АСТРОФИЗИКА

ТОМ 63 МАЙ, 2020 ВЫПУСК 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА

Д.ДЖАПАРИДЗЕ[1,2], Г.ДУМБАДЗЕ[1], Г.РАМИШВИЛИ[1,2], Б.ЧАРГЕЙШВИЛИ[1]

Поступила 17 сентября 2019
Принята к печати 11 марта 2020

Для изучения характерных периодов дифференциального вращения Солнца были использованы данные о солнечных водородных волокнах, полученные в Абастуманской астрофизической обсерватории для циклов солнечной активности 19-22. Для скоростей дифференциального вращения водородных волокон и их числа, кроме известного 11-летнего периода солнечной активности, выявлена квазидвухлетняя периодичность, а для числа водородных волокон и квазипятилетняя периодичность.

Ключевые слова: *Водородные волокна: Квазидвухлетний период: Квазипятилетний период*

1. *Введение*. Взаимодействие между солнечным вращением, конвекцией и магнитными полями является причиной солнечной активности. Поэтому, изучение дифференциального вращения Солнца и его периодичностей является важной частью солнечной физики. Несмотря на исследования авторов [1-14], солнечное дифференциальное вращение все еще полностью не изучено.

Солнечная активность влияет на процессы, происходящие на земной поверхности. В частности активность, модулируемая квазидвухлетней осцилляцией, влияет на зональную среднюю температуру на высоких широтах в нижней стратосфере, на средних широтах в тропосфере и на давление на уровне моря вблизи полюсов. Таким образом, знание состояния Солнца и фазы квазидвухлетних осцилляций могут быть полезными в прогнозировании климата на Земле [15].

Квазидвухлетние колебания - хорошо известные вариации солнечной активности, межпланетных параметров, геомагнитных возмущений и космических лучей. Наибольшая отрицательная корреляция существует между квазидвухлетними цикличностями космических лучей и гелиосферного магнитного поля [16].

2. *Наблюдательные данные*. Для изучения характерных периодов солнечного дифференциального вращения, мы использовали однородные

данные о солнечных водородных волокнах, полученные с помощью хромосферного телескопа AFR-2 в Абастуманской Астрофизической обсерватории за 1957-1993гг. (для циклов солнечной активности 19-22). Из всех водородных волокон, наблюдавшихся за этот период, мы выбрали относительно стабильные волокна, отдельные фрагменты которых можно было идентифицировать в течение всего времени наблюдения. Выбранные водородные волокна не были связаны с активными областями. Водородные волокна, которые существовали менее трех суток, считались нестабильными и отсеивались.

Были измерены угловые скорости 716 водородных волокон и их отдельных фрагментов приблизительно в 14000 точках с 5°-ными широтными интервалами в диапазоне широт 35° N - 35° S и долготы в пределах ±60° от центрального меридиана. За этими пределами измерения не проводились, так как возникали трудности из-за неопределенности, возникающей вблизи края солнечного диска. Скорости вращения были вычислены для каждой пары последующих дней в течение всей жизни для каждого водородного волокна [17].

3. *Фурье-анализ наблюдательных данных*. Для исследования периодичностей дифференциального вращения Солнца с помощью водородных волокон был использован Фурье-анализ [18]. При применении Фурье-анализа, недостающиеся данные были заполнены усредненными за весь период наблю-

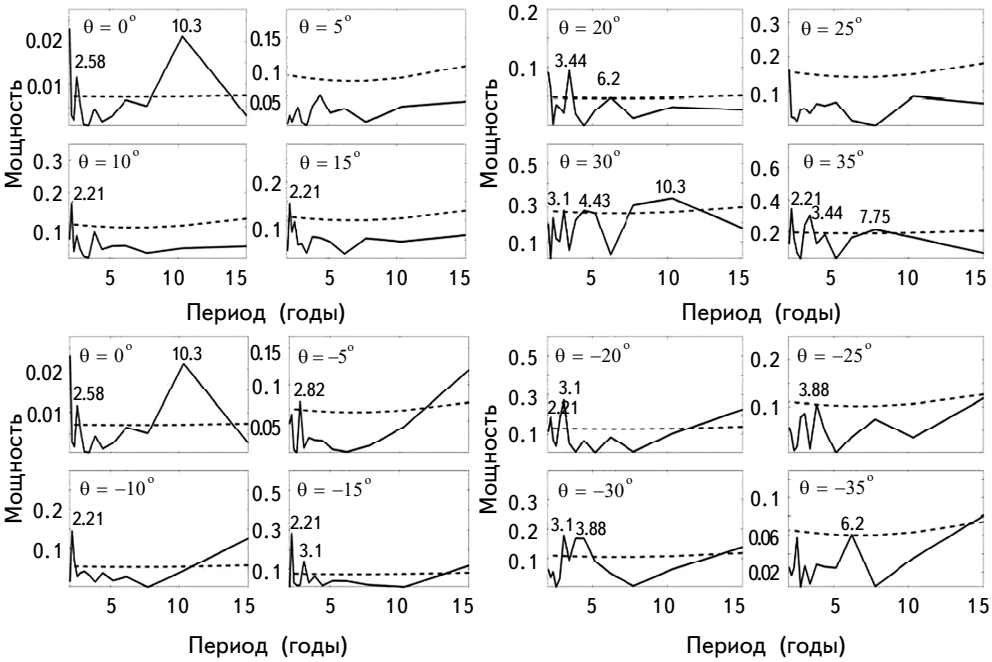

Рис.1. Результаты Фурье-анализа для скоростей дифференциального вращения водородных волокон.

дений значениями. Были вычислены периодичности как для скоростей дифференциального вращения водородных волокон, так и для их количества на разных гелиографических широтах Солнца.

Результаты, полученные с помощью Фурье-анализа, представлены на рис.1 и 2, где на горизонтальной оси нанесены периоды (в годах), на вертикальной - мощность, а θ - гелиографическая широта. Доверительный интервал 95% был рассчитан (пунктирная горизонтальная линия на рисунках) по формуле:

$$mean + t_{crit} SE ,$$

где t_{crit} - критическая величина (в нашем случае t_{crit} соответствует 3σ); SE - стандартная ошибка прогноза; $mean$ - среднее значение угловых скоростей водородных волокон и их отдельных фрагментов, а σ - средняя квадратичная ошибка обрабатываемых данных на заданной широте Солнца.

Как видно из рис.1, для скоростей дифференциального вращения водородных волокон, кроме известного 11-летнего периода солнечной активности (в диапазоне 10.3 года), выявлена квазидвухлетняя периодичность (в диапазоне от 2.21 до 3.44 лет) на всех гелиографических широтах, кроме 35° южного и 5° и 25° северного полушарий Солнца.

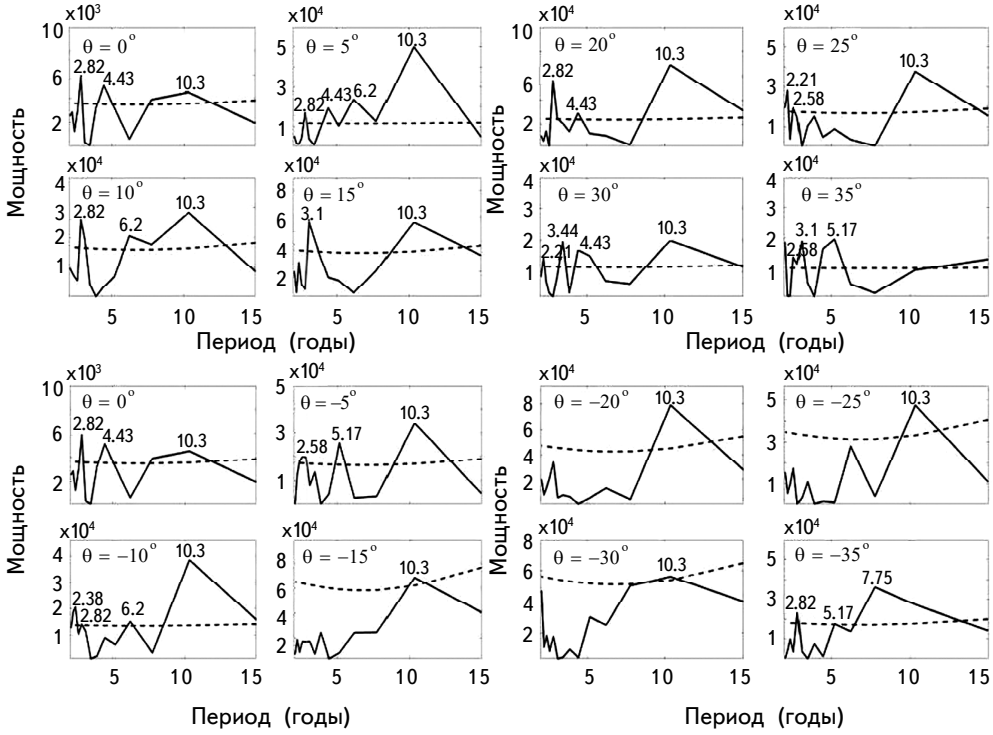

Рис.2. Результаты Фурье-анализа для числа водородных волокон.

Как видно из рис.2, для числа водородных волокон, кроме известного 11-летнего периода солнечной активности (в диапазоне 10.3 года), выявлены квазидвухлетняя периодичность (в диапазоне от 2.21 до 3.44 лет) для широт 5°-10° и 35° южного и для всех широт 0°-35° северного полушарий Солнца и квазипятилетняя периодичность (в диапазоне от 5.17 до 6.2 лет) для широт 0°-10° и 35° для южного и северного полушарий Солнца.

4. *Обсуждение и заключение*. Применив вейвлет-преобразование данных суточного радиопотока на 10.7 см, охватывающего период с 1947 по 2014гг., получено существование периодов около 2.1, 3.0, 4.5, 6.6, 8.6 и 10.3 года во вращении короны. Установлено, что периоды вращения изменяются в зависимости от фазы солнечного цикла и они относительно длиннее во время минимума солнечного цикла [19].

Применив однородные данные солнечных водородных волокон, для циклов солнечной активности 19-22, как для скоростей дифференциального вращения водородных волокон, так и для их количества на разных гелиографических широтах Солнца, нами получен период 10.3 года для обоих полушарий Солнца. Кроме этого, для числа водородных волокон обнаружена квазипятилетняя периодичность для широт 0°-10° и 35° южного и северного полушарий Солнца.

Применив метод спектрального анализа, в направлении оси вращения Земли относительно мантии, были обнаружены две компоненты с периодами 11 и 5.5 лет, несомненно связанные с солнечной активностью. Авторы это интерпретируют как результат обмена кинетическим угловым моментом между атмосферой, где из-за солнечной активности может быть сгенерирован поток, и мантией [20].

Для скоростей дифференциального вращения водородных волокон и их количества на разных гелиографических широтах Солнца также получена квазидвухлетняя периодичность. Для скоростей дифференциального вращения водородных волокон на всех широтах, кроме 35° южного и 5° и 25° северного полушарий Солнца и для числа водородных волокон, для широт 5°-10° и 35° южного и для всех широт 0°-35° северного полушарий Солнца.

Используя этот же наблюдательный материал за 1957-1993гг., вблизи момента переполюсовки общего магнитного поля Солнца ранее было обнаружено распространение квазидвухлетнего импульса остаточных скоростей от более высоких широт к экватору в обоих полушариях почти одновременно [21-23].

Кроме 11-летнего цикла, многими авторами получен квазидвухлетний период во многих индексах как на солнечной поверхности и под ней, так и в гелиосфере и земной атмосфере. В солнечной активности наиболее отчетливо выделяется период квазидвухлетних колебаний в диапазоне от 1.5

до 3.5 лет [24-27].

Для изучения периодических изменений крупномасштабного поля Солнца, используя данные солнечного магнитного поля, квазипериодические колебания с периодом 1.3 года были обнаружены на Солнце в течение 8 циклов. Колебания с периодом 1.3 года тесно связаны с квазидвухлетними колебаниями, но иногда они происходят в противофазе [28]. Сигнал с квазидвухлетним периодом наблюдался в колебаниях тахоклина [29-30].

Существование квазидвухлетней периодичности было отмечено как в потоке солнечных нейтрино, так и в числе солнечных пятен [31].

Квазидвухлетние периодичности обнаружены в различных гелиосферных параметрах, таких как скорость солнечного ветра, межпланетное магнитное поле, космические лучи и геомагнитная активность [32], а также в общем содержании озона в земной атмосфере [33-34].

Используя показатели солнечной активности, такие как площади солнечных пятен и корональная эмиссия зеленой линии в период 1974-2001гг., получено, что квазидвухлетняя периодичность является фундаментальной модой солнечной активности [27].

Работа была поддержана Национальным научным фондом им. Шота Руставели грантами № DI-2016-52 и PhDF2016_177.

[1] Абастуманская астрофизическая обсерватория,
e-mail: darejan.japaridze@iliauni.edu.ge
[2] Государственный университет им. Илии, Грузия

STUDY OF THE PERIODICITY OF THE DIFFERENTIAL ROTATION OF THE SUN

D.JAPARIDZE[1,2], G.DUMBADZE[1], G.RAMISHVILI[1,2], B.CHARGEISHVILI[1]

The periodicity of the differential rotation of the Sun was studied using the data of solar hydrogen filaments obtained at the Abastuman Astrophysical Observatory for solar activity cycles 19-22. For hydrogen filaments rotation rates and their number, in addition to the known 11-year period of solar activity, a quasi-biennial periodicity was revealed, and for the number of hydrogen filaments, the quasi-five-year periodicity found also.

Keywords: *Hydrogen filaments: Quazi-biennial periodisity: Quazi-five-year periodisity*

ЛИТЕРАТУРА

1. *C.Scheiner*, Rosa Ursini sive solis: Book 4, part 2, 1630.
2. *H.W.Newton*, *M.L.Nunn*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **111**, 413, 1951.
3. *R.Howard*, Astrophys. J., **210**, L159, 1976.
4. *R.Brajša*, *H.Wöhl*, *B.Vršnak et al.*, Solar Phys., **206**, 229, 2002.
5. *L.D'Azambuja*, *M.D'Azambuja*, Ann. Obs. Paris, **6**, 1, 1948.
6. *M.Stix*, The Sun's Differential Rotation, in: G.Klarc, (Ed.), Rev. Modern Astron., **2**, 248, 1989.
7. *D.Glackin*, Solar Phys., **36**, 51, 1974.
8. *M.Sh.Gigolashvili*, *D.R.Japaridze*, *T.G.Mdzinarishvili et al.*, Solar Phys., **227**, 27, 2005.
9. *R.Brajša*, *V.Ruzdjak*, *B.Vršnak et al.*, Solar Phys., **171**, 1, 1997.
10. *J.Javaraiah*, Solar Phys., **212**, 23, 2003.
11. *М.Гиголашвили*, *Д.Джапаридзе*, *Т.Мдзинаришвили*, Астрофизика, **54**, 653, 2011, (Astrophysics, **54**, 593, 2011).
12. *J.Javaraiah*, *L.Bertello*, Solar Phys., **291**, 3485, 2016.
13. *Д.Р.Джапаридзе*, *Б.Б.Чаргейшвили*, Астрофизика, **59**, 437, 2016, (Astrophysics, **59**, 389, 2016).
14. *I.P.Beljan*, *R.Jurdana-Šepić*, *R.Brajša et al.*, Astron. Astrophys., **606**, 72, 2017.
15. *I.Roy*, *J.D.Haigh*, Atmospheric Chemistry and Phys., **11**, 11679, 2011.
16. *G.A.Bazilevskaya*, *M.S.Kalinin*, *M.B.Krainev et al.*, Journal of Physics: Conference Series, **632**, 1, 2015.
17. *D.R.Japaridze*, *M.Sh.Gigolashvili*, Solar Phys., **141**, 267, 1992.
18. *P.L.Walker*, The Theory of Fourier Series and Integrals. John Wiley & Sons, Chichester, 192, 1968.
19. *J.L.Xie*, *X.J.Shi*, *J.Zhang*, Astrophys. J., **153**, 9, 2017.
20. *F.Lopes*, *J.-L. Le Mouël*, *D.Gibert*, Comptes rendus - Geoscience, **349**, 159, 2017.
21. *M.Sh.Gigolashvili*, *D.R.Japaridze*, *A.D.Pataraya*, Solar Phys., **156**, 221, 1995.
22. *M.Sh.Gigolashvili*, *D.R.Japaridze*, *A.D.Pataraya et al.*, J. of the Georgian Phys. Soc., **3**, 46, 1996.
23. *M.Gigolashvili*, *D.Japaridze*, *V.Kukhianidze*, Solar Phys., **231**, 23, 2005.
24. *G.A.Bazilevskaya*, *M.B.Krainev*, *V.S.Makhmutov et al.*, Solar Phys., **197**, 157, 2000.
25. *A.Vecchio*, *V.Carbone*, Astrophys. J., **683**, 536, 2008.
26. *J.F.Valdés-Galicia*, *V.M.Velasco*, Adv. in Space Res., **41**, 297, 2008.
27. *A.Vecchio*, *M.Laurenza*, *V.Carbone et al.*, Astrophys. J., **709**, L1, 2010.
28. *V.N.Obridko*, *B.D.Shelting*, Adv. in Space Res., **40**, 1006, 2007.
29. *R.Howe*, *J.Christensen-Dalsgaard*, *F.Hill et al.*, Science, **287**, 2456, 2000.
30. *R.Howe*, *J.Christensen-Dalsgaard*, *F.Hill et al.*, Adv. in Space Res., **40**, 915, 2007.
31. *K.Sakurai*, Nature, **278**, 146, 1979.
32. *K.Mursula*, *B.Zieger*, *J.H.Vilppola*, Solar Phys., **212**, 201, 2003.
33. *M.Shiotani*, J. Geophys. Res.: Atmospheres, **97**, 7625, 1992.
34. *X.Jiang*, *C.D.Camp*, *R.Shia et al.*, J. Geophys. Res.: Atmospheres, **109**, D16, 2004.