

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ПЕРЕПОЛЮСОВКИ ОБЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

М.Ш.ГИГОЛАШВИЛИ, Д.Р.ДЖАПАРИДЗЕ, Б.Б.ЧАРГЕЙШВИЛИ

Поступила 20 января 2014

Принята к печати 19 февраля 2014

Вариации солнечного дифференциального вращения были изучены в момент переполосовки общего магнитного поля Солнца для циклов солнечных активностей 20 и 21. Использовались данные $H\alpha$ волокон, полученные в Абастуманской астрофизической обсерватории и компактных магнитных образований из атласа синоптических карт. Установлено, что до и после однократной переполосовки общего магнитного поля Солнца (цикл 21) для компактных магнитных образований с полярностью околополюсного магнитного поля наблюдаются более высокие скорости вращения, чем для образований с противоположной полярностью. В случае тройной переполосовки общего магнитного поля Солнца (цикл 20) эта регулярность нарушена. Вариации скоростей вращения компактных магнитных особенностей как с отрицательными, так и с положительными полярностями, отличаются от вариаций скоростей вращения водородных волокон в момент переполосовки общего магнитного поля Солнца.

Ключевые слова: *вращение Солнца; $H\alpha$ волокна; компактные магнитные образования*

1. **Введение.** Дифференциальное вращение Солнца известно в течение многих столетий. Однако результаты, представленные различными авторами, сильно отличаются друг от друга. Полученные результаты скоростей вращения различаются не только для различных солнечных формирований, но и даже для одних и тех же объектов.

Пятна, факелы, протуберанцы и волокна использовались в качестве трассеров для изучения солнечного дифференциального вращения Солнца [1-10]. Другой класс образований - использованные для изучения солнечного дифференциального вращения Солнца магнитные образования общего магнитного поля Солнца [9-18].

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 (1966-1985).

Для исследования солнечного дифференциального вращения мы изучили

На волокна из коллекции На спектроскопических Абастуманской астрофизической обсерватории.

Были отобраны относительно устойчивые На 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, чем 3 дня, 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 [16]. Для солнечных циклов 20 и 21 мы выбрали 261 спокойное волокно и провели приблизительно 11 500 измерений. Мы получили среднегодовые значения угловых скоростей На волокон для последовательных 10° -х интервалов от $50^\circ N$ к $50^\circ S$ отдельно для северного и южного полушарий.

Используя синоптические карты атласа Макинтоша [11] 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

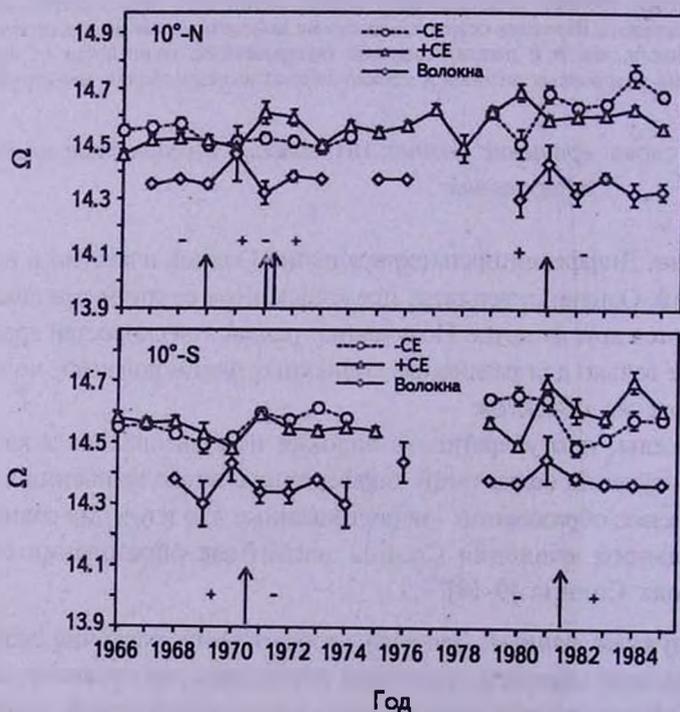


Рис.1. Временные изменения скоростей вращения На волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями для широт $\pm 10^\circ$ (для солнечных циклов 20 и 21).

образований было выполнено 1675 измерений для периода 1966-1985гг.

С целью определения скорости вращения компактных магнитных особенностей вместо обычно используемой сетки атласа Макинтоша [11], 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 [15-16]:

$$\omega(\varphi) = 1000 / (36.664 - \cot \alpha), \quad (1)$$

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

Временные изменения скоростей вращения $N\alpha$ волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями в 1966-1975гг. приведены на рис.1-5.

Из рис.1 видно, что во время исследованного периода различные образцы солнечной поверхности, $N\alpha$ волокна и компактные магнитные особенности с отрицательной и положительной полярностью, показывают различное поведение для обоих солнечных полушарий. В момент однократной переполусовки (цикл 21) компактных магнитных образований с полярностью

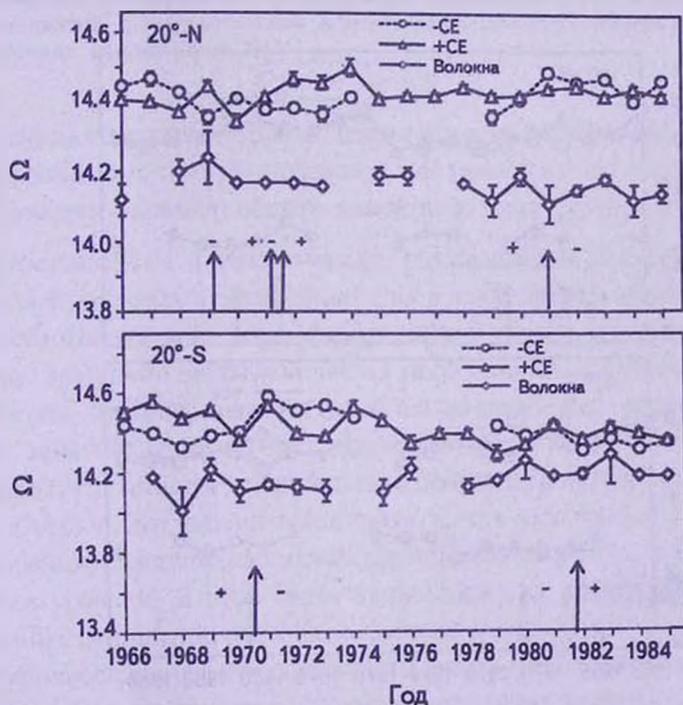


Рис.2. Временные изменения скоростей вращения $N\alpha$ волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями для широт $\pm 20^\circ$ (для солнечных циклов 20 и 21).

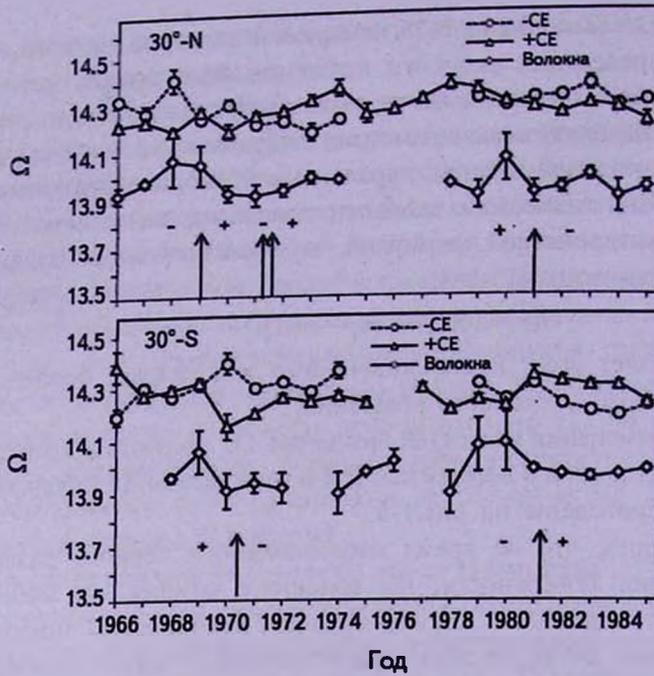


Рис.3. Временные изменения скоростей вращения Ω волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями для широт $\pm 30^\circ$ (для солнечных циклов 20 и 21).

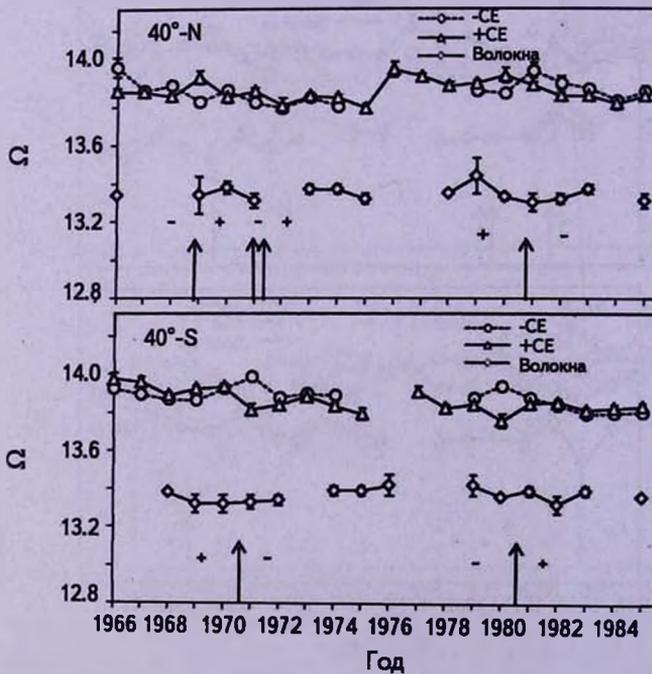


Рис.4. Временные изменения скоростей вращения Ω волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями для широт $\pm 40^\circ$ (для солнечных циклов 20 и 21).

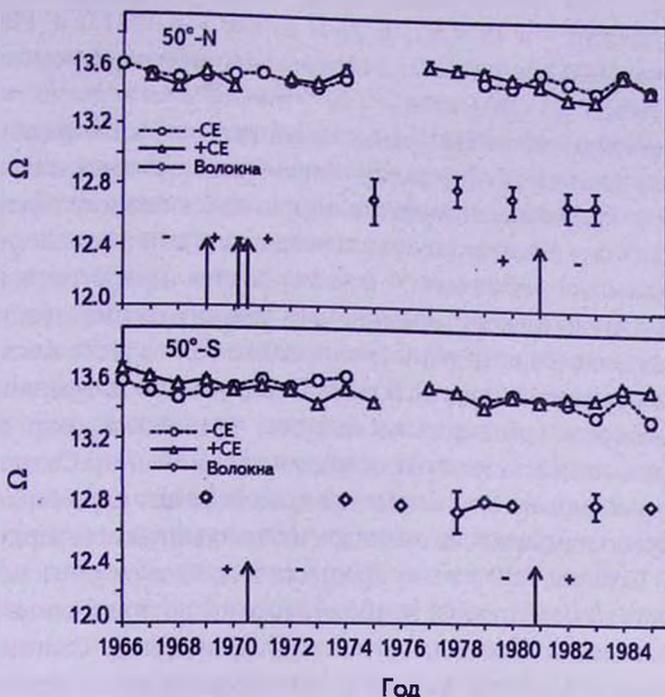


Рис.5. Временные изменения скоростей вращения v на волокон и компактных магнитных особенностей с положительной и отрицательной полярностями для широт $\pm 50^\circ$ (для солнечных циклов 20 и 21).

околополюсного магнитного поля имеют более высокие скорости вращения, чем образования с противоположной полярностью. Но в случае тройной переполюсовки (цикл 20) общего магнитного поля Солнца это нарушается.

3. Обсуждение и заключения. Исследования дифференциального вращения солнечных атмосферных слоев дают информацию о солнечной активности. Несмотря на исследования многих ученых, солнечное дифференциальное вращение все еще остается необъяснимым явлением.

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, эти различия 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.

Переполюсовка общего магнитного поля Солнца происходит во время максимума солнечного цикла. Иногда происходит тройная переполюсовка [20]. В 20-м цикле переполюсовка солнечной активности произошла в северном полушарии в 1969.7, 1971.1, 1971.5 гг. (тройная переполюсовка),

в южном полушарии - в 1970.6г.; в 21-м цикле - в 1981.0 и 1981.8гг. и в 22-м цикле - в 1990.8 и 1991.8гг., соответственно, в северном и южном полушариях Солнца [21-25].

Дифференциальное вращение Солнца играет важную роль в формировании магнитного поля Солнца. Дифференциальное вращение вовлечено в трансформацию слабого крупномасштабного магнитного поля в сильную тороидальную компоненту. Обратная трансформация же тороидальной компоненты магнитного поля в полоидальную компоненту осуществляется надфотосферными и глубинными меридиональными движениями и конвективными (грануляция и супергрануляция) движениями солнечной плазмы. Кроме этого важную роль играет внутреннее вращение солнечных недр. Поверхностное дифференциальное вращение с экватором, вращающимся быстрее, чем полюса, было известно давно, до того как гелиосейсмология открыла поведение недр Солнца. Большинство догелиосейсмологических моделей предсказывали или подразумевали постоянные скорости вращения на цилиндрических поверхностях параллельных к оси вращения Солнца. С 70-х годов прошлого века гелиосейсмология внесла значимую ясность в особенностях вращения плазмы внутри Солнца [26]. По современным данным гелиосейсмологическая картина недр Солнца такова: зона переноса лучистой энергии вращается почти твердотельно, в конвективной зоне имеет место радиальное дифференциальное движение и непосредственно под фотосферой имеется область резкого изменения, сдвига скорости вращения.

Рассмотрим результаты данной работы в свете гелиосейсмической картины Солнца и так называемой $\alpha\Omega$ Динамо модели солнечной активности. Полагая, что полученное различие частот вращения водородных волокон от компактных магнитных образований с отрицательными и положительными полярностями как на протяжении целого цикла, так и в момент переполюсовки общего магнитного поля Солнца, объясняется разными слоями обитания этих образований. Особое внимание обратим на вариации дифференциального вращения компактных магнитных образований с отрицательными и положительными полярностями. В момент однократной переполюсовки для компактных магнитных образований с полярностью околорядного магнитного поля наблюдаются более высокие скорости вращения, чем для образований с противоположной полярностью. Учитывая, что рассматриваемые образования отличаются только полярностью, можем предположить, что находясь в одной и той же широтной зоне, они обитают в одном и том же слое, вращающемся с определенной скоростью и различие их частот вращения не вызвано различием слоев их обитания. По модели Бейкока-Лейтона [27] ($\alpha\Omega$ Динамо) усиленное достаточно магнитное поле, поднимающееся из конвективной зоны в виде магнитной веревки, поворачивается под действием силы Кориолиса и близ-экваториальная нога диффундирует к экватору, а другая - меридиональным течением мигрирует к полюсу, усиливая там полярное поле во время минимума

активности, или подавляя полярность прежнего цикла при смене полярности. В нашем случае можно полагать, что компактные магнитные образования с противоположным околополюсным магнитным полем являются более старыми обитателями данного региона, реликтами предыдущего цикла и частота их вращения более приближена к той, которая соответствует данной широте, в то время как компактные магнитные структуры с новой полярностью являются новообразованными на низких широтах и таким образом сохранившими более высокие вращательные скорости. К тому же важную роль может играть то, что эти новые структуры больше сохраняют связи с подфотосферными корнями, пронизывающими скоростной сдвиговой слой, который завлекает и ускоряет их. Полученный результат является наглядным проявлением солнечной активности в действии. Полагаем, что переполусовка дала возможность для каждой широты отделить старые магнитные образования от позднее перемещенных к данной широте и тем самым установить, что новообразованные магнитные структуры несут скорости более низких широт.

Что касается тройной переполусовки общего магнитного поля Солнца, эта регулярность нарушена. По нашему мнению нарушение вызвано тем, что полярностью образования невозможно определить старые или новообразованные, ибо нет сформировавшейся регулярности биполярности всплывающих петель.

Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе,
Государственный университет им. Ильи, Тбилиси, Грузия,
e-mail: marina.gigolashvili@iliauni.edu.ge darejan.japaridze@iliauni.edu.ge
bidzina@aidio.net

STUDY OF VARIATIONS OF SOLAR DIFFERENTIAL ROTATION AT THE MOMENT OF POLARITY REVERSAL OF SOLAR MAGNETIC FIELD

M.Sh.GIGOLASHVILI, D.R.JAPARIDZE, B.B.CHARGEISHVILI

The variations of solar differential rotation have been studied at the moment of solar polarity reversal for solar activity cycles 20 and 21. Were used $H\alpha$ filaments data obtained in the Abastumani astrophysical observatory and the compact magnetic features data from the atlas of synoptic maps. It is established that before and after one-fold polarity reversal (cycle 21) of solar magnetic field for each hemisphere the compact magnetic features with the polarity of the circumpolar magnetic field have larger rotation rates than the elements with the opposite polarity. In the moment of three-fold polarity

reversal (cycle 20) this regularity is disturbed. Rotation rates variations of compact magnetic features with both negative and positive polarities are different from rotation rates variations of filaments during the moment of polarity reversal of the solar magnetic field.

Key words: *Solar rotation: На filaments: compact magnetic features*

ЛИТЕРАТУРА

1. *A.M.Newbegin, H.W.Newton*, The Observer, **54**, 20, 1931.
2. *M.D'Azambuja, L.D'Azambuja*, Ann. Obs. Paris, **6**, 1, 1948.
3. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili*, Solar Phys., **141**, 267, 1992.
4. *M.Sh.Gigolashvili, D.R.Japaridze, A.D.Pataraya, T.V.Zaqarashvili*, Solar Phys., **156**, 221, 1995.
5. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili, B.B.Chargeishvili, V.J.Kukhianidze*, Adv. Space Res., **40**, 976, 2007.
6. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., **231**, 23, 2005.
7. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, Sci. Bord., **2**, 136, 2005.
8. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, Astrophysics, **54**(4), 593, 2011.
9. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., **282**, 51, 2013.
10. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili*, Adv. Space Res., **52**, 2122, 2013.
11. *P.S.McIntosh, E.C.Willock, R.J.Thompson*, Atlas of Stackplots, National Geophysical data center, USA, 1991.
12. *C.J.Durrant, J.Turner, P.R.Wilson*, Solar Phys., **211**, 103, 2002.
13. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, Sci. Bord., **2**, 136, 2005/2006.
14. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., **282**, 51, 2013.
15. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Sun and Geosph., **1**, 31 2006.
16. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Adv. Space Res., **40**, 1912, 2007.
17. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., **255**, 203, 2009.
18. *Z.Chu, J.Zhang, Q.X.Nie, T.Li*, Solar Phys., **264**, 1, 2010.
19. *E.E.Benevolenskaya*, Astron. Nachr., **331**, 63, 2010.
20. *H.Kazuyuki*, Solar Phys., **283**, 247, 2013.
21. *M.L.DeRosa, A.S.Brun, J.T.Hoeksema*, Astrophys. J., **757**(1), article id. 96, 17, 2012.
22. *V.I.Makarov, A.G.Tlatov, D.K.Callebaut*, Solar Phys., **170**, 373, 1997.
23. *V.I.Makarov, V.V.Makarova*, Solar Phys., **163**, 267, 1996.
24. *V.I.Makarov, K.R.Sivaraman*, Solar Phys., **123**, 367, 1989.
25. *V.I.Makarov, K.R.Sivaraman*, Solar Phys., **119**, 35, 1989.
26. *H.Rachel*, Solar Phys. doi: 10.12942/Irsp-2009-1Living Rev. Solar Phys., **6**, 2009.
27. *S.Sanchez, A.Fournier, K.Pinheiro, J.Aubert*, eprint arXiv:1307.4115, 2013.