ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ПРОТЯЖЕНИИ 22–24 ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Дмитриев П.Б.

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

TEMPORAL STRUCTURE OF THE SOFT X-RAY RADIATION OF THE SUN OVER 22–24 CYCLES OF SOLAR ACTIVITY

Dmitriev P.B.

Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

Based on the developed method of combining numerous scattered time series of the same type of measurements into a single weighted average series, according to the data of the GOES satellites, a single series of daily data was synthesized over the past three solar cycles.

From this series of data, the “flare” and “background” components were distinguished, which were investigated using the method of constructing a combined spectral periodogram for the presence of quasiperiodic oscillations at various solar cycles. Some of the values of the revealed quasiperiods can be explained by both the synodic and sidereal rotation of the Sun, and the rest reflect the average times of the “life” of active formations of the solar atmosphere (groups of sunspots, flare sites, etc.).

Based on experimental data, it is shown that differential rotation of the solar corona is possible.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-149-152

Введение

Уже первые изображения Солнца, полученные спутником Yohkoh в диапазоне мягкого рентгеновского излучения (МРИ) показали, что МРИ исходит от «горячих» петель магнитных активных областей, основы которых уходят под фотосферу, а вершины расположены в короне [1]. «Горячая» плазма, которой наполнены магнитные петли, является источником «квазитеплого» рентгеновского излучения, которое формирует медленно меняющуюся «фоновую» составляющую МРИ Солнца, в то же время в этих структурах происходят солнечные вспышки, которые характеризуются резким увеличением потока МРИ на несколько порядков превышающем «фоновое» излучение, и отличающееся от него скоротечностью во времени (минуты, часы) [2]. Поэтому МРИ можно использовать в качестве индикатора солнечной активности (СА) [3]: «фоновая» составляющая отражает интенсивность образования в атмосфере Солнца активных магнитных областей, а «вспышечная» – их эволюцию.

Исходные данные и методы их обработки

Для изучения СА в диапазоне длин волн МРИ во время 22–24 циклов СА использовались данные десяти спутников серии GOES: посуточный и почасовой поток МРИ ($1\text{--}8\text{\AA}$, Вт·м⁻²) от всего диска Солнца. Обработка данных осуществлялась в следующей последовательности.

Сначала на каждую дату общего промежутка времени функционирования всех десяти спутников, те из измерений каждого спутника, которые существуют для этой даты, «усредняются» как неравнооточный ряд измерений с заданными весами измерений [4]. В результате на каждую дату из общего интервала времени измерений всех спутников вычисляется одно значение средневзвешенного ряда измерений. Затем для потока МРИ были определены среднесуточные значения «фоновой» составляющей путем выбора минимального из среднечасовых значений МРИ в каждых сутках. «Вспышечная» составляющая МРИ была получена вычитанием «фоновой» из среднесуточных значений МРИ. И в заключение, осуществлялось выявление скрытых периодичностей в среднесуточных рядах «фоновой» и «вспышечной» составляющих при помощи комбинированной спектральной периодограммы [5, 6], представляющей собой синтез периодограмм-анализа [7] и классического спектрального анализа [8].

Результаты обработки

Результаты обработки «фоновой» (ФРИ) и «вспышечной» (ВРИ) компонентов МРИ ($1\text{--}8\text{\AA}$) для последних трех циклов солнечной активности 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	
ФРИ	ВРИ	ФРИ	ВРИ	ФРИ	ВРИ
	5	7	5	9	9
14	16	15		13	15
		20	18	20	20
24	23	26	26	26	24
29	30	36	30	32	33
49	43	45	40, 45	44	42, 48
54	54, 58	52	52, 56	53	53
	65	63	63, 67	60	59, 62
75	73	73	77		70, 75
80	82	86	86	82	88
106	105	111	112	120	119
	135	135	136	145	145
159	162	156	157	168	169
181, 254	209, 285	201, 276	202, 229	212, 267	267, 319
1.01 года		0.92 года	1.04 года	1.03 года	1,33 года

Рисунок. Выборочная оценка нормированной спектральной плотности, построенная в "скользящем временном окне" величиной 1000 дней, для «фонового» (а, в, д) и «вспышечного» (б, г, е) компонентов мягкого рентгеновского излучения Солнца трех циклов СА. По оси абсцисс отложены значения пробного периода, по оси ординат - дни, отсчитываемые от даты начала каждого цикла: для 22 цикла от 01.04.1987 (а, б), для 23 – от 01.08.1997 (в, г), для 24 – от 16.11.2009 (д, е). На рисунках б, г, е ясно видно смещение зоны вспышечной активности к экватору, т.е. к области большей скорости дифференциального вращения источников вспышечной активности.

Обнаруженные значения квазипериодов могут быть интерпретированы как результат дифференциального вращения Солнца и расположения источника излучения в хромосфере на высоте 5000–11000 км или в короне на высоте 40000–60000 км над уровнем фотосферы [9–12]; и как результат эволюции солнечных активных образований [13] (6 суток – среднее время «жизни» обычной группы пятен, 45 суток – больших групп пятен, 15 – суток – обычной факельной площадки). Квазипериоды величиной до несколько месяцев можно рассматривать как результат существования долгоживущих активных образований (58 суток – время «жизни» спокойного протуберанца, 82 дня – больших групп факельных площадок).

Заключение

В работе применен разработанный метод объединения разрозненных однотипных измерений в единый ряд, который сохраняет основные средние статистические и физические характеристики первоначальных исходных измерений. Метод основан на принципе обработки неравноточных временных рядов с заданными весами измерений.

На основе измерений потока мягкого рентгеновского излучения от всего диска Солнца в диапазоне 1–8 Å десятью спутниками серии GOES синтезирован средневзвешенный ряд мягкого рентгеновского излучения в течение 22–24 циклов солнечной активности (с 1986 по 2019 год).

При помощи модифицированного метода спектрального анализа в синтезированном ряде данных были выявлены квазипериодические компоненты с периодами от нескольких дней до полутора лет, которые отражают «характерные времена жизни» солнечных активных образований 22–24 циклов.

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

Литература

1. Hara H., Tsuneta S., Lemen J.R. et al. // Publ. Astron. Soc. Japan. 1992. V.44. P.L135.
2. Aschanden M.J. // Solar Phys. 1994. V.152. P.53.
3. Дмитриев П.Б., Милецкий Е.В. // Солнечно-земная физика. 2002. Вып.2 (115). С.16.
4. Агекян Т.А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. – М.: Наука, 1974. 264 с.
5. Dergachev V.A., Tyasto M.I., Dmitriev P.B. // Advances in Space Res. 2016. V.57. P.1118.
6. Драневич В.А., Дмитриев П.Б., Гнедин Ю.Н. // Астрофизика. 2009. Т. 52. №4. С. 591.
7. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. 244 с.
8. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1972. Вып.2. 287с.
9. Ternullo M. // Solar Phys. 1986. V. 105. P. 197.
10. Donahue R.A., Keil S.L. // Solar Phys. 1995. V. 159. P. 53.
11. Vats H.O., Cecatto J.R., Mehta M., et al. // Astrophys. J. 2001. V. 548. P. L87.
12. Vats H.O., Deshpande M.R., Shah C.R., et al. // Solar Phys. 1998. V. 181. P. 351.
13. Аллен К.У. Астрофизические величины. – М.: Мир, 1977. 446 с.