рассмотрение вспышек в гелиоцентрической галактической системе координат // Солнеч. данные.—1980.—№ 12.—С. 95—106.
5. Bai T. Hot spots for solar flares persisting for decades: longitude distributions of flares of cycles 19—23 // *Astrophys. J.*—2003.—585.—P. 1114—1123.
6. Bumba V. Regularities in the solar background magnetic field // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2009.—104, № 6.—С. 87—94.
7. Godoli G., Poletto G. A possible connection between N-S and E-W solar asymmetries // *Solar Phys.*—1969.—10, N 2.—P. 494—495.
8. Klvana M., Svanda M., Krivtsov A., Bumba V. Do tidal waves exist in the solar photosphere? // *Hvar Observ. Bull.*—2004.—28, N 1.—P. 157—165.
9. Knaack R. R., Stenflo J. O., Berdyugina S. V. Evolution end rotation of large-scale photospheric magnetic field of the Sun during cycles 21—23 // *Astron. and Astrophys.*—2005.—438.—P. 1067—1082.



10. *Krivtsov A. M., Klvana M., Bumba V.* Photosphere velocity field generated by tidal forces // Solar variability as an input to the Earth's environment. International Solar Cycle Studies (ISCS) / Ed. A. Wilson. — Noordwijk: ESA Publs Division, 2003.— ESA SP-535.—P. 121—123.—(Symp., 23—28 June 2003, Tatranska Lomnica, Slovak Republic).
11. *Letfus V., Ruzickova-Topolova B.* Time variation of the E-W asymmetry of flares numbers with respect to the phase of solar cycles // Bull. Astron. Inst. Czech.— 1980.— **31**, N 4.—P. 232—239.
12. *Ozguc A., Atac T., Rybak J.* Long-term periodicities in the flare index between the years 1966—2001 // Solar variability: from core to outer frontiers / Ed. A. Wilson. — Noordwijk: ESA Publs Division, 2002.—ESA SP-506.—Vol. 2.—P. 709—712.— (The 10th European Solar Physics Meeting, 9—14 September 2002, Prague, Czech Republic).
13. *Scafetta N.* Does the Sun work as a nuclear fusion amplifier of planetary tidal forcing? A proposal for a physical mechanism based on the mass-luminosity relation // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys.— 2012.—N 81-82.—P. 27—40.
14. *Temmer M., Veronig A., Hanlmeier A., et al.* Statistical analysis of solar H $\alpha$  flares // Astron. and Astrophys.—2001.—**375**.—P. 1049—1061.

Статья поступила в редакцию 11.07.14