ВРАЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ РАДИО И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ПРОТЯЖЕНИИ 22–24 ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Дмитриев П.Б.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

ROTATION OF THE SOLAR CORONA BY OBSERVING RADIO AND X-RAY SUN RADIATION OVER 22-24 SOLAR ACTIVITY CYCLES

Dmitriev P.B.

Ioffe Institute, 194021, Russia, St. Petersburg

The Sun's radio and X-ray flux over the last three cycles of solar activity were investigated for the presence of quasi-periodic oscillations using the method of constructing a combined spectral periodogram. Some of revealed quasi-periods can be explained by the Sun's own rotation, while the rest may reflect the average "life" times of the active formations of the solar atmosphere. Particular attention was paid to the study of the temporal change in the values of the revealed quasi-periods during solar cycles by constructing a sample estimate of the normalized spectral density of the data under study in a sliding time window of up to two years. Based on experimental data, it is shown that differential rotation of the solar corona is possible.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-93-96

Введение

Благодаря систематическим радиоастрономическим и внеатмосферным (спутники серии «GOES») измерениям солнечного излучения появилась возможность ввести два новых индекса солнечной активности (СА). Один из них – это интегрированное радио излучение (РДИ) от солнечного диска на частоте 2800 МГц (длине волны 10.7 см), которое измеряется в солнечных единицах потока ($10^{-22} \cdot \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$), другой – поток мягкого рентгеновского излучения (МРИ) от полного диска Солнца, измеряемого в интервале длин волн 0.1–0.8 нм, значение которого ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$) логарифмируется. В радиоизлучении Солнца в течение цикла СА выделяются три составляющих: постоянная («спокойная»), обусловленная тепловым излучением короны и хромосферы, переменная – от корональных конденсаций (уплотнений над большими группами солнечных пятен) и кратковременные всплески длительностью от секунд до нескольких часов, которые связаны со вспышками в хромосфере [1]. В свою очередь МРИ исходит от «ярких» (горячих) петель магнитных активных областей, которые заполнены горячей плазмой, являющейся источником «квазитеплого» рентгеновского излучения, которое формирует медленно меняющуюся «фоновую» составляющую МРИ Солнца [2, 3], и от скоротечных во времени (минуты, часы) солнечных вспышек, которые происходят в этих магнит-

ных структурах и дают резкое увеличение потока МРИ, превышающее на несколько порядков «фоновое» [4]. Поэтому оба этих индекса, отражающих интенсивность образования в атмосфере Солнца активных магнитных областей и их эволюцию, можно использовать для исследования закономерностей физических свойств солнечной хромосферы и короны.

Исходные данные и метод их обработки

Для изучения спектрально-временной структуры солнечного излучения в радио и рентгеновском диапазонах длин волн в течение 22–24 циклов СА использовались посуточные данные потока РДИ с длиной волны 10.7 см ($10^{-22} \cdot \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$) [5] и посуточные данные потока МРИ в диапазоне длин волн 0.1–0.8 нм ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$) десяти спутников серии «GOES» (Geosynchronous Operational Environmental Satellites) [6] от полного диска Солнца. Выявление скрытых периодичностей в среднесуточных рядах данных было выполнено при помощи комбинированной спектральной периодограммы [7, 8], представляющей собой синтез периодограмм анализа [9] и спектрального анализа [10].

Результаты обработки

Результаты обработки среднесуточных данных РДИ и МРИ от полного диска Солнца для последних трех циклов СА приведены в таблице и на рисунке.

Таблица. Значения выявленных квазипериодов (день) для 22–24 циклов СА.

22 цикл СА		23 цикл СА		24 цикл СА	
РДИ	МРИ	РДИ	МРИ	РДИ	МРИ
9	5		5, 9		
18	16	12	18	12	15
		21	20	20	20
24, 26	23	26	26	23, 26	24, 27
29	31	35	30	32	33
36, 41, 49	43	45	40, 45	44	42
54	54, 58	52	52, 56	53	53, 59
	65	67	63, 67	60	
72, 75	73	73	77		70, 75
86	82	86, 94	86, 95	99	88, 99
106	106	113	112		119
	135	133	135		145
155, 180		159	158	185	169
	220, 275	265, 295	202, 230	220, 260	265
1.14 лет	1.82 года	1.51 года	0.97 года	1.12 лет	1,34 года

Обнаруженные значения квазипериодов могут быть интерпретированы как результат дифференциального вращения хромосферы и короны

Рисунок. Выборочная оценка нормированной спектральной плотности, построенная в "скользящем временном окне" величиной 731 день: а, б, в – потока радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц; г, д, е – потока мягкого рентгеновского излучения Солнца (0.1–0.8 нм) для трех циклов СА. По оси абсцисс отложены значения пробного периода, по оси ординат – относительные дни, отсчитываемые от даты начала каждого цикла: для 22 цикла от 01.09.1986 (а, г), для 23 – от 01.05.1996 (б, д) и для 24 – от 01.01.2009 для радио данных (в) и от 26.11.2009 для рентгеновского излучения (е). На рисунках а и г 22 цикла СА можно отметить общую тенденцию смещения зон активности к экватору, т.е. к области большей скорости дифференциального вращения источников вспышечной активности. Для циклов 23 и 24 эта тенденция носит эпизодический характер.

Солнца и расположения источников излучения в хромосфере на высотах от 5000 до 11000 км или в короне на высотах от 40000 до 60000 км над уровнем фотосферы [11–14]; и как результат эволюции солнечных активных образований [15]: 6 суток – среднее время «жизни» обычной группы пятен, 45 суток – больших групп пятен, 15 суток – обычной факельной площадки. Квазипериоды величиной до нескольких месяцев можно рассматривать как результат существования долгоживущих активных образований (58 суток – время «жизни» спокойного протуберанца, 82 дня – больших групп факельных площадок).

Заключение

На основе измерений среднесуточных потоков радио (10.7 см) и мягкого рентгеновского излучения (0.1–0.8 нм) от всего диска Солнца в течение 22–24 циклов СА при помощи модифицированного метода спектрального анализа (метода построения комбинированной спектральной периодограммы) в исследуемых рядах данных были выявлены квазипериодические компоненты с периодами от нескольких дней до полутора лет, которые отражают эволюцию активных образований хромосферы и короны Солнца и их «характерные времена жизни» на протяжении 22–24 циклов СА.

На основе экспериментальных данных показано, что возможно дифференциальное вращение солнечной хромосферы и короны.

Литература

1. Фоккер А.Д. Солнечное радиоизлучение. В кн: Солнечная и солнечно-земная физика. Под ред.: Бруцека А. и Дюрана Ш. – М.: Мир. 1980. 254 с. Глава 11. С.108.
2. Hara H., Tsuneta S., Lemen J.R. et al. // Publ. Astron. Soc. Japan. 1992. V.44. P. L135.
3. Tobishka W.K. // Solar Phys. 1994. V. 152. P. 207.
4. Aschanden M.J. // Solar Phys. 1994. V.152. P.53.
5. <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/>
6. <ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/lists/xray/>
7. Tyasto M.I., Dmitriev P.B., Dergachev V.A. // Advances in Space Res. 2020. V.66. P. 2476.
8. Драневич В.А., Дмитриев П.Б., Гнедин Ю.Н. // Астрофизика. 2009. Т. 52. С. 591.
9. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. 244 с.
10. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1972. Вып. 2. 287 с.
11. Ternullo M. // Solar Phys. 1986. V. 105. P. 197.
12. Donahue R.A., Keil S.L. // Solar Phys. 1995. V. 159. P. 53.
13. Vats H.O., Cecatto J.R., Mehta M., et al. // Astrophys. J. 2001. V. 548. P. L87.
14. Vats H.O., Deshpande M.R., Shah C.R., et al. // Solar Phys. 1998. V. 181. P. 351.
15. Аллен К.У. Астрофизические величины. – М.: Мир, 1977. 446 с.