

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕВЕРО-ЮЖНОЙ АСИММЕТРИИ СОЛНЕЧНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ТЕЧЕНИЕ 1966-1985гг.

М.Ш.ГИГОЛАШВИЛИ, Д.Р.ДЖАПАРИДЗЕ, Т.Г.МДЗИНАРИШВИЛИ

Поступила 22 июля 2011

Принята к печати 24 августа 2011

Найдены временные изменения и широтная зависимость солнечного вращения с помощью наблюдательных данных  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных образований различной полярности для циклов солнечной активности 20 и 21 (1966-1985). Статистический анализ наблюдательных данных показал, что существует северо-южная асимметрия вращения как для  $N\alpha$  волокон, так и для компактных магнитных образований с отрицательными и положительными полярностями. Северо-южная асимметрия дифференциального вращения  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных образований с обеими полярностями значительно выражена для циклов солнечной активности 20 и 21, однако асимметрия для компактных магнитных образований с положительной полярностью в цикле 21 сравнительно ниже. Доверительный уровень для компактных магнитных образований с положительной полярностью ниже, чем для компактных магнитных образований с отрицательной полярностью.

Ключевые слова: *вращение солнца:  $N\alpha$  волокна: компактные магнитные образования*

1. *Введение.* Солнечное дифференциальное вращение - важный элемент солнечного динамо - одной из моделей физических процессов, ответственных за генерацию магнитных полей на Солнце. Поэтому временные изменения солнечного дифференциального вращения, также как северо-южная асимметрия вращения, вызывает живой интерес ученых. Северо-южная асимметрия возникновения различных образований на солнечной поверхности лучше всего была изучена для солнечных пятен [1], для зон пятен [2-5] и для солнечной активности в целом [6-8]. Северо-южная асимметрия в распределении  $N\alpha$  волокон, вспышек, полярных факелов, полярного магнитного поля и для корональных ярких точек на солнечной поверхности была изучена также в [5,8,9-17].

Некоторые авторы сообщали о существовании северо-южной асимметрии дифференциального вращения Солнца [12,13,18-22]. Однако, полученные результаты иногда различны, а иногда даже противоположны.

Существование северо-южной асимметрии во вращении  $N\alpha$  волокон

было подтверждено статистически [23,24]. Изменения в солнечном дифференциальном вращении в северных и южных полушариях могут интерпретироваться как колебания с 22-летним магнитным периодом [24-26]. Подобное поведение было найдено для компактных магнитных образований с отрицательными и положительными полярностями за исключением момента реперолюсовки полярности на поверхности Солнца [27].

Целью данной работы является продолжение исследования дифференциального вращения Солнца, чтобы исследовать детали его временных и пространственных вариаций. Для достижения этой цели дается статистический анализ данных различных объектов солнечной поверхности с целью обнаружения северо-южной асимметрии вращения Солнца.

*2. Используемые данные.* Для того, чтобы оценить различия скоростей вращения различных образцов солнечной атмосферы, мы сравнили данные  $H\alpha$  волокон (обычно расположенных вдоль нейтральных линий магнитных полей) и компактных магнитных образований для циклов солнечной активности 20 и 21 (1966-1985гг.).

Для исследования солнечного дифференциального вращения мы изучили  $H\alpha$  волокна из коллекции  $H\alpha$  спектрогелиограмм Абастуманской астрофизической обсерватории.

Были отобраны относительно устойчивые  $H\alpha$  волокна, которые значительно не меняли форму и их отдельные фрагменты могли быть идентифицированы. Выбранные нами спокойные волокна существовали более 3-х дней и непосредственно не были связаны с активными областями. Волокна, существующие меньше 3-х дней, считались нестабильными и отсеивались. Сидерические скорости вращения были вычислены для каждой пары последовательных дней наблюдения за время жизни каждого волокна. Измерялись отдельные фрагменты волокна, уверенно отождествляемые со дня на день [28]. Для солнечных циклов 20 и 21 мы выбрали 261 спокойное волокно и провели приблизительно 11500 измерений. Мы получили среднегодовые значения угловых скоростей  $H\alpha$  волокон для последовательных  $10^\circ$ -ных интервалов от  $50^\circ N$  к  $50^\circ S$  отдельно для северного и южного полушарий.

Используя синоптические карты атласа Макинтоша [29], мы исследовали также компактные магнитные особенности с отрицательной и положительной полярностями. Мы выбрали визуально симметрические структурные формирования из многих магнитных данных. Для 335 компактных магнитных образований было выполнено 1675 измерений для периода 1966-1985гг.

С целью определения скорости вращения компактных магнитных особенностей вместо обычно используемой сетки атласа Макинтоша [29], мы измеряли угол между осью симметрии выбранных магнитных особенностей и горизонтальной линией, параллельной к горизонтальному

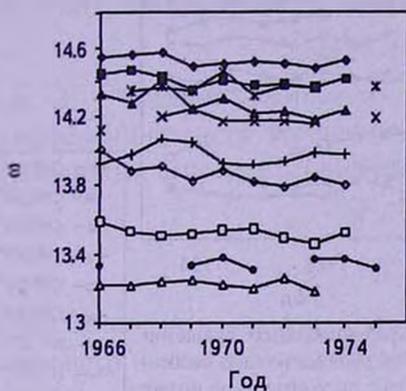
краю изображения. Мы вычислили скорости вращения данных магнитных особенностей эмпирической формулой, которая описывает и заменяет сетку атласа Макинтоша [25,30]:

$$\omega(\varphi) = 1000 / (36.664 - \cot \alpha),$$

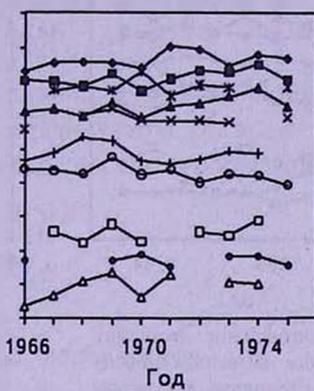
где  $\alpha$  представляет угол, измеренный нами для каждой особенности,  $\varphi$  - широта, а  $\omega(\varphi)$  - скорость вращения.

Временные изменения скоростей вращения  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями

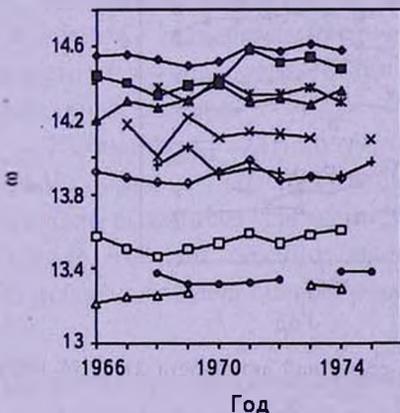
Дифференциальное вращение компактных магнитных особенностей с отрицательной полярностью и волокон (N)



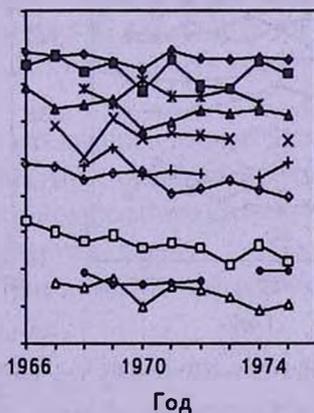
Дифференциальное вращение компактных магнитных особенностей с положительной полярностью и волокон (N)



Дифференциальное вращение компактных магнитных особенностей с отрицательной полярностью и волокон (S)



Дифференциальное вращение компактных магнитных особенностей с положительной полярностью и волокон (S)



- CMF(10°)
- CMF(20°)
- ▲— CMF(30°)
- CMF(40°)
- CMF(50°)
- ◇— CMF(60°)
- ×— HF(10°)
- \*— HF(20°)
- +— HF(30°)
- HF(40°)

Рис. 1. Временные изменения скоростей вращения  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями для солнечного цикла деятельности 20 (1966-1975). С правой стороны рисунка обозначены соответствующие индексы для 10°-х зон скоростей вращения  $N\alpha$  волокон (HF) и компактных магнитных особенностей, соответственно, с отрицательными и положительными полярностями ( $\pm$ CMF).

в 1966-1975гг. приведены на рис.1-2.

Из рис.1-2 видно, что во время исследованного периода различные образцы солнечной поверхности,  $H\alpha$  волокна и компактные магнитные особенности показывают асимметричное поведение для различных солнечных полушарий. С помощью статистического метода мы исследовали асимметрию в скоростях вращения различных образований солнечной атмосферы.

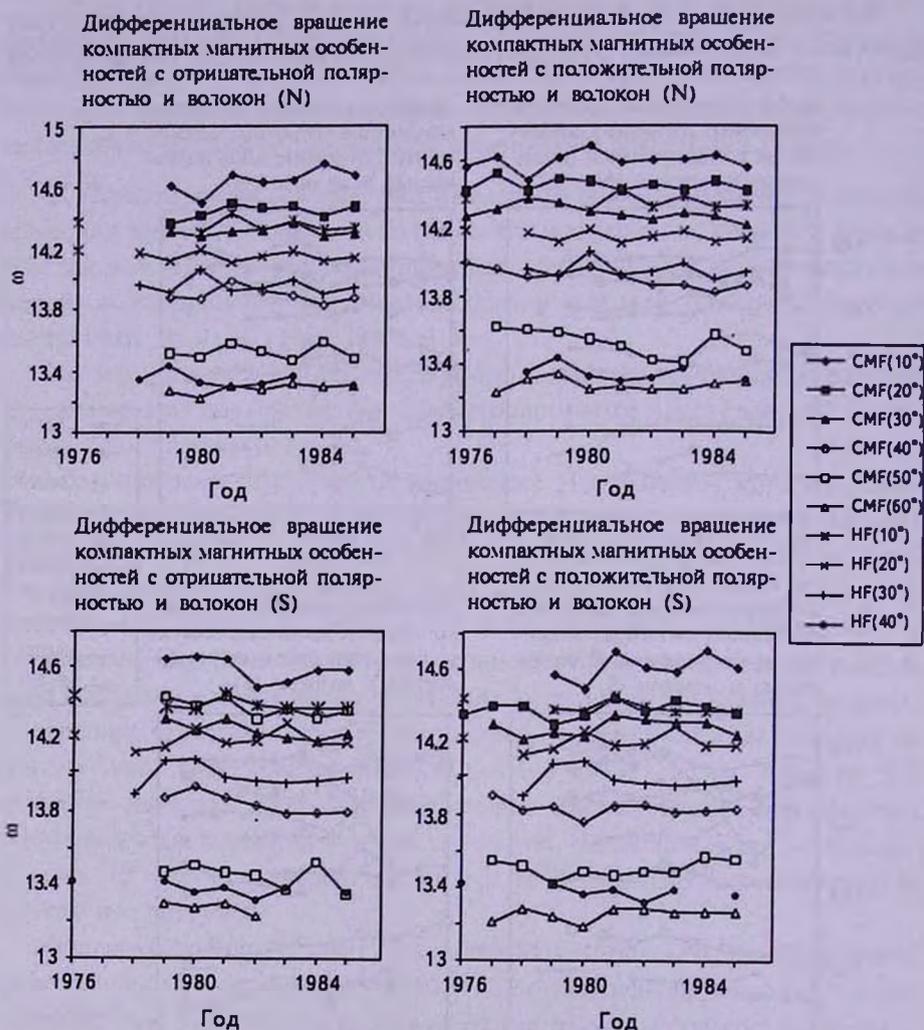


Рис.2. То же самое, что на рис.1, для цикла солнечной активности 21 (1976-1985).

3. *Статистическое исследование скоростей вращения  $H\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностей.* В астрономической практике солнечное дифференциальное вращение обычно изучается вычислением скоростей различных солнечных образований, используя

стандартную аппроксимацию:

$$\omega(\phi) = A + B(5\sin^2\phi - 1), \quad (1)$$

где  $\omega(\phi)$  - угловая скорость, выраженная в град/день,  $\phi$  - гелиографическая широта,  $A$  и  $B$  - солнечные параметры вращения:  $A$  - экваториальная скорость вращения,  $B$  - компонент широтного градиента скоростей вращения. Функция (1) определяет профиль дифференциального вращения. Наш подход к проблеме основан на статистической методологии, которая была решена Деворе и Берком [31].

Чтобы избежать погрешностей в оценках  $A$  и  $B$ , вытекающих из неортогональности функций, соответствующих этим коэффициентам, мы используем полиномы Гегенбауера, как набор соответствующих ортогональных функций, который ведет к следующему разложению [21]:

$$\omega(\phi) = \bar{A} + \bar{B}(5\sin^2\phi - 1), \quad (2)$$

где  $\bar{A}$  - "средний" компонент вращения, а  $\bar{B}$  - компонент градиента дифференциального вращения. Коэффициенты  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$  свободны от упомянутых выше погрешностей и связаны с  $A$  и  $B$  следующим образом:

$$\bar{A} = A + (1/5)B, \quad (3)$$

$$\bar{B} = (1/5)B. \quad (4)$$

Если обозначить  $\omega(\phi) = \eta$  и  $5\sin^2\phi - 1 = x$ , то вместо уравнения (2) для северного и южного полушарий мы будем иметь:

$$\eta_N = \bar{A}_N + \bar{B}_N x, \quad (5)$$

$$\eta_S = \bar{A}_S + \bar{B}_S x. \quad (6)$$

Из наблюдений мы можем с высокой точностью получить значения  $X = 5\sin^2\phi - 1$  и рассмотреть величину  $x$ , как точную, в то время как вместо  $\eta$  мы наблюдаем величину  $Y$ , искаженное из-за влияния наблюдательных ошибок.

$Y$  - оценка  $\eta = \omega(\phi)$ , полученная усреднением данных угловой скорости. Таким образом,  $Y$  содержит наблюдательные ошибки, также как случайные ошибки, вызванные усреднением. Мы предполагаем, что случайные оценки  $\eta = \omega(\phi) = \omega(\phi(x))$  обычно распределяются вокруг  $\eta$ . Поскольку это - стандартная задача оценки параметров линейной регрессии, то:

$$\eta = a + bx, \quad (7)$$

где вместо  $\eta$  у нас имеются данные, на которые влияют случайные ошибки.

Для оценки  $\bar{A}_N$ ,  $\bar{B}_N$ ,  $\bar{A}_S$  и  $\bar{B}_S$  коэффициентов у нас есть системы условных уравнений:

$$Y_{Ni} = \bar{A}_N + \bar{B}_N x_i, \quad i = 1, \dots, n_N \quad (8)$$

$$Y_{Sj} = \bar{A}_S + \bar{B}_S x_j, \quad j = 1, \dots, n_S, \quad (9)$$

где  $n_N$  и  $n_S$  - числа наблюдений, соответственно, для северного и южного полушарий.

Для оценки коэффициентов  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$  мы использовали подходящую процедуру наименьших квадратов MATLAB "robust-fit" - отдельно для северного и южного полушарий. Функция "robust-fit" использует метод, который менее чувствителен к большим изменениям для малого числа данных, чем стандартный метод наименьших квадратов. Эта программа для каждого отдельного значения дает собственный вес. Вся процедура многократно повторяется автоматически, из-за чего процесс называется: "метод многократно взвешенных наименьших квадратов". Вначале каждому значению дается равный вес, и для оценки стандартных коэффициентов используется обычный метод наименьших квадратов. Затем повторно вычисляется каждый вес так, чтобы значениям, которые очень отклонены от стандартных прогнозов, придавал более низкий вес. Стандартные коэффициенты вычисляются повторно, используя метод взвешенных наименьших квадратов. Процесс продолжается, пока коэффициенты не примут значения в пределах допустимости.

Из регрессионной модели (7) следует, что  $T_b$  и  $T_a$  статистики определяются формулами:

$$T_b = \frac{\hat{b} - b}{S_b} \quad (10)$$

и

$$T_a = \frac{\hat{a} - a}{S_a}, \quad (11)$$

где  $\hat{b}$  оценка  $b$  и  $S_b$  - ее стандартная ошибка,  $\hat{a}$  оценка  $a$  и  $S_a$  - ее стандартная ошибка (соответственно) имеют распределение  $t$  со степенями свободы  $n-2$ , соответственно.  $n$  - обозначает число наблюдений. Когда степень свободы не является маленькой ( $>40$ ),  $S_b$  и  $S_a$  можно заменить их оценками  $\hat{S}_b$  и  $\hat{S}_a$  и для проверки гипотезы можно вместо  $t$ -распределения использовать стандартное нормальное  $z$ -распределение [31].

Для сравнения оценок параметров дифференциального вращения для северного и южного полушарий, вместо  $t$ -теста можно использовать стандартный  $z$ -тест.

Для усредненного коэффициента вращения  $\bar{A}$  у нас есть нулевая гипотеза  $\bar{A}_N = \bar{A}_S$ , и вместо статистической величины  $T$  мы можем использовать статистическую величину  $z$ -тест:

$$Z_{\bar{A}} = \frac{\hat{A}_N - \hat{A}_S}{\sqrt{S_{\hat{A}_N}^2 + S_{\hat{A}_S}^2}} \quad (12)$$

Аналогично для коэффициента градиента широты дифференциального вращения  $\bar{B}$ , у нас есть нулевая гипотеза  $\bar{B}_N = \bar{B}_S$ , и мы можем использовать статистическую величину  $z$ -тест:

$$Z_{\bar{B}} = \frac{\hat{\bar{B}}_N - \hat{\bar{B}}_S}{\sqrt{\hat{S}_{\bar{B}_N}^2 + \hat{S}_{\bar{B}_S}^2}}. \quad (13)$$

Полученные результаты приведены в табл.1. В последних трех колонках таблицы, даны критические значения для отклонений нулевой гипотезы для уровня значимости  $\alpha$  ( $\alpha = 0.2$ ,  $\alpha = 0.1$  и  $\alpha = 0.05$ ).

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ  $N\alpha$  ВОЛОКОН (HF) И КОМПАКТНЫХ МАГНИТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ (-CMF) И ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ (+CMF) ПОЛЯРНОСТЬЮ ДЛЯ ПЕРИОДА 1966-1985гг.

Образец	Номер цикла	$Z_{\bar{B}}$	$Z_{\bar{A}}$	$n_N$	$n_S$	$z_{0.2}$	$z_{0.1}$	$z_{0.05}$
HF	20	-0.48	1.61	97	83	1.28	1.65	1.96
	21	-0.08	-2.49	82	87	1.28	1.65	1.96
-CMF	20	-0.67	-2.05	57	60	1.28	1.65	1.96
	21	-0.08	3.31	58	54	1.28	1.65	1.96
+CMF	20	-0.49	-1.67	55	59	1.28	1.65	1.96
	21	0.48	1.55	58	53	1.28	1.65	1.96

Поскольку доверительный уровень (CL) равняется  $(1-\alpha)$  100%, в нашем случае доверительный уровень для очень малого количества результатов составляет 80%, и для большинства случаев от 90% до 99.5% (последние две колонки табл.1).

Данные табл.1 показывают, что нулевая гипотеза отклонена для уровня значимости  $\alpha = 0.2$  как для  $N\alpha$  волокон, так и для компактных магнитных особенностей с отрицательной и положительной полярностью, тогда как нет никакой причины отклонить нулевую гипотезу  $\bar{B}_N = \bar{B}_S$ . Для уровня значимости  $\alpha = 0.1$  нулевая гипотеза  $\bar{A}_N = \bar{A}_B$  отклонена для  $N\alpha$  волокон для цикла активности 21 и для магнитных особенностей как с отрицательной, так и с положительной полярностью для циклов 20 и 21, и опять нет никакой причины отклонить нулевую гипотезу  $\bar{B}_N = \bar{B}_S$ . Для уровня значимости  $\alpha = 0.05$  нулевая гипотеза  $\bar{A}_N = \bar{A}_B$  отклонена для  $N\alpha$  волокон для цикла активности 21 и для магнитных особенностей с отрицательной полярностью, и опять нет никакой причины отклонить нулевую гипотезу  $\bar{B}_N = \bar{B}_S$ . Другими словами, анализируя табл.1, можем предположить, что в солнечном дифференциальном вращении наблюдается асимметрия, которая

выражается в "среднем" коэффициенте вращения  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностях.

Также были изучены временные вариации  $Z_{\bar{\lambda}}$  статистики около максимумов и минимумов активности солнечных циклов 20-21 (рис.3). Данные представлены для  $N\alpha$  волокон и для компактных магнитных особенностей с отрицательной и положительной полярностью. По абсциссе отмечено время в годах, в то время как по ординате отмечены значения  $Z_{\bar{\lambda}}$  статистики. Около максимумов солнечной активности  $Z_{\bar{\lambda}}$  статистика принимает экстремальные значения, хотя она меняет знак от цикла к циклу около эпохи минимума.

Нужно заметить, что для  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностей с отрицательным знаком,  $Z_{\bar{\lambda}}$  статистика меняет знак в зависимости от цикла солнечной активности, и критерий Стьюдента указывает, что эти различия являются существенными.

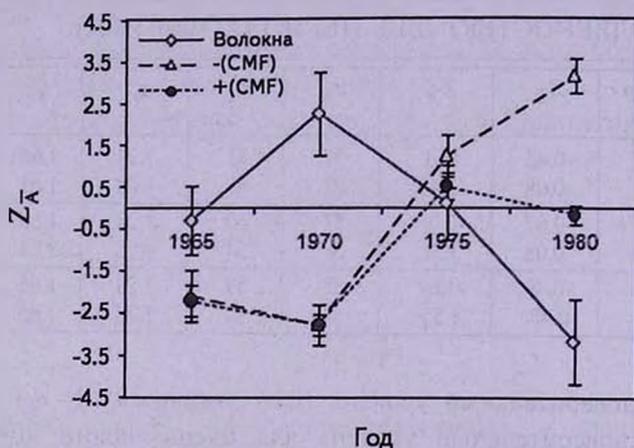


Рис.3. Временные изменения  $Z_{\bar{\lambda}}$  статистики во время эпох максимума и минимума солнечных циклов 20 и 21 для  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностей с отрицательной и положительной полярностью.

Проводя статистический анализ наблюдательных данных  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных особенностей для периода 1966-1985гг., получены следующие результаты:

Найдена северо-южная асимметрия для средних значений скоростей солнечного дифференциального вращения как для  $N\alpha$  волокон, так и для компактных магнитных особенностей.

Северо-южная асимметрия дифференциального вращения  $N\alpha$  волокон и компактных магнитных образований с обеими полярностями значительно выражена для циклов солнечной активности 20 и 21, однако для компактных магнитных образований с положительной полярностью в цикле 21 она сравнительно ниже.

Компактные магнитные особенности с обеими полярностями изменяются по фазе в течение цикла 20, но имеют некоторые различия во время цикла 21. Необходимо отметить, что доверительный уровень для компактных магнитных особенностей с положительной полярностью ниже, чем для компактных магнитных особенностей с отрицательной полярностью.

4. *Обсуждение и заключение.* Исследования дифференциального вращения солнечных атмосферных слоев дает информацию о солнечной активности. Несмотря на исследования многих ученых, солнечное дифференциальное вращение все еще остается необъяснимым явлением. Полученные результаты скоростей вращения различаются не только для различных солнечных формирований, но и для одних и тех же объектов.

Сонг и др. [32] нашли, что статистические характеристики вариаций северо-южной асимметрии магнитного потока солнечной фотосферы связаны с циклом солнечной активности. Степень асимметрии во время минимума очевидно выше, чем во время максимума солнечной активности.

Чандра и др [33] показали, что солнечная корона вращается менее дифференциально, чем фотосфера и хромосфера.

Джоши и др. [34] представили результаты исследования пространственного распределения и асимметрии солнечных активных протуберанцев для периода 1996-2007гг. Их статистическое исследование показывает, что северо-южная асимметрия является более существенной, чем восточно-западная асимметрия [34].

Северо-южная асимметрия для трех индексов солнечной активности получена для пяти солнечных циклов (1945-2001гг.). Надежность полученных результатов была подтверждена числовыми тестами, выполненными выбором различных численных значений используемых параметров [35].

Согласно Ватс и Чандра [26] северо-южная асимметрия в солнечной короне и хромосфере находятся в фазе друг с другом. Асимметрия меняет свой знак в четных и нечетных циклах солнечной активности [24,26] также, как и в представленной нами работе.

Возможно объяснить различия скоростей вращения среди различных образцов Солнца действиями различных факторов в различных слоях солнечной атмосферы. Что касается несоответствия полученных результатов для одних и тех же объектов, то это можно объяснить сложностью самого явления и, в основном, сравнительно малым различием в скоростях, а также высоким шумовым уровнем. В этой связи самым важным является использование однородных данных, полученных в течение довольно длительного периода.

Для исследования северо-южной асимметрии солнечного дифференциального вращения мы использовали однородный наблюдательный материал  $H\alpha$  волокон, полученный в Абастуманской астрофизической обсерватории и компактные магнитные особенности из атласа Макинтоша

[29]. С помощью метода статистического анализа была найдена северо-южная асимметрия солнечного вращения для  $H\alpha$  волокон и для компактных магнитных особенностей [23,24,28].

В ранних работах изучение северо-южной асимметрии было основано на статистической методологии, которая была решена в монографии Броунли [36]. Мы нашли, что статистика  $T_0$  изменяет свой знак в зависимости от солнечного цикла, и критерий Стьюдента указывает, что эти различия являются существенными. Мы также изучили временные изменения  $T_0$  статистики около солнечного максимума и минимума [23,24,28].

В данной работе мы использовали статистическую методологию и метод наименьших квадратов MATLAB "robust-fit", который менее чувствителен к большим изменениям для малого числа данных, чем стандартный метод наименьших квадратов [31].

Используя статистический анализ для двух различных объектов солнечной атмосферы, мы получили северо-южную асимметрию солнечного дифференциального вращения (табл.1). Рассматривая все результаты, полученные за последнее время о северо-южной асимметрии в скоростях вращения различных образований солнечной атмосферы, необходимо учесть их в любой теории солнечного динамо.

Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе, Грузия,  
e-mail: marina.gigolashvili@iliauni.edu.ge darejan.japaridze@iliauni.edu.ge  
tmdzinarishvili@yahoo.com

## STATISTICAL INVESTIGATION OF N-S ASYMMETRY OF THE SOLAR DIFFERENTIAL ROTATION BY VARIOUS PATTERNS DURING 1966-1985

M.Sh.GIGOLASHVILI, D.R.JAPARIDZE, T.G.MDZINARISHVILI

The temporal variation and latitudinal dependence of the solar rotation is found with the observational data of the  $H\alpha$  filaments and compact magnetic features with different polarities for solar activity cycles 20 and 21 (1966-1985). Statistical analysis of the observational data showed that North-South asymmetry in rotation rates for the  $H\alpha$  filaments, as well as for compact magnetic features exists. N-S asymmetry in differential rotation rates between  $H\alpha$  filaments and compact magnetic features with both polarities are significantly expressed during solar activity cycles 20 and 21, however for compact magnetic

features with positive polarity in the cycle 21 it is revealed less. The confidence level for compact magnetic features with positive polarity is lower than for compact magnetic features with negative polarity.

Key words: *Solar rotation: H $\alpha$  filaments: compact magnetic features*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *M.Temmer, J.Rybák, P.Bendik et al.*, *Astron. Astrophys.*, **447**, 735, 2006.
2. *H-Y.Chang*, *Astron. Space Sci.*, **24**, 261, 2007.
3. *H-Y.Chang*, *New Astron.*, **13**, 195, 2008.
4. *H-Y.Chang*, *New Astron.*, **14**, 133, 2009.
5. *K.J.Li, H.D.Chen, L.S.Zhan et al.*, *J. Geophys. Res.*, **114**, CiteID A04101, 2009.
6. *K.J.Li*, *Solar Phys.*, **255**, 169, 2009.
7. *K.J.Li, P.X.Gao, L.S.Zhan*, *Solar Phys.*, **254**, 145, 2009.
8. *K.J.Li, X.H.Liu, P.X.Gao, L.S.Zhan*, *New Astron.*, **15**, 346, 2010.
9. *K.Georgieva, B.Kirov, E.Gavruseva, J.Javaraiah*, *Proc. of the 11th European Solar Physics Meeting "The Dynamic Sun: Challenges for Theory and Observations"* (ESA SP-600). 11-16 September 2005, D.Danesy, S.Poedts, A. De Groof, J.Andries (eds), Leuven, Belgium, 156, 2005.
10. *P.I.Duchlev, V.N.Dermendjiev*, *Solar Phys.*, **168**, 205, 1996.
11. *T.Ataç, A.Özgiç*, *Solar Phys.*, **233**, 139, 2006.
12. *R.Brajša, H.Wöhl, B.Vršnak et al.*, *Solar Phys.*, **231**, 29, 2006.
13. *O.G.Badalyan, V.N.Obridko, J.Šykora*, *Solar phys.*, **247**, 379, 2008.
14. *S.Giordano, S.Mancuso*, *Astrophys. J.*, **688**, 656, 2008.
15. *Y.Liu, J.Zhao*, *Solar Phys.*, **260**, 289, 2009.
16. *K.J.Li, P.X.Gao, L.S.Zhan, X.J.Shi, W.W.Zhu*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **394**, 231, 2009.
17. *K.J.Li, H.F.Liang, W.Feng, L.S.Zhan*, *Astrophys. Space Sci. ON-line*, 2010.
18. *P.A.Gilman, R.Howard*, *Astrophys. J.*, **283**, 385, 1984.
19. *N.R.Jr.Sheeley, A.G.Nash, Y.-M.Wang*, *Astrophys. J.*, **319**, 481, 1987.
20. *E.Antonucci, J.T.Hoeksema, P.H.Scherrer*, *Astrophys. J.*, **360**, 296, 1990.
21. *J.Javaraiah, R.W.Komm*, *Solar Phys.*, **184**, 41, 1999.
22. *D.Sokoloff, H.Zhang, K.M.Kuzanyan et al.*, *Solar Phys.*, **248**, 17, 2008.
23. *M.S.Gigolashvili, T.G.Mdzinarishvili, D.R.Japaridze, B.B.Chargeishvili*, *New Astron.*, **8**, 529, 2003.
24. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili, B.B.Chargeishvili*, *Solar Phys.*, **227**, 27, 2005.
25. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, *Adv. Space Res.*, **40**, 1912, 2007.
26. *H.O.Vats, S.Chandra*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. Lett.*, **413**, L29, 2011.

27. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., 255, 203, 2009.
28. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili, B.B.Chargeishvili, V.J.Kukhianidze*, Adv. Space Res., 40, 976, 2007.
29. *P.S.McIntosh, E.C.Willock, R.J.Thompson*, Atlas of Stackplots, National Geophysical data center, USA, 1991.
30. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Sun and Geosph., 1, 31, 2006.
31. *J.L.Devore, K.N.Berk*, Modern Mathematical Statistics with Applications, Duxbury, 394, 2007.
32. *W.-B.Song, J.-X.Wang, X.Ma*, Chinese Astron. Astrophys., 29, 274, 2005.
33. *S.Chandra, H.O.Vais, K.N.Iyer*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. Lett., 400, L34, 2009.
34. *N.C.Joshi, N.S.Bankoti, S.Pande, B.Pande, K.Pandey*, Solar Phys., 260, 451, 2009.
35. *J.Sykora, J.Rybak*, Solar Phys., 261, 321, 2010.
36. *K.A.Brownlee*, Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering. John Wiley & Sons (eds), New York, 1965.