

УДК 523.98

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ И ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ АКТИВНЫХ ДОЛГОТ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

С.В. Олемской, Л.Л. Кичатинов

ROTATION PERIOD AND LONG-TIME VARIATION OF ACTIVE LONGITUDES OF SUNSPOTS

S.V. Olemskoy, L.L. Kitchatinov

Определена величина неоднородности распределения групп солнечных пятен по долготе в зависимости от периода вращения, принимаемого для определения долготы. Проведена оценка статистической достоверности найденных активных долгот. Показано, что достаточно высокая достоверность достигается лишь для синодического периода вращения, близкого к 27 и 28 сут. При этом активные долготы проявляют долговременную вариацию, связанную с северо-южной асимметрией пятнообразования. Высказывается предположение о связи активных долгот с реликтовым магнитным полем, вмороженным в однородно вращающуюся лучистую зону Солнца.

We determined the nonuniformity of the distribution of sunspot groups in longitude as a function of the rotation period assumed for the longitude determination. We estimated the statistical significance of the active longitudes found. A fairly high significance is shown to be achieved only for a synodic rotation period close to 27 and 28 days. The active longitudes show a long-time variation associated with N-S asymmetry of sunspot-formation. The active longitudes are assumed to be associated with the fossil magnetic field frozen in the uniformly rotating radiative zone of the Sun.

Введение

Интереснейшим и все еще необъяснимым явлением в магнитной активности Солнца остается ее неоднородность по долготе. Это явление получило название активных долгот [1]. И несмотря на многочисленные исследования активных долгот, остаются без внимания два принципиальных вопроса.

Во-первых, неясно, какой период вращения следует принимать для определения долготы. Определение скорости вращения активных долгот важно для понимания их природы. Например, если активные долготы действительно связаны с неосесимметричным реликтовым магнитным полем, то они должны вращаться с синодическим периодом около 28.8 сут – периодом вращения солнечной лучистой зоны.

Во-вторых, долгое время оставался открытым вопрос, обладают ли активные долготы статистической достоверностью. Подобного рода вопрос возник еще в начале XX в. Речь шла о том, как распределены центры активности (или пятнообразования) по гелиографической долготе, случайно или нет. В ряде работ (например, [1]) содержатся качественные аргументы в пользу того, что центры пятнообразования распределены по долготе не случайно. Однако количественного подтверждения это утверждение до сих пор не имело.

В предыдущих работах [2, 3] мы предприняли попытку ответить на эти вопросы, рассмотрев зависимость проявления активных долгот солнечных пятен от периода вращения, принятого для определения долготы и для оценки статистической достоверности активных долгот рассчитали долготную неоднородность, обусловленную «статистическими шумами» в распределении конечного числа случайных событий. Как было показано, эффектами такого рода активные долготы объяснить нельзя. В данной работе, используя уже опробованный метод, мы изучили долготную неоднородность в распределении солнечных пятен для различных временных масштабов, охватываю-

щих как весь гринвичский ряд наблюдений, так и циклы активности по отдельности.

Метод

Более подробно методика расчета изложена в работе [3]. Использовались данные гринвичского каталога солнечных пятен, покрывающих 9 полных циклов активности. В каталоге даны координаты групп пятен, при этом долгота определялась, исходя из кэррингтоновского периода вращения 27.275 сут. Можно вычислить соответствующее значение долготы, задавая другой период вращения:

$$\lambda = \lambda_c + 360^\circ (T/P_c - T/P), \quad (1)$$

где λ_c – значение долготы в кэррингтоновской системе координат из каталога, P_c – кэррингтоновский период вращения, а P – задаваемый период вращения. Период задавался в диапазоне от 21 до 34 сут с шагом 0.05. Если рассчитанное по формуле (1) значение долготы не попадает в интервал $0-360^\circ$, то его следует откорректировать, добавляя или вычитая целое кратное 360° .

Далее пятно с новым значением долготы относим в соответствующий долготный интервал, предварительно разбив шкалу значений долгот ($0-360^\circ$) на 9 равных интервалов. Таким образом, для каждого периода мы находим распределение относительной повторяемости солнечных пятен по долготе:

$$S_i = \frac{9n_i}{N}, \quad \bar{S} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 S_i = 1, \quad (2)$$

где n_i – число событий в определенном долготном интервале, а N – полное число событий. Понятно, что среднее значение \bar{S} по всем долготным интервалам равно единице (2).

Для количественной оценки полученного распределения мы рассчитываем такой коэффициент неоднородности, как сумму абсолютных отклонений от среднего значения, т.е. единицы: (5)

$$V = \sum_{i=1}^9 |S_i - 1|. \quad (3)$$

Понятно, что для каждого задаваемого периода вращения будет определен коэффициент неоднородности.

Ранее мы уже рассчитывали распределение случайных событий, каждое из которых с равной вероятностью попадает в любой из долготных интервалов [3]. Показано, что когда число событий такого рода N велико, вероятность того, что изменчивость (3) имеет величину меньше заданного значения, зависит не от обоих параметров N и V по отдельности, а является функцией одного аргумента $N^{1/2}V$ (правило подобия):

$$P(V) = j(N^{1/2}V). \quad (4)$$

Эта функция показана на рис. 1. В дальнейшем она используется для оценки статистической достоверности активных долгот.

Например, уровню 95 % соответствует значение $N^{1/2}V = 3.25$, отсюда легко можно найти соответствующую данному уровню величину неоднородности V для конкретного числа событий N :

$$V = \frac{3.25}{N^{1/2}}, \quad (5)$$

ниже которой с заданной вероятностью можно сказать, что процесс случайный. Далее на рисунках этот уровень обозначен штриховой линией.

Результаты и обсуждения

В используемой статистике групп солнечных пятен циклы активности 18, 19 и 20 значительно выделяются по мощности, что является проявлением векового цикла. Поэтому расчеты были выполнены как для полного набора данных (циклы активности 11–20), так и для относительно «однородной» выборки, покрывающей циклы активности 12–17.

В представленной полной статистике событий (для выборки без разделения по полушариям) активные долготы выражены слабо (рис. 2). Практически вся сглаженная кривая лежит ниже уровня статистической достоверности (5). Довольно субъективно мы приняли этот уровень в 95 % в качестве критерия статистической достоверности активных долгот. Активные долготы могут, однако, не совпадать для различных полушарий, а также различных циклов активности. Такие различия должны иметь место, если явление активных долгот связано с несимметричным реликтовым магнитным полем. Поэтому расчеты долготной изменчивости (3) были проведены отдельно для северного и южного полушарий Солнца, а также для четных и нечетных циклов активности. Видно, что изменчивость для событий северного полушария превышает уровень достоверности в 95 % для периодов около 28 сут.

На рис. 3 приведены зависимости долготной изменчивости от периода вращения для нечетных циклов активности. Только для северного полушария имеется существенное превышение принятого уровня статистической достоверности в интервале периодов вращения, несколько больших 28 сут (сглаженная кривая).

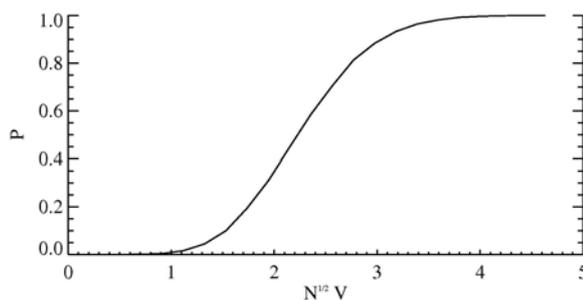


Рис. 1. Вероятность того, что величина изменчивости (3) меньше заданного значения в зависимости от $N^{1/2}V$, для большого числа N случайных событий, однородно распределенных по долготе.

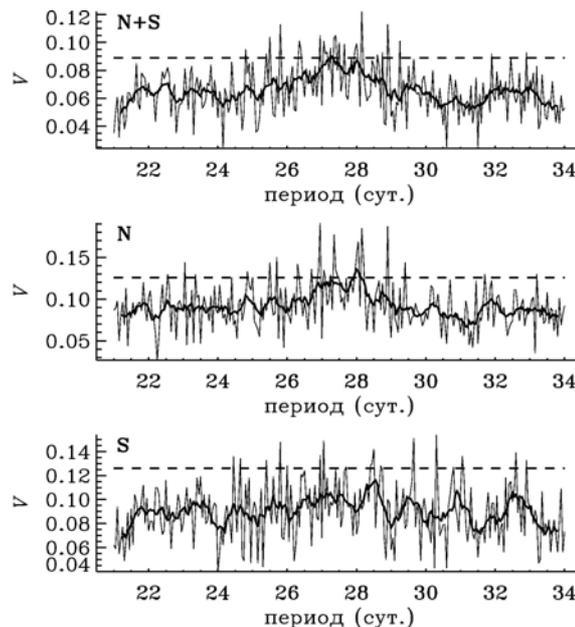


Рис. 2. Изменчивость (3) распределения групп пятен по долготе в зависимости от периода вращения, принятого для определений долготы (циклы активности 12–17). Тонкая линия показывает результаты расчетов с шагом 0.05 сут по периоду вращения. Центрированное среднее по 9 точкам показано жирной линией. Штриховая горизонтальная линия показывает уровень, ниже которого с вероятностью 95 % находится изменчивость для случайного, статистически однородного распределения событий по долготе.

Не представленные на рисунках результаты для четных циклов не показывают статистической достоверности.

Расчеты, выполненные для всего набора гринвичских данных (циклы активности 11–20), дают несколько отличный результат. По-прежнему только для нечетных циклов имеется превышение принятого уровня статистической достоверности, но в интервале периодов около 27 сут (рис. 4). Результаты для четных циклов не показывают статистической достоверности.

Таким образом, с учетом мощных циклов активности (18, 19 и 20) период вращения наиболее достоверных активных долгот – 27 сут. Однако этот период является доминирующим, но не единственным. Прослеживается вторичный максимум для периодов несколько больше 28 сут (рис. 4. (без разделения по полушариям)).

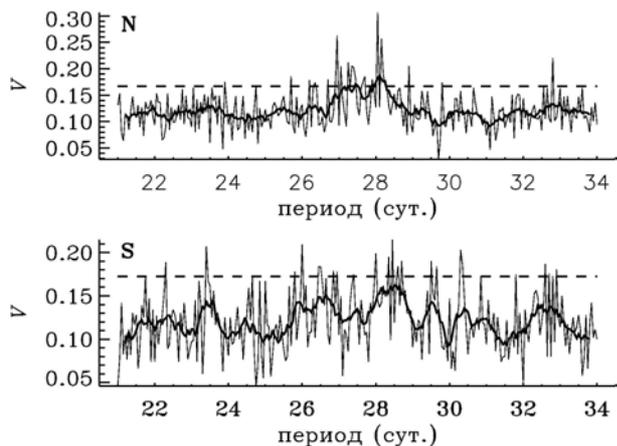


Рис. 3. Изменчивость (3) распределения групп пятен по долготе для нечетных циклов в зависимости от периода вращения, принятого для определений долготы (циклы активности 12–17). Различные линии имеют тот же смысл, что и на рис. 2.

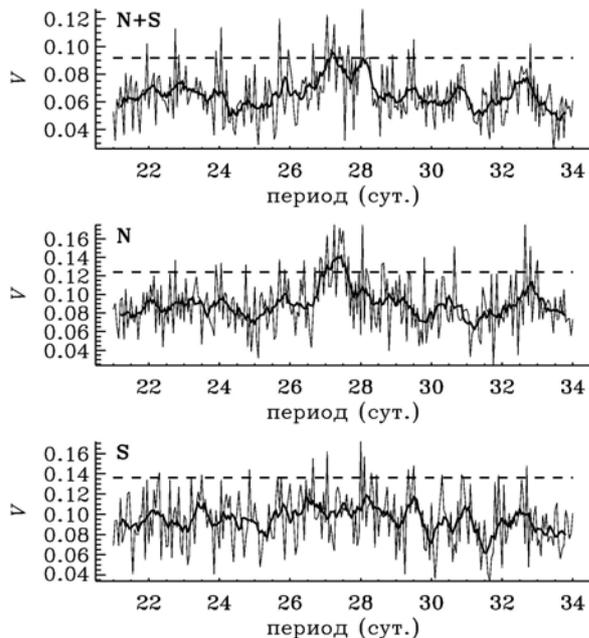


Рис. 4. Изменчивость (3) распределения групп пятен по долготе для нечетных циклов в зависимости от периода вращения, принятого для определений долготы (циклы активности 11–20). Различные линии имеют тот же смысл, что и на рис. 2.

Можно предположить, что в эпоху максимума векового цикла доминируют активные долготы с периодом вращения около 27 сут, обусловленные повышенной активностью конвективной зоны. Соответственно в «спокойные» 11-летние циклы доминирует система активных долгот, вращающихся с периодом около 28 сут.

Это значение близко, хотя и немного меньше, периода вращения лучистой зоны. Предположения о связи локальных магнитных полей с более глубокими слоями высказывались неоднократно. Возможно, активные долготы действительно связаны с неосесимметричным реликтовым полем Солнца. Такое поле может сохраниться в практически однородно вращающейся лучистой зоне со времен ранней эволю-

ции Солнца. Реликтовое поле может, однако, проникать в зону конвекции. Здесь оно будет складываться с изменяющимся с 11-летним периодом полем динамо. Результат такого наложения зависит от знака поля, генерируемого гидромагнитным динамо, что, возможно, и дает усиление пятенной активности в активных долготах в нечетных циклах и ее ослабление в четных.

Выявляется интересная закономерность, связанная с северо-южной асимметрией. Согласно исследованиям Бадалян и Обридко [4] наибольшая пятнообразовательная деятельность приходится в южном полушарии на 12-й цикл, а в северном – на 19-й цикл (рис. 5).

На рис. 6 и 7 представлены распределения долготной неоднородности в зависимости от периода вращения для этих же циклов активности. Видно, что статистически значимые активные долготы выделяются в южном полушарии для 12-го цикла ($P \sim 28$ сут) и в северном полушарии для 19-го цикла ($P \sim 27$ и 28 сут). Соответственно активные долготы северного полушария в 12-м цикле и южного полушария в 19-м не показывают статистической достоверности.

Таким образом, можно предположить, что в минимуме векового цикла наиболее выражены активные долготы южного полушария, а в эпоху максимума – северного.

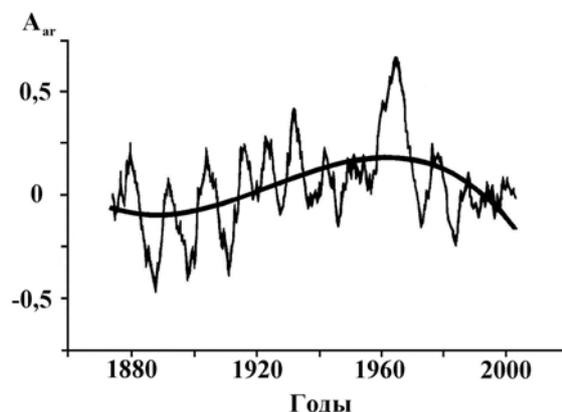


Рис. 5. Циклические изменения асимметрии суммарной площади пятен по данным гринвичского каталога [4].

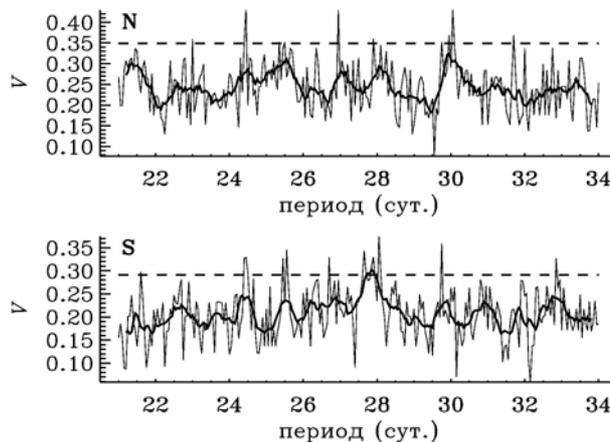


Рис. 6. Изменчивость (3) распределения групп пятен по долготе в зависимости от периода вращения, принятого для определений долготы, для 12-го цикла активности. Различные линии имеют тот же смысл, что и на рис. 2.

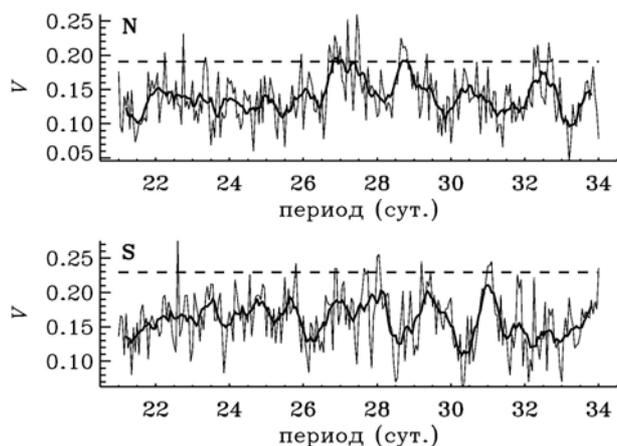


Рис. 7. Изменчивость (3) распределения групп пятен по долготе в зависимости от периода вращения, принятого для определений долготы, для 19-го цикла активности. Различные линии имеют тот же смысл, что и на рис. 2.

Отметим, что для каждого периода вращения, при котором достигалось превышение заданного уровня статистической достоверности, выделялся один пик в распределении активных долгот, приходящийся на различные долготные интервалы.

Выводы

1. Выявлено два периода вращения, для которых явление активных долгот превышает принятый уровень статистической достоверности. Это позволило сделать предположение о существовании двух систем активных долгот на Солнце.
2. Система активных долгот с $P \sim 27$ сут доминирует в наиболее мощных 11-летних циклах активности.
3. Система активных долгот с $P \sim 28$ сут наиболее выражена в эпоху минимума векового цикла.

4. Вероятно, активные долготы с $P \sim 28$ сут являются проявлением неосесимметричного реликтового поля, локализованного в однородно вращающейся лучистой зоне Солнца.

5. Выявлена северо-южная асимметрия активных долгот, проявляющая долговременную вариацию. В минимуме векового цикла наиболее выражены активные долготы южного полушария, а в эпоху максимума – северного.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №05-02-16326).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986. 296 с.
2. Олемской С.В., Кичатинов Л.Л. Период вращения активных долгот солнечных пятен // Взаимодействие полей и излучения с веществом: Труды VII Байкальской школы по фундаментальной физике / ИСЗФ СО РАН. Иркутск, 2004. С. 200–201.
3. Кичатинов Л.Л., Олемской С.В. Активные долготы Солнца: период вращения и статистическая достоверность // Письма в Астрономический журнал. 2005. Т. 31, № 4. С. 309–314.
4. Бадалян О.Г., Обридко В.Н. N-S асимметрия площадей и полного числа пятен и квазидвухлетние колебания // Климатические и экологические аспекты солнечной активности: Сб. трудов / ГАО РАН. СПб., 2003. С. 33–40.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, olemskoy@mail.ru