

## NS-АСИММЕТРИЯ ПЯТНООБРАЗОВАНИЯ И АМПЛИТУДА 11-ЛЕТНИХ ЦИКЛОВ АКТИВНОСТИ

С.В. Латышев, С.В. Олемской

### NS-ASYMMETRY IN SUNSPOT FORMATION AND AMPLITUDE OF 11-YEAR CYCLES OF ACTIVITY

S.V. Latsyshev, S.V. Olemskoy

По данным о солнечных пятнах RGO/NOAA установлена связь северо-южной (NS) асимметрии пятнообразования с амплитудой 11-летних циклов. Показано, что чем выше амплитуда циклов, тем меньше абсолютное значение NS-асимметрии. Выявленная закономерность исследована в численной модели динамо с нерегулярными изменениями альфа-эффекта.

Using to sunspots data RGO/NOAA established the connection north-south (NS) asymmetry of sunspot with amplitude 11-year cycles. It is shown that the higher the amplitude of the solar cycle, the smaller the absolute value of the NS-asymmetry. Identification of patterns investigated in a numerical model of the dynamo with irregular changes of alpha-effect.

Солнечная активность лишь в грубом приближении одинаково проявляется в северном и южном полушариях Солнца. Детальное изучение различных индексов пятнообразования показывает, что существует довольно значительная северо-южная асимметрия, т. е. наблюдается «асинхронность» работы северного и южного полушарий Солнца. Чаще всего величина северо-южной асимметрии определяется как в [Витинский, 1973]:

$$A = \frac{N - S}{N + S}$$

где  $N$  и  $S$  – значения индексов активности для северного и южного полушарий Солнца.

В масштабах 11-летнего цикла эта асимметрия сводится, прежде всего, к избытку суммарной площади и числа групп пятен в одном из полушарий, а также несинхронности широтного распределения центров пятнообразования [Бадалян, 2009, 2011; Наговицын и др., 2010], различию эпох экстремумов и формы кривых 11-летних циклов в разных полушариях [Витинский, 1973]. Северо-южная асимметрия проявляется и в долготной неоднородности солнечных пятен. Активные долготы северного и южного полушарий смещены относительно друг друга [Мариш, 1971]. В эпоху роста доминируют активные долготы одного полушария, в эпоху спада – другого [Плюснина, 2003].

Часто используется абсолютное значение асимметрии (1), характеризующее степень «разбалансировки» полушарий, без указания того, какое именно полушарие доминирует и какая именно конфигурация магнитного поля генерируется на Солнце. Эта величина имеет четко выраженный 11-летний ход и достигает максимальных значений вблизи минимумов циклов активности [Бадалян, 2009], т.е. наибольшая разбалансировка полушарий наблюдается в периоды минимумов 11-летних циклов. Важно отметить, что чем выше абсолютная асимметрия, тем меньше размах крыльев бабочки в минимумах 11-летних циклов, это относится к современной эпохе высокой активности [Бадалян, 2011].

Указанные особенности характерны и для глобальных минимумов солнечной активности. В эпоху

минимума Маундера северо-южная асимметрия достигала максимальных значений в течение нескольких циклов (пятна наблюдались только в одном из полушарий). По результатам модельных расчетов [Olemskoy, Kitchatinov, 2013] обнаруживается тенденция роста индекса экваториальной симметрии при переходе к глобальным минимумам. Модельные расчеты показывают, что чем меньше амплитуда цикла, тем сильнее отклонение от дипольной конфигурации поля. Коэффициент корреляции между амплитудой цикла и индексом четности равен  $-0.3$ . В отличие от индекса асимметрии (1) индекс экваториальной симметрии показывает доминирование дипольной, или квадрупольной мод. По данным наблюдений солнечных пятен в современную эпоху (циклы активности 12–23) удалось выявить аналогичную закономерность в поведении «высоких» циклов активности: чем меньше амплитуда цикла, тем больше северо-южная асимметрия пятнообразования, т. е. тем больше отклонение от дипольного типа симметрии. На рис. 1 показан временной ход сглаженных абсолютных значений асимметрии (1) и сглаженных среднегодовых значений суммарной площади пятен, там же показаны огибающие максимумов циклов и минимумов абсолютной асимметрии. Видно, что кривые изменяются во времени в противофазе.

Каждому локальному 11-летнему максимуму активности (рис. 1, б) соответствует локальный 11-летний минимум абсолютной асимметрии (рис. 1, а). В данном случае, с учетом временного хода NS-асимметрии, для теории динамо наибольший интерес представляют именно 11-летние минимумы абсолютной асимметрии, так как характеризуют солнечный цикл в его максимальном развитии, и показывают насколько конфигурация тороидального поля близка дипольной симметрии. Была рассчитана линейная корреляция между амплитудами циклов и локальными минимумами абсолютной асимметрии,  $R = -0.7$ .

Как видно на рис. 2 индекс асимметрии в среднем уменьшается при увеличении активности. Отрицательное значение корреляции ( $-0.7$  для локальных экстремумов,  $-0.72$  для среднегодовых значений и  $-0.3$  в модельных расчетах) можно интерпретиро-

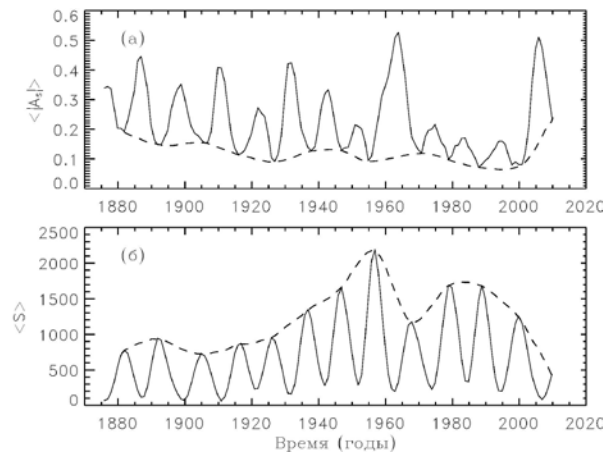


Рис. 1. Абсолютная северо-южная асимметрия среднегодовых значений суммарной площади солнечных пятен в м.д.п. (сглаживание с окном 4 года) (а). Суммарная площадь солнечных пятен в м.д.п. (сглаживание с окном 4 года) (б). Штриховые линии огибают локальные минимумы абсолютной асимметрии (а) и амплитуды 11-летних циклов (б), коэффициент корреляции  $R = -0.7$ .

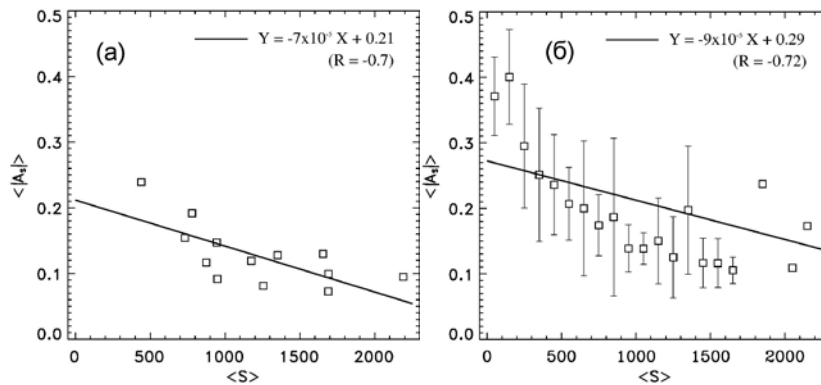


Рис. 2. Зависимость локальных минимумов северо-южной асимметрии среднегодовых значений суммарной площади солнечных пятен от локальных максимумов 11-летних циклов солнечной активности (а). Зависимость среднегодовых значений северо-южной асимметрии от среднегодовых значений суммарной площади солнечных пятен (б).

вать следующим образом. На Солнце, как показывают наблюдения, преимущественно генерируется дипольная мода. Случайные флуктуации альфа-эффекта, нерегулярные во времени и пространстве, могут передавать часть магнитной энергии квадрупольным модам. Квадрупольные моды являются подкритическим режимом для возбуждения таких магнитных конфигураций и эти моды быстро затухают. В работе [Галицкий и др., 2005] приводятся результаты, которые подтверждают, что дипольная магнитная конфигурация растет быстрее квадрупольной, но в то же время комплексные скорости роста дипольной и квадрупольной конфигураций близки. Это указывает на возможность долговременного существования недипольной конфигурации магнитного поля на Солнце. Отклонения от дипольной конфигурации уменьшают магнитную энергию. Большие отклонения могут способствовать переходам к глобальным минимумам. Таким образом, отклонения крупномасштабного магнитного поля Солнца от экваториально-антисимметричной моды, т. е. большие значения асимметрии в эпоху максимума, могут быть индикатором снижения магнитной активности и указанием на переход к глобальному минимуму.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бадалян О.Г. Характеристика асимметрии солнечной активности за последние 150 лет // Циклы активности на Солнце и Звездах: матер. раб. совещания-дискуссии. СПб. 2009. С. 205–212.
- Бадалян О.Г. Широтное распределение солнечных пятен и его северо-южная асимметрия // *Астрономический журнал*. 2011. Т. 88, № 10. С. 1008–1023.
- Витинский Ю.И. Цикличность и прогноз солнечной активности. Л.: Наука, 1973. 258 с.
- Галицкий В.М., Соколов Д.Д., Кузаян К.М. Динамоволна вблизи солнечного экватора // *Астрономический журнал*. 2005. Т. 82, № 4. С. 1–7.
- Мариш Д. Активные долготы площадей групп пятен в 20-м цикле солнечной активности // *Солнечные данные*. 1971. № 8. С. 86–89.
- Наговицын Ю.А., Иванов В.Г., Милецкий Е.В., Наговицына Е.Ю. Минимум Маундера: северо-южная асимметрия пятнообразования, средние широты пятен и диаграмма бабочек // *Астрономический журнал*. 2010. Т. 87, № 5. С. 524–528.
- Плюснина Л.А. Северо-южная асимметрия и циклические изменения продуктивности активных долгот // *Климатические и экологические аспекты солнечной активности*: матер. конф. СПб. 2003. С. 353–358.
- Olemskoy S.V., Kitchatinov L.L. Grand minima and north-south asymmetry of solar activity // *Astrophys. J.* 2013. V. 777, iss. 1. Article id. 71. P. 8.