

УДК 523.985-735/75

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

НИИ астрономии Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
61022, Харьков, ул. Сумская, 35**Исследование вспышечной активности Солнца
в рентгеновском и оптическом диапазонах
в 22-м и 23-м циклах**

Рассчитаны ежедневные значения вспышечного индекса в рентгеновском диапазоне (XFI) за период с 01.01.86 по 31.05.02 гг. Проанализировано поведение индекса XFI в 22 и 23 циклах по сравнению со вспышечным индексом в оптике (OFI) и индексом относительного числа солнечных пятен. Показано, что энергия, излученная рентгеновскими вспышками за первые 77 месяцев 22-го цикла, почти в пять раз превышает аналогичный показатель текущего цикла. В спектрах мощности вспышечных индексов XFI и OFI выявлены статистически значимые пики, соответствующие периодам 25.5, 36.5, 73, 116, 150 сут, которые, вероятно, отражают частоты вспышечной деятельности Солнца. Высказана гипотеза о возможном влиянии переменного электрического заряда Меркурия на возникновение вспышек и сделаны соответствующие оценки.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПАЛАХОВОЇ АКТИВНОСТІ СОНЦЯ У РЕНТГЕНІВСЬКОМУ ТА ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНАХ ДЛЯ 22-ГО ТА 23-ГО ЦИКЛІВ, Акімов Л. О., Белкіна І. Л., Бушуєва Т. П. — Розраховані щоденні значення спалахового індексу у рентгенівському діапазоні (XFI) для періоду з 01.01.86 по 31.05.02 рр. Проаналізовано поведінку індексу XFI протягом 22-го і 23-го циклів у порівнянні зі спалаховим індексом в оптичному діапазоні (OFI) та індексом відносного числа сонячних плям. Показано, що енергія, яку випромінювали рентгенівські спалахи за перші 77 місяців 22-го циклу, майже у п'ять разів перевищує аналогічний показник нинішнього циклу. У спектрах потужності спалахових індексів XFI і OFI виявлено статистично значущі максимуми, що відповідають періодам 25.5, 36.5, 73, 116, 150 діб, які, імовірно, відповідають частотам спалахової діяльності Сонця. Запропоновано гіпотезу про імовірний вплив змінного електричного заряду Меркурія на виникнення спалахів та зроблено відповідні розрахунки.

INVESTIGATION OF X-RAY AND OPTICAL SOLAR FLARE ACTIVITIES DURING SOLAR CYCLES 22 AND 23, by Akimov L. A., Belkina I. L., Bushueva T. P. — Daily X-ray flare indices (XFI) for the interval from

January 1986 till June 2002 were calculated. The XFI behaviour during solar cycles 22 and 23 was studied. We compare the daily XFI with the daily optical flare indices (OFI) and with the International Relative Sunspot Numbers. The energy emitted by X-ray flares during 77 months of solar cycle 22 is shown to be about five times larger than the analogous value for the present solar cycle. We revealed statistically significant maxima in power spectra of the XFI and OFI. They correspond to periods of 25.5, 36.5, 73, 116, and 150^d which presumably are appropriate to characteristic frequencies of the solar flare activity. A hypothesis on a possible effect of Mercury's variable electric charge on the origin of solar flares is proposed and corresponding estimates were made.

ВВЕДЕНИЕ

Для исследования общих закономерностей вспышечной активности Солнца и ее циклических изменений принято использовать различные ежедневные вспышечные индексы. Из них самым распространенным является индекс, который регулярно публикуется в SGD и представляет собой общее количество оптических вспышек за сутки. Этот индекс легко вычисляется, но он не учитывает энергетические характеристики каждой вспышки (балл, интенсивность, продолжительность). Еще в 1952 г. Клечек предложил использовать ежедневный вспышечный индекс по наблюдениям в линии H_{α} (в дальнейшем — OFI), который в некоторой степени учитывает энергетический вклад каждой вспышки и представляет собой сумму по всем вспышкам за сутки произведений их баллов на продолжительность в минутах. Подобный индекс для вспышек в диапазоне мягкого рентгена ввел в употребление Крживский [9]. По его данным накопленные суммы рентгеновского вспышечного индекса (назовем его XFI) показывают резкий подъем за несколько десятков часов до протонной вспышки и могут быть использованы для прогноза мощных вспышек. Суточные значения индекса XFI могут также широко использоваться для анализа различных геофизических последствий солнечных вспышек. К примеру, рентгеновское излучение вспышек в диапазоне 0.1—0.8 нм в значительной степени ответственно за ионосферные возмущения, приводящие к нарушениям радиосвязи в диапазоне коротких радиоволн. В настоящее время достаточно длинных рядов XFI нет. Анталова [2, 3] вычислила значения XFI для многих лет 20-го и 21-го солнечных циклов, однако при расчетах она использовала данные об излучении в мягком рентгене только тех вспышек, которые наблюдались в линии H_{α} .

Известно, однако, что количество рентгеновских вспышек, регистрируемых космическими аппаратами, оказывается в среднем примерно вдвое большим, чем количество H_{α} -вспышек, которые наблюдаются за такое же время. Предварительный анализ показывает, что некоторые из рентгеновских вспышек в оптике проявляются как эруптивные быстрые процессы, а некоторые вообще не сопровождаются активными явлениями в оптике. Очевидно, что рентгеновские вспышки происходят в корональных слоях солнечной атмосферы, однако природа этих вспышек и циклические закономерности их возникновения не совсем ясны.

В данной работе приводятся результаты вычислений индекса XFI, анализ поведения его за последние примерно 16.5 лет, сравнения его с оптическим вспышечным индексом Клечека и другими индексами за тот же период, а также результаты исследования периодичности возникновения солнечных вспышек в рентгеновском и оптическом диапазоне.

ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ СОЛНЦА В 22-М И 23-М ЦИКЛАХ ПО ИНДЕКСАМ XFI И OFI

Для изучения природы рентгеновских вспышек и их циклических изменений мы рассчитали ежедневные значения индекса XFI вспышечной активности Солнца в диапазоне мягкого рентгена за период с 01.01.86 по 31.05.02 гг. по формуле

$$XFI = \sum_n 0.5(F_n \Delta T_n), \quad (1)$$

где F_n — максимальный поток рентгеновского излучения от каждой из вспышек через 1 м^2 на орбите Земли, ΔT_n — общая продолжительность рентгеновской вспышки в секундах. Значения F_n и ΔT_n мы получали из ежемесячных таблиц, которые публикуются в SGD: «GOES Solar X-ray Flares». За последние три года данные о рентгеновских вспышках взяты на интернет-сайте <http://www.ngdc.noaa.gov>. Рассчитанные ежедневные значения индекса XFI представлены на сайте станции солнечного мониторинга нашего института <http://khassm.virtualave.net> в двух файлах данных — отдельно для 22-го цикла (с 01.01.86 по 31.10.96 гг.) и текущего 23-го солнечного цикла (с 01.01.96 по 31.05.02 гг.). Вычисления XFI мы продолжаем по мере накопления новых данных по рентгеновским вспышкам.

Физический смысл индекса XFI понятен: с достаточной точностью он представляют собой энергию на 1 м^2 на орбите Земли, выделенную за сутки всеми солнечными вспышками в диапазоне мягкого рентгена. На сайте Харьковской станции солнечного мониторинга они даны в единицах 10^{-4} Дж/м^2 . Точность абсолютных значений определяется приближенным представлением рентгеновского всплеска в виде треугольника (1). С июля 1998 г. SGD в таблицах «GOES Solar X-ray Flares» начали публиковать данные об энергии, выделенной каждой из рентгеновских вспышек за время ее существования (flux). Суммирование этих данных за сутки дает величины, близкие к нашим значениям ежедневных XFI, однако реальный поток энергии от рентгеновских вспышек оказался в среднем несколько большим (примерно в 1.5 раза).

В таблице представлены среднемесячные значения XFI за период с 01.01.86 по 31.05.02 гг.

Поведение индекса XFI интересно сравнить со вспышечным индексом Клечка OFI, характеризующим вспышечную активность Солнца в линии H_α . Ежедневные значения OFI в 22 солнечном цикле и для ветви роста 23-го цикла (по 30.06.00 г.) были рассчитаны [4, 5] по формуле:

$$OFI = \sum_n (J_n^* \Delta T_n),$$

где n — число вспышек за сутки, ΔT — продолжительность вспышки в минутах, J — число, которое учитывает площадь и интенсивность вспышек. При вычислении вспышечных индексов Клечка авторы использовали следующие коэффициенты вклада: для субвспышек SF, SN, SB $J = 0.5$; для вспышек баллов 1F, 1N — $J = 1.0$; для вспышек балла 1B — 1.5 ; 2F, 2N — 2.0 ; 2B — 2.5 ; 3F, 3N, 4F — 3.0 ; 3B, 4N — 3.5 ; а для наибольших вспышек баллов 4B $J = 4.0$. Понятно, что суточные индексы OFI могут быть определены только приближенно путем экстраполяции его значений за те интервалы времени, когда не было патрульных наблюдений H_α -вспышек. Физический смысл индексов Клечка не столь очевиден, как рентгеновских вспышечных индексов, поскольку закономерности возрастания энергии, выделенной вспышками, с баллом не столь просты, как это учитывается с

Среднемесячные значения XFI (10^{-4} Дж/м²) в 22-м и 23-м солнечных циклах

Год	Месяц											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
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
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
1988	316.2	23.3	317.9	253.4	222.7	1463.9	213.0	150.9	240.1	460.3	711.8	1209.6
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
1990	527.2	241.4	664.5	829.1	2325.2	588.5	371.0	856.6	289.4	277.8	494.4	1048.7
1991	1334.0	860.9	4164.4	894.3	1388.2	11972.5	1356.7	1145.4	867.8	2431.5	663.5	1621.3
1992	744.5	1862.9	338.0	234.0	257.6	898.3	361.2	290.7	613.8	866.1	717.8	110.6
1993	63.0	442.5	431.3	148.2	193.8	417.7	90.4	34.4	53.3	72.3	58.6	143.3
1994	190.0	84.0	29.3	6.0	2.8	19.1	12.3	200.3	27.4	41.1	6.2	20.7
1995	22.7	70.3	28.6	33.4	10.6	4.3	3.3	2.4	3.8	40.0	4.2	0.2
1996	0.4	0.1	0.6	5.4	1.9	0.3	125.1	1.6	0	2.4	20.2	7.1
1997	0.2	1.2	0.4	11.5	11.6	0	0.8	17.9	67.6	9.9	349.7	33.9
1998	50.4	12.1	127.5	219.8	282.6	75.9	66.1	409.0	129.1	50.1	688.1	166.3
1999	211.8	134.9	96.0	49.8	544.6	217.4	284.1	413.3	76.2	158.1	448.4	96.2
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
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
2002	329.9	250.3	261.2	464.5	235.1							

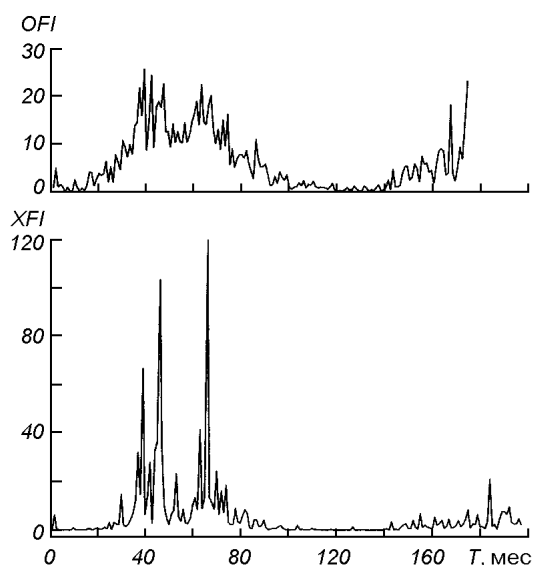
помощью коэффициентов вклада. Однако несмотря на это, качественно суточные индексы OFI характеризует энергию, выделенную вспышками в оптическом диапазоне за сутки.

Сравнение ежедневных значений вспышечных индексов XFI и OFI показало, что коэффициент корреляции $K = 0.38$ для всего ряда данных и несколько изменяется на отдельных фазах циклов: 0.46, 0.49 (вблизи минимумов 22 и 23 циклов) и 0.40, 0.46 (вблизи максимумов). Такое сравнительно небольшое значение коэффициента корреляции между обоими вспышечными индексами может быть вызвано двумя причинами: во-первых, рентгеновские вспышки не всегда сопровождаются H_{α} -вспышками, и во-вторых, тем, что мощности рентгеновских и оптических вспышек часто не соответствуют друг другу. Если же сравнивать ряды среднемесячных значений XFI и OFI, то коэффициент корреляции между ними составляет уже 0.81. Значительное увеличение корреляции при усреднении данных за месяц объясняется, по-видимому, тем, что большинство H_{α} - и рентгеновских вспышек происходят в одних и тех же активных областях, но на разных высотах и не одновременно.

Проведено также сравнение ежедневных значений индексов XFI и OFI за исследуемый период с соответствующими значениями индекса относительного числа солнечных пятен (чисел Вольфа W). Оказалось, что индекс W значительно лучше коррелирует с OFI, чем с XFI: значения коэффициентов корреляции индекса W с ежедневными значениями вспышечных индексов составляют 0.66 (OFI) и 0.17 (XFI).

Согласно данным SGD нынешний 23 цикл значительно слабее, чем предыдущий. Это хорошо заметно по числам Вольфа: максимальное среднегодовое значение W_{\max} в цикле 23 составляет 119.5 (2000 г.) по сравнению с $W_{\max} = 157.6$ в 22 цикле (1989 г.), причем ветвь роста кривой чисел Вольфа в нынешнем цикле значительно более пологая. Общее число оптических вспышек за первые 59 месяцев 23 цикла было в 1.78 раза меньше, чем за такой же период 22 цикла (11681 и 20812).

Рис. 1. Временной ход вспышечных индексов в рентгеновском (XFI) и в оптическом (OFI) диапазонах в 22-м и 23-м солнечных циклах. Значения XFI даны в единицах 10^{-4} Дж/м², T — время в месяцах от начала 22-го цикла, за которое принята дата 01.01.86 г.



На рис. 1 представлен временной ход среднемесячных значений вспышечных индексов OFI и XFI в 22-м и 23-м циклах. Отличие циклов по индексу XFI значительно более существенное, чем по индексу OFI. Оценки показывают, что энергия, выделенная всеми рентгеновскими вспышками за первые 77 месяцев 23-го цикла в 4.8 раза меньше, чем за соответствующий период 22-го цикла. Пиковое среднемесячное значение индекса XFI 22-го цикла (июнь 1991 г., 1.20 Дж/м²) почти в шесть раз больше максимального среднемесячного значения индекса XFI в текущем цикле (апрель 2001 г., 0.21 Дж/м²). Поскольку общее количество вспышечных событий за равные периоды обоих циклов отличается менее, чем в два раза, мы можем утверждать, что средняя энергия рентгеновских вспышек на фазе роста 22-го цикла примерно втрое больше соответствующего значения для 23-го цикла. В то же время пиковые среднемесячные значения индекса OFI вблизи максимума 23-го цикла (июнь 2000 г., $OFI = 23.0$) приближаются к максимальным значениям для 22-го цикла (март 1989 г., $OFI = 25.5$). Такое различие поведения обоих индексов обусловлено тем, что несмотря на учет мощности явлений, который производится при расчетах индекса OFI, он в большой степени остается индексом количества оптических вспышек, а не энергии, излученной вспышками.

Распределение обоих вспышечных индексов в 22-м цикле имеет два четко выраженных максимума (рис. 1). Известно, что первый максимум 11-летнего цикла обусловлен высокой общей частотой активных явлений (в данном случае оптических и рентгеновских вспышек). Второй же максимум обычно наступает на 1—3 года позднее, и его мощность определяется главным образом увеличением доли мощных явлений, число и средняя мощность которых изменяется с вековым циклом. В текущем 23-м цикле первый максимум уже пройден: по индексу W это произошло в апреле 2000 г. Интересно, что время максимума по индексу XFI несколько более позднее, это июль 2000 г. оно ближе к периоду переполюсовки общего магнитного поля Солнца (июнь—декабрь 2000 г.). Отметим, что максимум нынешнего цикла по индексу XFI выражен нечетко, как и второй максимум, возможное время которого — апрель 2001 г., когда среднемесячный индекс XFI достиг максимального значения в цикле. Такое поведение рентгеновского вспышечного индекса может быть связано с тем, что текущий цикл находится на ветви спада векового цикла. Однако оконча-

тельные выводы о втором максимуме можно будет сделать позднее, ближе к окончанию 23-го цикла.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРИОДОВ ВО ВСПЫШЕЧНООБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЛНЦА В 22-М И 23-М ЦИКЛАХ

Рис. 1 показывает, что временной ход вспышечнообразовательной деятельности Солнца в рентгеновском и оптическом диапазонах носит сложный характер сочетания стохастических свойств с несомненным наличием регулярных изменений. Для выявления периодичностей вспышечных процессов использован метод дискретного преобразования Фурье, при котором рассматриваемые временные ряды ежедневных значений индексов XFI и OFI представляются в виде функций

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2\pi}{T_0} nt + b_n \sin \frac{2\pi}{T_0} nt \right),$$

с коэффициентами a_n , b_n , вычисляемыми по формулам

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) \cos \frac{2\pi}{T_0} ntdt, \quad b_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) \sin \frac{2\pi}{T_0} ntdt,$$

где T_0 — полная длина реализации. Спектральная плотность мощности (СМ) оценивалась как квадрат преобразования Фурье от реализации. Для ряда ежедневных значений индекса XFI полная длина реализации составляет $T_0 = 5995$ сут, для индекса OFI — $T_0 = 5326$ сут. Для исключения ошибок, связанных с конечной длиной реализации, и уверенного выделения реально наблюдаемых периодов вспышечнообразовательной деятельности Солнца, мы определяли СМ для разных длин реализации, разбивая исследуемый период на участки продолжительностью в 4—5 лет, расположенные вблизи минимумов и максимумов 22-го и 23-го циклов. Даже для таких более коротких реализаций спектральное разрешение $\Delta\nu < 0.0006$ сут⁻¹, что достаточно при исследовании пиков СМ на промежутке частот, соответствующем временному отрезку от 2 до 180 сут ($0.006 < \nu < 0.5$ сут⁻¹). Выбор такого интервала частот обусловлен тем, что именно в него попадают ряд обнаруженных ранее [9—12] периодов (в частности 25.5-дневный, 150-дневный и др.), природа которых до сих пор не выяснена.

Определение статистической значимости обнаруженных периодов проводилось в предположении об экспоненциальном распределении отношений мощности пиков к среднему уровню СМ. Статистически значимыми мы считали те пики, квадрат гармонической амплитуды которых существенно превышал 3σ .

На рис. 2 представлены СМ вспышечных индексов XFI и OFI, полученные по полным реализациям ежедневных значений каждого из индексов. Для большей наглядности и удобства сравнения квадраты гармонической амплитуды СМ, расположенные по оси ординат рис. 2, выражены для обоих индексов в относительных единицах (в единицах σ).

В диапазоне периодов 23—55 сут (рис. 2, а) основными статистически значимыми являются периоды, связанные с гармониками периода вращения Солнца. Интересно, что для индекса XFI — это два достаточно широких пика, соответствующие периодам 28.2 и 25.5 сут. Пик, соответствующий периоду 27 сут, имеет статистически незначимую амплитуду $\sigma = 1.7$. В СМ OFI основной пик, связанный с наблюдаемым дифференциальным вращением, расщеплен на два более узких компонента, имеющие квадрат гармони-

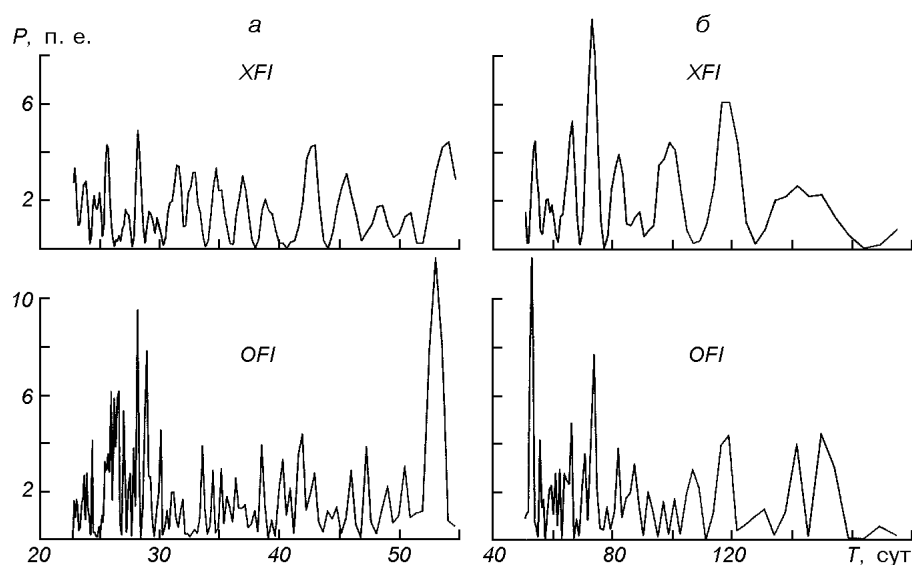


Рис. 2. Спектры мощности вспышечных индексов XFI и OFI: *a* — в диапазоне частот, отвечающих периодам от 23 до 55 сут; *б* — в диапазоне частот, отвечающих периодам от 50 до 180 сут

ческой амплитуды около 8σ (28.2 и 28.9 сут), есть также группа статистически значимых пиков, соответствующих периодам 26.6—27.2 сут. В целом пики СМ XFI имеют значительно большую ширину по сравнению со СМ OFI. Это различие кажется естественным в силу того, что рентгеновские вспышки происходят в корональных частях АО, и поэтому наблюдаются обычно за 2—3 дня до выхода и после захода АО в видимом диапазоне.

СМ отдельных 4—5-летних реализаций вспышечных индексов XFI и OFI в данной работе мы не приводим. Отметим только, что основные статистически значимые пики СМ обоих индексов на коротких и полной реализациях в основном совпадают. Существенное различие заметно только в периодах, связанных с вращением Солнца. Однако такое различие естественно, так как оно определяется вариациями дифференциального вращения активных областей Солнца, в которых возникают вспышки, в зависимости от фазы солнечного цикла. Статистически значимый пик с периодом 25.5 сут есть в СМ XFI как для более коротких, так и для полной реализации данных. Он есть и в СМ OFI, но с меньшей амплитудой. Отметим, что этот период был ранее обнаружен при анализе северо-южной асимметрии появления вспышек по индексу OFI для 22-го цикла [11] и интерпретирован как фундаментальный в рамках предложенной Баи и Старроком [6] гипотезы, которая предполагает наличие в глубоких недрах Солнца наклонного магнитного ротатора, вращающегося с такой частотой.

На рис. 2, *a* видно, что в СМ XFI есть группа пиков, соответствующих периодам примерно 35 сут (в СМ OFI их амплитуды менее мощные). Возможное происхождение этих периодов, а также и периода 22.5 сут мы обсудим ниже.

В интервале частот, отвечающих более длинным периодам (рис. 2, *б*), наиболее заметными для СМ обоих индексов являются пики с периодами 53, 73 и 118 сут. Период 150 сут есть в СМ обоих индексов, но небольшой мощности ($2\text{--}4\sigma$), причем в СМ OFI он разделяется на два пика.

Наш анализ показывает, что группы пиков, соответствующие периодам 28, 43, 53, 67 сут, обусловлены сочетанием продолжительности жизни активных комплексов, расположенных на разных гелиографических широтах, и продолжительности их видимости с Земли при вращении Солнца.

Периоды 25.5, 36.5, 73, 116, 150 сут, вероятно, отражают частоты вспышечной деятельности Солнца. Отметим, что мощности некоторых из этих периодов для рядов XFI и OFI существенно различаются. Так, для периода 150 сут квадрат гармонической амплитуды CM оптического вспышечного индекса составляет около 4σ , а рентгеновского — менее 2σ ; периоды же 73 и 116 сут имеют большую мощность для рентгеновского вспышечного индекса: 7σ в CM OFI, 10σ в CM XFI и 4σ в CM OFI, 6σ в CM XFI соответственно.

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ МЕРКУРИЯ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Как мы видели, в CM обоих вспышечных индексов есть частоты, соответствующие периодам 36.5, 73, 116 сут. Мы не упоминали ранее о периоде 88 сут, который также есть в CM и имеет мощность 3–4 σ . Вряд ли может быть случайным то, что эти периоды почти точно совпадают со средним периодом вращения Солнца относительно Меркурия (36.5 сут), сидерическим (88 сут) и синодическим (116 сут) периодами обращения Меркурия вокруг Солнца.

Если есть какое-то физическое воздействие Меркурия на возникновение вспышек в активных солнечных долготах, то величина этого воздействия должна существенно изменяться из-за большого эксцентриситета его орбиты (0.21). В рамках такой гипотезы о физическом воздействии кажется более понятным, что мощность пика, соответствующего двойному среднему периоду вращения Солнца относительно Меркурия (73 сут) существенно превышает мощность периода 36.5 сут. Очевидно, однако, что воздействие Меркурия на вспышечную активность Солнца не может иметь гравитационную природу, энергетические оценки говорят о несостоятельности такого механизма.

Мы полагаем, что воздействие Меркурия на корону и хромосферу Солнца может быть обусловлено переменным электрическим зарядом планеты. Оценки показывают, что при скорости солнечного ветра 400 км/с и плотности частиц в нем около 40 см^{-3} , за час на поверхность Меркурия падает около 10^{30} частиц. При разбалансе 10^{-8} количества частиц солнечного ветра, имеющих заряды разного знака, на Меркурии может накопиться заряд 10^{22} частиц. Легко показать, что воздействие заряда такой величины на электроны короны, которые расположены на расстоянии 1.4 радиуса Солнца от центра Солнца, превосходит воздействие на них гравитационного поля Солнца. В этом случае заряд Меркурия может выступать в роли спускового механизма в процессах возникновения нестационарных явлений в солнечной короне и хромосфере. Реальный разбаланс зарядов в солнечном ветре от вспышек может значительно превышать 10^{-8} . Можно возразить, что заряд планеты не может воздействовать на больших расстояниях, поскольку формально рассчитанный радиус Дебая для электронного экранирования заряда в плазме для межпланетного пространства составляет несколько метров. Известно, однако, что формула Дебая выводится для состояния термодинамического равновесия. Поскольку частота столкновений электронов на расстоянии орбиты Меркурия составляет всего 2 сут^{-1} , для установления термодинамического равновесия требуется значительное время. Кроме того, формула Дебая выводится в предположении, что

потенциальная энергия $eQ/R \ll kT$, где e — заряд, Q — количество частиц. Для заряда 10^{22} частиц расстояние R , на котором реализуется это условие, почти равно астрономической единице.

В условиях солнечной короны экранирование заряда происходит путем поляризации плазмы, но этот процесс протекает динамично. На него сильное влияние оказывают магнитные поля солнечного ветра.

Заряд величиной 10^{22} частиц за несколько секунд разгоняет пролетающие частицы до световых скоростей и отталкивает их от планеты. Однако при наличии магнитного поля, перемещающегося вместе с плазмой, эффективная масса частиц возрастает обратно пропорционально разбалансу частиц и накапливаемый заряд может возрастать на порядки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами исследования поведения вспышечных индексов в рентгеновском и оптическом диапазонах показали значительное различие между 22-м и 23-м солнечными циклами. Текущий цикл значительно отстает от предыдущего как количеству оптических и рентгеновских вспышек, так и по энергии, выделенной рентгеновскими вспышками: за первые 77 месяцев 23-го цикла она почти в пять раз меньше, чем за соответствующий период 22-го цикла.

Мы провели исследование периодичности вспышечной активности Солнца для двух последних циклов по индексам, которые отражают энергию, выделенную вспышками в рентгеновском диапазоне и в оптике. В спектрах мощности вспышечных индексов обнаружены статистически значимые пики, соответствующие периодам, которые ранее выявляли и другие исследователи. Высказано предположение, что колебания вспышечных индексов с периодами 36.5, 73, 116 сут могут быть обусловлены переменным электрическим зарядом планеты Меркурий. Сделанные оценки возможного заряда Меркурия показали, что электрическое воздействие заряженной планеты на электроны короны на порядки превосходит воздействие на них гравитационного поля Солнца и может выступать в роли спускового механизма в процессе возникновения солнечных вспышек. Такой подход является новым по сравнению с другими попытками объяснения возникновения солнечных вспышек воздействием внешних факторов.

К примеру, в работе [7] предполагается, что вспышки вызываются возмущениями в конвективной зоне, которые, в свою очередь, определяются приливными эффектами от планет. Однако энергетические оценки показывают невозможность такого влияния, к тому же в работе [1] показано, что и долготное распределение вспышек не соответствует предположению о влиянии на него приливных сил, создаваемых планетами. В то же время рассмотрение вопроса об электрическом воздействии планет на солнечную активность представляется нам сложной, но перспективной задачей. В принципе подобный избыточный электрический заряд может накапливаться в атмосфере Венеры, а также в магнитосферах Земли и Юпитера, эффективная площадь которых на три и шесть порядков больше площади Меркурия. При этом следует учитывать, что плотность частиц солнечного ветра убывает пропорционально квадрату расстояния от Солнца, и разбаланс зарядов также уменьшается с увеличением времени перемещения плазмы от Солнца до планеты. Реально избыточный заряд Земли и Юпитера может быть лишь на порядок больше заряда Меркурия. Отметим, что пик в СМ XFI, соответствующий сидерическому периоду вращения Солнца (25.5 сут), в рамках высказанной гипотезы может объясняться воздействием на активные солнечные долготы электрического заряда Юпитера.

1. Крымский Г. Ф., Петухов С. И., Николаев В. С. Поиск приливного влияния планет на некоторые свойства солнечной активности // Бюл. Науч.-техн. информ. СО АН СССР.—1979.—№ 4.—С. 7—12.
2. Antalova A. Daily soft X-ray flare indices (1979 and 1980) // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.—1999.—29, N 1.—P. 59—88.
3. Antalova A. Daily soft X-ray flare indices (1983 and 1984) // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.—2000.—30, N 1.—P. 43—52.
4. Atac T., Ozguc A. North-south asymmetry in the solar flare index // Solar Phys.—1996.—166, N 1.—P. 201—208.
5. Atac T., Ozguc A. Flare index during the rising phase of solar cycle 23 // Solar Phys.—2001.—198, N 3.—P. 399—407.
6. Bai T., Sturrock P. The 154-day and related periodicities of solar activity are subharmonics of a 25.8-day clock // Bull. Amer. Astron. Soc.—1991.—23, N 2.—P. 1027.
7. Blizard J. Prediction of solar flares months in advance // Astron. J.—1965.—70, N 9.—P. 667—675.
8. Krivsky L. Sudden changes of activity before proton flares (Events of August 1972) // Bull. Astron. Inst. Czech.—1973.—24, N 6.—P. 375.
9. Landscheidt T. Cyclic distribution of energetic X-ray flares // Solar Phys.—1986.—107, N 1.—P. 195—199.
10. Lean J., Brueckner G. Intermediate-term solar periodicities: 100—500 days // Astrophys. J.—1989.—337, N 1.—P. 568—578.
11. Ozguc A., Atac T. Confirmation of the 25.5-day fundamental period of the Sun using the north-south asymmetry of the flare index // Solar Phys.—1996.—163, N 1.—P. 183—191.
12. Rieger E., Share G. H., Forrest D., et al. A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? // Nature.—1984.—312, N 5995.—P. 623—625.

Поступила в редакцию 11.11.02