

УДК 523.985-735/75

Л. А. Акимов, И. Л. Белкина, Т. П. Бушуева

Научно-исследовательский институт астрономии  
Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина  
61022 Харьков, ул. Сумская, 35

### **Солнечная активность в 21—23-м циклах по наблюдениям в рентгеновском и оптическом диапазонах**

*Приведены дальнейшие результаты расчетов вспышечного индекса в рентгеновском диапазоне (XFI) и анализа его поведения в 21—23-м солнечных циклах по сравнению с индексом числа рентгеновских всплесков  $N_x$  и индексом относительного числа солнечных пятен  $W$ . Показано, что функция корреляции между индексами  $W$  и XFI почти симметрична для солнечного цикла 22. Для циклов 21 и 23 она асимметрична, что свидетельствует о запаздывании выделения энергии рентгеновских вспышек по сравнению с пятенной активностью на 10 месяцев или более. В спектрах мощности временных рядов XFI,  $N_x$  и  $W$  для 21-го и 23-го циклов обнаруживается статистически достоверный максимум, соответствующий периодичности 150 сут, в спектрах мощности  $N_x$ , относящихся к минимумам 21-го и 22-го циклов, доминируют максимумы с периодами 225, 88 и 53 сут.*

**СОНЯЧНА АКТИВНІСТЬ У 21—23-МУ ЦИКЛАХ ЗА СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ В РЕНТГЕНІВСЬКОМУ ТА ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНАХ**, Акімов Л. О., Белкіна І. Л., Бушуєва Т. П. — Приведені результати розрахунків спалахового індексу у рентгенівському діапазоні (XFI) та аналізу його поведінки протягом 21—23-го циклів у порівнянні з індексом числа рентгенівських сплесків  $N_x$  та індексом відносного числа сонячних плям  $W$ . Показано, що кореляційна функція між індексами  $W$  та XFI є майже симетричною для циклу 22, а для циклів 21 та 23 асиметрія цієї функції є свідомством запізнення виділення енергії рентгенівських спалахів у порівнянні з  $W$  приблизно на 10 місяців чи більше. Вивчена періодичність часових рядів XFI,  $N_x$  та  $W$ . Показано, що статистично достовірний максимум, що відповідає періоду 150 діб, має складну структуру і є присутнім у спектрах потужності усіх індексів, що досліджувалися, у 21 та 23 циклах, але відсутній у 22 циклі. У спектрах потужності  $N_x$  для мінімумів 21 та 22 циклів домінують максимуми з періодами 225, 88 та 53 діб.

**SOLAR ACTIVITY DURING THE CYCLES 21—23 FROM X-RAY AND OPTICAL OBSERVATIONS**, by Akimov L. O., Belkina I. L., Bushueva T. P. — Our results of further calculations of the daily X-ray flare index (XFI) are presented, as well as the analysis of behaviour of XFI during the solar cycles 21—23, in comparison with the index of daily numbers of X-ray flares

$N_x$ , and with Wolf's numbers  $W$ . The cross correlation function of the  $W$  and XFI indices is shown to be nearly symmetric for the solar cycle 22, while for the solar cycles 21 and 23, asymmetry of the cross correlation function indicates that there is a time lag of the X-ray flare activity with respect to the sunspot activity, with a characteristic value of about  $T = 10$  months. Power spectra of the XFI,  $W$ , and  $N_x$  time series are studied. A statistically significant maximum corresponding to a period of about 150 days is found to have a complicated shape. The maximum is observed in the power spectra of all the three indices for the solar cycles 21 and 23, but it is not detected for the cycle 22. In the power spectra of  $N_x$  related to the minima of the solar cycles 21 and 22, the peaks corresponding to periods of about 225, 88, and 53 days dominate.

#### ВВЕДЕНИЕ

Для исследования закономерностей вспышечной активности Солнца и ее циклических изменений необходимы данные за многие десятилетия. Хотя наблюдения вспышек по программам международной Службы Солнца в линии  $H_\alpha$  охватывают уже более 60 лет, они очень неоднородны и имеют большую скважность. Только для последних трех солнечных циклов по одной методике получены достаточно однородные ряды [5] вспышечного индекса в линии  $H_\alpha$ , которые могут быть использованы для статистических исследований. В работе [1] по данным КА GOES мы рассчитали и изучили поведение временного ряда (примерно 16.5 лет) ежедневных значений вспышечного индекса XFI в диапазоне мягкого рентгена  $\lambda\lambda = 0.1\text{--}0.8$  нм. В данной работе мы продлили ряд в обе стороны и использовали его для анализа вспышечной активности Солнца примерно за три цикла. Индекс XFI является энергетическим индексом, поэтому временной ряд XFI может быть полезным как для исследования закономерностей возникновения рентгеновских вспышек, так и для различных исследований в области солнечно-земных связей. С точки зрения солнечной физики не меньший интерес может представлять поведение частотного индекса вспышечной активности Солнца в диапазоне мягкого рентгена, а именно ежедневного индекса числа рентгеновских вспышек  $N_x$ . Циклические закономерности возникновения рентгеновских вспышек к настоящему времени вообще не изучались. В этой работе мы изучаем поведение временных рядов вспышечных индексов XFI и  $N_x$  примерно за три цикла в сравнении с другими индексами солнечной активности.

#### АКТИВНОСТЬ СОЛНЦА В 21—23-М ЦИКЛАХ ПО ВСПЫШЕЧНЫМ ИНДЕКСАМ

Расчеты ежедневных значений индекса XFI проводились по формуле

$$XFI = \sum_n 0.5(F_n \Delta T_n),$$

где  $F_n$  — максимальный поток рентгеновского излучения от каждой из вспышек через сечение  $1 \text{ м}^2$  на орбите Земли,  $\Delta T_n$  — общая продолжительность рентгеновской вспышки в секундах. Значения  $F_n$  и  $\Delta T_n$  взяты на интернет-сайте <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>. К настоящему времени полный ряд ежедневных значений индекса XFI охватывает 23.5 года с 1 января 1981 г. по 30 июня 2004 г. В табл. 1 приведены среднемесячные значения индекса XFI за этот период, охватывающий послемаксимальную ветвь 21-го, 22-й и текущий 23-й солнечные циклы. Ежедневные значения индекса XFI мы разместили на сайте НДИА ХНУ

Среднемесячные значения  $XFI \cdot 10^4$ , Дж/м<sup>2</sup> за период с 01.01.1981 г. по 30.06.2004 г.

Год	Месяц												XFI <sub>y</sub>
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1981	394.3	1593.1	674.8	4601.5	724.9	459	357	354.9	336.2	1320.6	685.4	448.2	995.8
1982	610.1	2538.9	1172.3	348.5	453.8	7594	4036.7	413.3	478.7	283.5	1174.6	6045.9	2095.9
1983	80	906.4	136.1	198.9	1415.6	694.8	183.8	389.6	51.1	213.1	75.3	65.9	367.6
1984	146.3	742.8	246.1	2265.6	2026	31.6	36.2	18.6	8.3	1.4	75	6.6	467
1985	903.2	11	2.8	216.6	81.3	9.1	99.3	1.7	2.3	30.3	2.2	6.8	113.9
1986	23.3	632.9	28.5	8.7	12.8	0.1	9.5	0.3	1.2	80.1	8.3	1.4	67.3
1987	2.7	2.7	9.3	50.5	48.7	6.7	41.4	92.4	33.8	42.1	115.3	53.3	41.6
1988	316.2	23.3	317.9	253.4	222.7	1463.9	213	150.9	240.1	460.3	711.8	1209.6	465.2
1989	3218.9	1468.9	6646.1	650.3	1403.3	2799.4	291.3	3240.4	3654.5	10344.4	3341.1	1030.7	3174.1
1990	527.2	241.4	664.5	829.1	2325.2	588.5	371	856.6	289.4	277.8	494.4	1048.7	707.8
1991	1334	860.9	4164.4	894.3	1388.2	11972.5	1356.7	1145.4	867.8	2431.5	663.5	1621.3	2391.7
1992	744.5	1862.9	338	234	257.6	898.3	361.2	290.7	613.8	866.1	717.8	110.6	608
1993	63	442.5	431.3	148.2	193.8	417.7	90.4	34.4	53.3	72.3	58.6	143.3	179.1
1994	190	84	29.3	6	2.8	19.1	12.3	200.3	27.4	41.1	6.2	20.7	53.3
1995	22.7	70.3	28.6	33.4	10.6	4.3	3.3	2.4	3.8	40	4.2	0.2	18.7
1996	0.4	0.1	0.6	5.4	1.9	0.3	125.1	1.6	0	2.4	20.2	7.1	13.8
1997	0.2	1.2	0.4	11.5	11.6	0	0.8	17.9	67.6	9.9	349.7	33.9	42.1
1998	0.4	12.1	127.5	219.8	282.6	75.9	66.1	409	129.1	50.1	688.1	166.3	185.6
1999	211.8	134.9	96	49.8	544.6	217.4	284.1	413.3	76.2	158.1	448.4	96.2	227.6
2000	114.7	189.7	395.5	146.1	248.6	467.6	829.5	89.6	257.3	244.1	642.1	144.3	314.1
2001	145.6	58.3	369.7	2103.2	162.4	232.6	42.5	458.1	766.3	763.3	658.5	958.7	559.9
2002	329.9	250.3	261.2	464.5	235.1	64.6	735.4	647.5	159.1	221.8	242.9	123.3	311.3
2003	106.5	61.4	169.9	162.8	452.2	600.9	131.3	77.5	62.7	2709.2	1855.7	82.8	539.4
2004	235.9	76.7	74.5	75.8	46.7	35.8							90.9

<http://khasm.virtualave.net>. Отметим, что данные КА GOES содержат сведения о рентгеновских вспышках за весь 21-й цикл. Однако часть из них (за 1975—1980 гг.) являются неполными, так как они относятся только ко вспышкам, наблюдавшимся в оптике. По данным за последующие годы видно, что есть большое количество рентгеновских вспышек, которые не сопровождаются вспышками в  $H_{\alpha}$ , и наоборот, значительная часть оптических вспышек не сопровождаются рентгеновскими всплесками. Мы подсчитали ежедневное количество вспышек в рентгеновском диапазоне по данным КА GOES только за период 1981—2004 гг. Оказалось, что индекс среднемесячного значения ежедневного числа рентгеновских вспышек  $N_{\text{xm}}$  изменяется с циклами в небольших пределах от 0 до 14.94. Коэффициент корреляции между ежедневными значениями XFI и  $N_x$  составляет всего 0.13, причем максимальное значение функции взаимной корреляции достигается при сдвиге на 1 день (XFI запаздывает по сравнению с  $N_x$ ). Такой вид корреляционной функции между ежедневными значениями XFI и  $N_x$  статистически отражает известный наблюдательный факт, что появление в активных областях серий слабых вспышек с повышенной частотой может служить признаком предстоящей сильной вспышки.

Мы сравнили временной ход суммарных месячных значений  $N_x$  с месячным количеством  $N_o$  оптических вспышек в  $H_{\alpha}$ . Как видно из рис. 1, общее количество  $H_{\alpha}$ -вспышек примерно в 1.5 раза превышает количество рентгеновских вспышек. При этом заметно изменение относительного количества оптических и рентгеновских вспышек с фазой цикла: если в максимумах 22-го и 23-го циклов отношение  $N_o/N_x$  составляет 2.3 и 1.4, то вблизи минимумов циклов это отношение становится равным 0.99 и 0.63 для 21-го и 22-го циклов соответственно. Общая корреляция между временным ходом  $N_o$  и  $N_x$  достаточно высокая, коэффициент корреляции  $k_{\text{ок}} = 0.78$ .

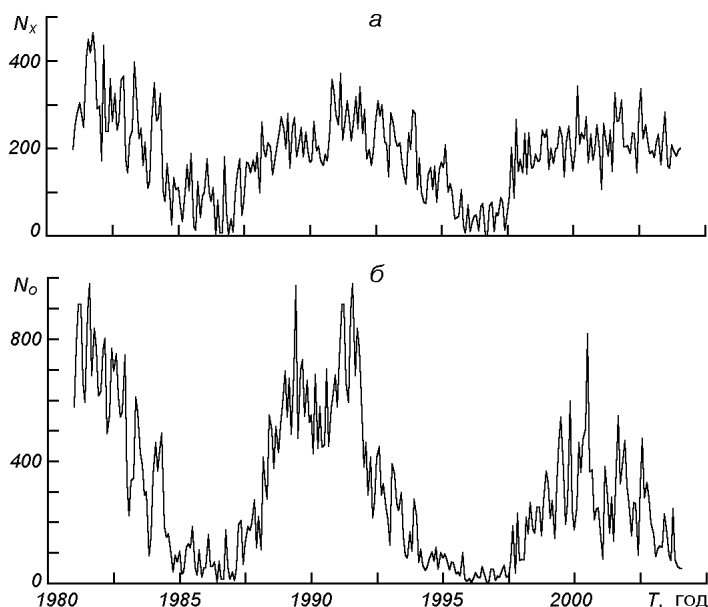


Рис. 1. Вариации суммарных месячных значений числа  $N_x$  рентгеновских вспышек по сравнению с количеством  $N_o$  оптических вспышек в  $H_\alpha$  за период с 1 января 1981 г. по 30 июня 2004 г.

Основное различие между солнечными циклами 22-м и 23-м состоит в значительных вариациях  $N_o$ . За первые 98 месяцев 23-го цикла произошло 20398  $H_\alpha$ -вспышек, что в 1.84 раза меньше, чем за соответствующий период 22-го цикла. В то же время общее количество рентгеновских вспышек за период с 01.01.96—30.06.04 (102 первых месяца 23-го цикла) составляет 17981, что всего в 1.08 раз меньше соответствующего значения для 22-го цикла.

Многочисленные исследования показывают, что нынешний 23-й солнечный цикл существенно слабее предыдущего по большинству солнечных индексов [6, 15, 17]. При этом индекс радиоизлучения F10.7, кальциевый индекс, индекс Mg II, ежедневный индекс магнитного поля показывают сильное несоответствие с поведением индекса  $W$  [7]. В работе [1] мы проанализировали поведение рентгеновского вспышечного индекса XFI от минимума до 2002 г., когда оба максимума цикла 23 по числам Вольфа были уже пройдены. Было отмечено, что максимум нынешнего цикла по индексу XFI выражен нечетко, и по имеющимся на то время данным его невозможно было уверенно определить, как и время второго максимума. Оказалось, что дальнейшее развитие 23-го цикла принесло много неожиданностей, которые сказались на поведении вспышечного индекса XFI. Так, в активных областях NOAA 10484, 10486 и 10488 с 18 октября по 4 ноября 2003 г. произошло большое количество мощных вспышек балла X. Временной ход индекса XFI в 21—23-м циклах представлен на рис. 2. Штриховая часть кривой относится к неполным данным КА GOES за первую половину 21-го цикла. Однако и по этим данным видно, что нынешний 23-й цикл является самым слабым по энергии, выделенной вспышками в диапазоне мягкого рентгена.

Легко показать, что энергия, излученная всеми рентгеновскими вспышками за первые 102 месяца 22-го цикла существенно (в 3.42 раза) превышает соответствующее значение для нынешнего цикла (91947 и 26869).

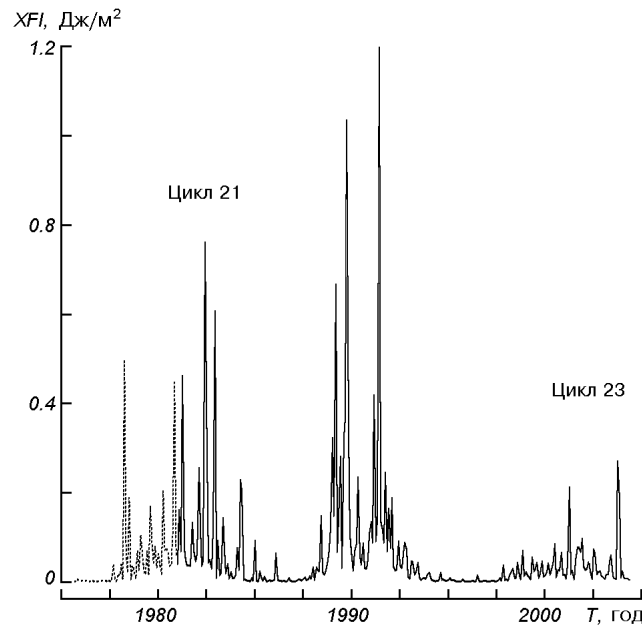


Рис. 2. Вариации индекса энергии рентгеновских вспышек XFI в 21—23-м солнечных циклах

За исследуемый период пиковое среднемесячное значение индекса XFI было достигнуто в 22-м цикле, в июне 1991 г. оно составляло  $1.20 \text{ Дж/м}^2$ , что в 4.5 раза больше максимального среднемесячного значения индекса XFI в текущем цикле (апрель 2001 г.,  $0.21 \text{ Дж/м}^2$ ). Поскольку общее количество вспышечных событий за равные периоды 22-го и 23-го циклов отличается менее чем в 1.1 раза, мы можем утверждать, что средняя энергия рентгеновских вспышек в 22-м цикле была примерно втрое больше соответствующего значения для 23-го цикла. Выделяется нынешний 23-й цикл и тем, что в отличие от двух предыдущих, энергетические события происходили в нем только после вторичного максимума по числам Вольфа (ноябрь 2000 г. [3]). Согласно нашим данным для XFI (см. рис. 2) первый максимум нынешнего цикла произошел в апреле 2001 г., когда среднемесячный индекс XFI достиг значения  $0.21 \text{ Дж/м}^2$ , а второй максимум — в октябре 2003 г., когда значение этого индекса достигло максимальной в цикле величины  $0.27 \text{ Дж/м}^2$ . Не исключено, что это значение не будет превышено в дальнейшем, поскольку согласно оперативным данным КА GOES в январе 2005 г. на Солнце зарегистрировано много вспышек баллов X и M. Распределение индекса XFI в 22-м и 23-м циклах имеет два четко выраженных максимума, для цикла 21 скорее можно говорить о трех максимумах, первый из которых произошел на фазе роста этого цикла. Однако окончательные выводы о втором максимуме нынешнего цикла можно будет сделать позднее, ближе к его окончанию.

Известно, что первый максимум 11-летнего цикла индекса относительного количества солнечных пятен  $W$  обусловлен высокой общей частотой активных явлений, мощность же второго максимума, который обычно наступает на 1—3 года позже первого, определяется главным образом увеличением доли мощных явлений, число и средняя мощность которых изменяется с вековым циклом. Здесь мы рассматриваем поведение индексов, имеющих ясный физический смысл — энергетического индекса XFI и частотных индексов  $N_x$ ,  $N_o$ . Временное распределение индекса XFI показы-

вает, что в 21-м цикле мощные события происходили на фазе роста, максимума и спада цикла, в 22-м цикле — в максимуме и на спаде, а в нынешнем цикле — только на фазе спада. Интересно отметить, что временное распределение частотных индексов  $N_o$  и  $N_x$  в 22-м цикле также имеет двухвершинный характер. Это показывает, что появление вспышек вблизи максимума этого цикла имеет немонотонный характер. В 23-м цикле наличие двух максимумов сохраняется в ходе индекса  $N_o$ , в отличие от индекса числа рентгеновских вспышек  $N_x$ , показывающего монотонный характер временной зависимости в нынешнем цикле (см. рис. 1).

Таким образом, анализ поведения вспышечных индексов в рентгеновском диапазоне показывает существенное отличие нынешнего цикла от предыдущих по энергетике вспышек и сходство с ними по числу событий.

### О ЗАПАЗДЫВАНИИ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПЯТЕННОЙ

Выше отмечалось, что оба максимума временного хода индекса XFI наблюдались на ветви спада 23-го солнечного цикла по индексу чисел Вольфа. Такое расхождение является существенным, и его необходимо учитывать при исследовании вопроса о балансе энергии в течение солнечного цикла. 23-й цикл является заключительной фазой 22-летнего магнитного солнечного цикла. Вероятно, что запаздывание вспышечной активности по сравнению с пятенной может быть различным для разных циклов. Для исследования поставленного вопроса мы рассчитали функции взаимной корреляции временных рядов ежедневных значений индексов  $W$  и XFI, а также  $W$  и  $N_x$  отдельно для циклов 21, 22 и 23. Рис. 3, *а* показывает, что функция

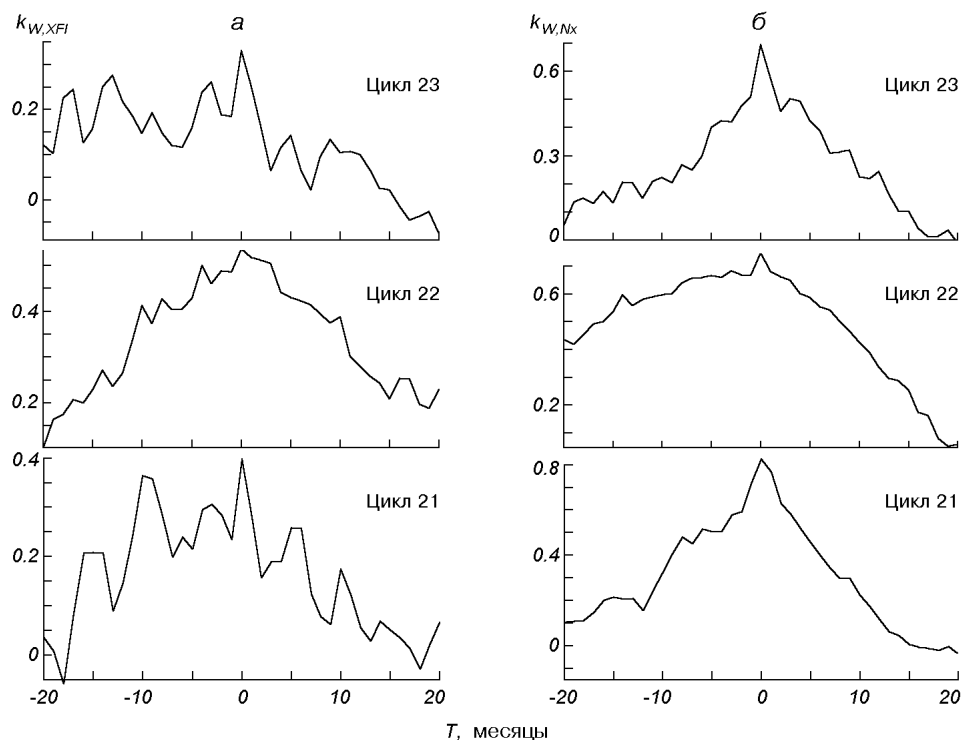


Рис. 3. Функции корреляции между индексами относительного числа солнечных пятен и вспышечными индексами в рентгеновском диапазоне в 21—23-м циклах: *а* — функции корреляции между  $W$  и XFI, *б* — функции корреляции между  $W$  и  $N_x$

взаимной корреляции между индексами  $W$  и XFI для цикла 22 оказалась практически симметричной, что свидетельствует об отсутствии запаздывания вспышечного энерговыделения по отношению к числам Вольфа. В то же время для циклов 21 и 23 кривые явно несимметричны. Вторичные максимумы функций взаимной корреляции показывают время запаздывания вспышечного энерговыделения примерно 10 и 15 месяцев в цикле 21 и примерно 14 и 18 месяцев в цикле 23.

Совершенно иначе выглядят функции взаимной корреляции между индексами  $W$  и  $N_x$ , представленные на рис. 3, б: для циклов с нечетным номером они примерно симметричны, а для цикла 22 заметно явное (примерно на 15 месяцев) отставание числа рентгеновских вспышек по отношению к относительному числу пятен.

Таким образом, можно сделать вывод, что выделение вспышечной энергии в рентгеновском диапазоне запаздывает по сравнению с пятенной в среднем на 10–15 месяцев для 21-го и 23-го циклов. В цикле 22 такого запаздывания нет. В то же время поведение индекса  $N_x$  коррелирует с поведением  $W$  в циклах 21 и 23, а в цикле 22 временной ход числа рентгеновских вспышек запаздывает по сравнению с числами Вольфа.

Анализ рис. 3, а показывает также, что выделение энергии во вспышках происходит импульсами. Например, для цикла 21 функция  $k_{W,XFI}$  имеет вторичные максимумы с интервалом 5 месяцев. Этот интервал близок к известному примерно 150-сут, который был обнаружен в частоте возникновения мощных солнечных вспышек в цикле 21. Результаты анализа периодичности солнечной активности по различным индексам приведены ниже.

#### О ПЕРИОДИЧНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В работе [1] для выявления периодичностей вспышечных процессов мы использовали метод дискретного преобразования Фурье. Здесь для оценки спектральной мощности (СМ) временных вариаций исследуемых индексов солнечной активности выполнен фурье-анализ их автокорреляционных функций. Автокорреляционные функции вычислялись по формуле

$$k(m) = \frac{1}{Ns^2} \sum_{n=1}^{N-m} [u(n) - s][u(n+m) - s],$$

где  $u(n)$  — ежедневное значение индекса солнечной активности,  $s$  — среднее значение,  $N$  — число точек в массиве. Такой путь вычисления спектральной плотности позволяет значительно снизить влияние размера выборки. Отметим также, что поскольку флуктуации ежедневных значений индекса XFI достигают нескольких порядков, при вычислении СМ этого индекса мы использовали ряды значений логарифмов и корней квадратных от значений XFI. Оказалось, что результирующие СМ практически не зависят от применяемой методики: получаемые статистически достоверные пики мощности совпадают для обоих рядов.

Результаты расчетов представлены на рис. 4. Спектры мощности ежедневных значений индексов XFI,  $N_x$  и  $W$  на рис. 4, а относятся ко всему исследуемому временному интервалу (8582 сут). Видно, что в СМ чисел Вольфа  $W$  выделяется группа пиков, соответствующих периодам дифференциального вращения Солнца, которые несущественны в СМ индексов XFI и  $N_x$ . Пик, соответствующий периоду 73 сут, достоверно выделяется только в СМ XFI. В интервале частот, отвечающих более длинным периодам, наиболее заметными для СМ всех индексов являются группы максимумов с

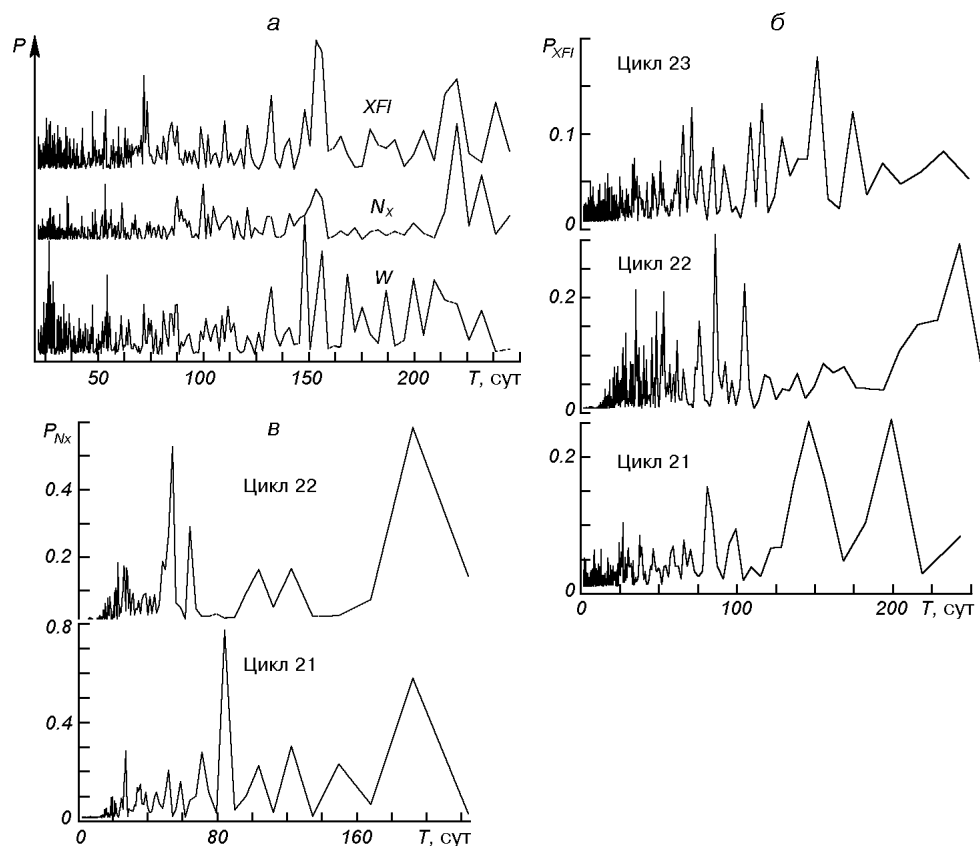


Рис. 4. Спектры мощности ежедневных значений индексов  $XFI$ ,  $N_x$  и  $W$ : *a* — СМ всех индексов по полному временному интервалу (8582 дня), *б* — средние СМ  $XFI$  для солнечных циклов 21, 22 и 23, *в* — СМ индекса числа рентгеновских вспышек  $N_x$  для минимумов 21-го и 22-го солнечных циклов

периодами примерно 100—120, 140—160 и 210—230 сут. Как видно, в СМ для всего ряда данных пики в районе 150-сут периода имеют сложную структуру. В СМ индексов  $W$  и  $XFI$  они состоят из двух пиков с периодами  $T_1 \approx 142$  сут и  $T_2 \approx 153$  сут.

Сравнение с полученными нами в работе [1] значениями периодов показывает их приблизительное совпадение. Необходимо отметить, что увеличение длины выборки, которая составляет почти три солнечных цикла, в области периодов 25—250 сут не прояснило картину их СМ. По-видимому, это связано с тем, что каждый из входящих в общую выборку солнечных циклов имеет свои преобладающие частоты. Для выявления статистически значимых пиков в области интересующих нас периодов 25—250 сут мы провели усреднение СМ, используя метод скользящего окна. Для этого массив данных  $XFI$  был разбит на интервалы с длиной, близкой к одному циклу (3860 сут). Интервалы сдвигались на 500 сут, а полученные СМ усреднялись в пределах одного солнечного цикла. Результирующие средние спектры мощности  $XFI$  отдельно для циклов 21—23 представлены на рис. 4, б. Как видно, солнечные циклы отличаются друг от друга по мощности тех периодов, о которых мы говорили выше. Особенно заметно различие между циклами по мощности группы пиков в районе 150-сут



периода: в циклах 21-м и 23-м они являются одними из самых мощных в СМ, в то время как СМ для 22-го цикла вообще не показывает увеличения мощности в интервале этих периодов. Отметим также, что в усредненных методом скользящего окна СМ исчезла раздвоенность пиков в районе 150-сут периода. Среднее значение максимума в СМ XFI для 21-го цикла соответствует периоду около 150 сут, а для 23-го цикла — около 153 сут.

Наши расчеты СМ со скользящим окном меньшей длины реализации выявили, что некоторые периоды имеют время жизни, существенно меньшее, чем 11-летний солнечный цикл. Оказалось, что наиболее достоверно выделяются доминирующие периоды во время минимумов солнечных циклов.

На рис. 4, *в* представлены СМ индекса числа рентгеновских вспышек  $N_x$  для минимумов солнечных циклов 21 и 22. Представленные СМ являются средними из трех спектров, каждый из которых получен с окном длиной 1340 сут со сдвигом в 100 сут. Видно, что доминирующими в СМ  $N_x$  в минимуме 21-го цикла являются пики, отвечающие периодам 88 сут и 225 сут. В минимуме 22-го цикла такими доминирующими в СМ  $N_x$  периодами являются 53 и 225 сут.

#### ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мы изучили поведение индексов вспышечной активности Солнца XFI и  $N_x$  в диапазоне мягкого рентгена в 21–23-м циклах в сравнении с индексом чисел Вольфа.

Было найдено, что нынешний 23-й солнечный цикл существенно слабее двух предыдущих по энергии вспышек в рентгеновском диапазоне (в 3.5 раза по сравнению с 22-м циклом за 102 первых месяцев циклов). Хотя цикл 23 отстает от предыдущих по вспышечной активности, интенсивность полного солнечного излучения (TSI) не изменилась существенно [8]. Мы показали, что и по числу рентгеновских вспышек  $N_x$  этот цикл мало отличается от предыдущего.

Сравнение временного хода индекса  $N_x$  с числом оптических вспышек  $N_o$  показало, что вблизи фаз максимумов 11-летних циклов  $N_o > N_x$ , в то время как в минимумах циклов  $N_x \geq N_o$ . Объяснение этому факту может быть следующим. Известно, что вблизи максимумов циклов в линии  $H_\alpha$  наблюдают большее число слабых вспышек, инициация которых может быть связана со всплыванием новых магнитных потоков из-под фотосферы. Мы предполагаем, что такие вспышки имеют локализацию места первичного энерговыделения не в короне, а в более низких слоях солнечной атмосферы. В работе [2] в зависимости от места расположения источника первичного энерговыделения вспышки разделяются на два вида: «горячие», с первичным источником под конвективной зоной, и «холодные», первичный источник которых расположен в короне. Корональные «холодные» вспышки имеют импульсный характер максимума в рентгеновском диапазоне, и их всегда фиксируют как рентгеновские вспышки, в то время как часть «горячих» субвспышек могут не регистрироваться, поскольку они показывают пологий характер максимума в рентгеновском диапазоне. Если наше объяснение правильно, то можно утверждать, что в минимумах циклов источники первичного энерговыделения большинства вспышек находятся в короне. Для окончательного решения этого вопроса необходимо провести дополнительные исследования.

Многие исследователи отмечают, что в нынешнем цикле временное поведение индекса  $W$  не соответствует поведению других солнечных индек-

сов. Мы изучили корреляции временных рядов ежедневных значений индексов  $W$  с индексами XFI и  $N_x$  в циклах 21—23. Обнаружено, что вспышечная активность по индексу XFI запаздывает относительно  $W$  в среднем на 10—15 месяцев для циклов 21 и 23. В цикле 22 такого запаздывания не выявлено. Полученный нами результат согласуется с данными работы [14], в которой была проанализирована эволюция появления  $H_\alpha$ -вспышек по отношению к числу и площади пятен с использованием данных за 19—23-й солнечные циклы. Не обнаружено отставание вспышечной активности по сравнению с пятенной в циклах 20 и 22, а для циклов с нечетным номером найдено время запаздывания около 15 мес.

Таким образом, запаздывание вспышечной активности по сравнению с пятенной является характерным признаком заключительной фазы 22-летнего магнитного солнечного цикла. Полученные в работе [14] и нами результаты подтверждают модельные расчеты баланса энергии в течение солнечного цикла [9, 16], согласно которым интенсивность вспышечного режима в короне должна запаздывать по отношению к поставкам магнитной энергии из системы.

Здесь мы продолжили изучение периодичности вспышечной активности Солнца в рентгеновском диапазоне. Было исследовано поведение энергетического индекса XFI и частотного индекса  $N_x$  за период с 1 января 1981 по 30 июня 2004 г. В спектрах мощности, полученных по полному ряду вспышечных индексов, обнаружены статистически достоверные пики, соответствующие периодам, которые ранее выявили мы [1] и другие исследователи [10, 12]. В интервале периодов от десятка дней до года их условно можно разделить так: периоды, связанные с дифференциальным вращением Солнца, периоды, связанные с движением внутренних планет Солнечной системы, и отдельно рассматриваемый период продолжительностью около 150 сут. Многие исследователи считают, что 150-сут периодичность обусловлена периодичностью всплывания новых магнитных потоков, т. е. внутренними причинами. Однако вопрос об этой периодичности до сих пор остается дискуссионным, поскольку исследования, выполненные по разным рядам солнечных данных разными методами, показывают, что она то появляется, то исчезает. При этом значение периода изменяется в широких пределах (140—160 сут). В работах [11, 13] отмечается, что эта периодичность обнаружена в появлении солнечных вспышек на фазе роста нынешнего цикла.

В полученных нами СМ полных временных рядов индексов XFI,  $N_x$  и  $W$  увеличение мощности в районе этого периода выявляется достоверно и имеет сложную структуру, состоящую из двух максимумов, соответствующих периодам: 142 и 153 сут (рис. 4).

Изучение средних по циклам 21—23 спектров мощности индекса XFI показало, что 150-сут являются нестационарными: соответствующие им максимумы обнаружены в СМ XFI для солнечных циклов 21 и 23 и отсутствуют в СМ XFI для цикла 22. Этот результат позволяет сделать предположение, что 150-сут периодичность присуща только для заключительной фазы 22-летнего магнитного солнечного цикла. В дальнейшем мы планируем проверить высказанное предположение по данным об оптических вспышках за 19—23-й солнечные циклы.

В данной работе мы не будем подробно анализировать периоды, связанные с движением внутренних планет Солнечной системы. Относительно этих периодов у большинства исследователей существуют сомнения, представляют они действительные квазипериодические процессы на Солнце или отражают структуру распределения вспышек на Солнце при наблюдении с Земли в ее годовом движении [4]. Отметим только, что в

усредненных СМ индекса числа рентгеновских вспышек  $N_x$  для минимумов 21-го и 22-го солнечных циклов доминирующими, т. е. такими, квадрат гармонической амплитуды которых составлял  $10\sigma$ , являются пики, отвечающие периодам 88 и 225 сут. В работе [1] мы высказали предположение о возможном влиянии переменного электрического заряда планет на возникновение вспышек в короне. В дальнейшем мы продолжим изучение этого вопроса.

1. Акимов Л. А., Белкина И. Л., Бушуева Т. П. Исследование вспышечной активности Солнца в рентгеновском и оптическом диапазонах в 22 и 23 циклах // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 1.—С. 3—12.
2. Двелекеев М. И. Солнечные вспышки по данным аппаратов и наземным оптическим наблюдениям // Тр. ГАИШ.—2004.—75.—С. 47—48.
3. Ишков В. Н. Текущий цикл солнечной активности: развитие, особенности, прогнозы // Тр. ГАИШ.—2004.—75.—С. 81.
4. Обридо В. Н., Ананьев И. В., Арльт К., Пфлюг К. Колебания полного потока солнечного излучения и магнитного поля в диапазоне периодов 2—10 дней // Астрон. журн.—1998.—75, № 4.—С. 605—611.
5. Atas T., Ozguc A. North—south asymmetry in the solar flare index // Solar Phys.—1996.—166, № 1.—P. 201—208.
6. Balch C. C. Solar flare productivity during solar cycle 23 // Amer. Geophys. Union. Spring Meeting.—2002.—Abstract #SH41A-03.
7. Coffey H. E., Erwin E. H. The curious behavior of secondary maximum for solar cycle 23 // Bull. AAS.—2002.—34.—P. 786.
8. Fröhlich C. Total Solar Irradiance Variability from 1978 to present // Amer. Geophys. Union. Fall Meeting.—2003.—Abstract #SH31C-04
9. Litvinenko Y. Energy balance in the corona over the 22-year solar cycle // Amer. Geophys. Union. Fall Meeting.—2004.—Abstract #SH13A-1161.
10. Lou Yu-Qing, Wang Yu-Ming, Fan Zuhui, et al. Periodicities in solar coronal mass ejections // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2003.—345, N 3.—P. 809—818.
11. Oliver R., Ballester J. L. The 158-day periodicity in the rising phase of cycle 23 // Proceedings of the Second Solar Cycle and Space Weather, Euroconference.—2002.—ESA Publ. Division.—P. 155—158.
12. Пзгъз А., Атаз Т., Рыбѳк, J. Flare index variability in the ascending branch of solar cycle 23 // J. Geophys. Res.—2002.—107, N A7.—P. SSH 11-1.
13. Richardson I. G., Cane H. V. The ~150 day quasi-periodicity in interplanetary and solar phenomena during cycle 23 // Geophys. Res. Lett.—2005.—32, N 2, L02104.
14. Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A. Does solar flare activity lag behind sunspot activity? // Solar. Phys.—2003.—215, N 1.—P. 111—126.
15. Toma G., White O. R., Chapman G. A., et al. Solar Cycle 23: An Anomalous Cycle? // Amer. Astron. Soc. Meeting 204.—2004.—Abstract #37.14.
16. Wheatland M. S., Litvinenko Y. E. Energy balance in the flaring solar corona // Astrophys. J.—2001.—557, N 1.—P. 332—336.
17. Yousef S. Cycle 23, the first of weak solar cycles series and the serious implications on some Sun—Earth connections // Solar variability as an input to the Earth's environment: International Solar Cycle Studies (ISCS) Symp., 23—28 June 2003, Tatranska Lomnica, Slovak Republic. — Noordwijk: ESA Publ. Division, 2003.—P. 177—180.

Поступила в редакцию 01.04.05