БОЛГАРСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК · BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, 1 · ASTROPHYSICAL INVESTIGATIONS, 1

София · 1975 · Sofia

Активность Солнца около эпох минимумов 11-летних циклов

Ангел Бонов

Из всех основных характеристик 11-летних циклов солнечной активности (минимум, рост, максимум, падение и др.) наиболее характерной является фаза минимума. В то время как максимум характеризует 11-летний цикл в основном с количественной стороны (наибольшее число активных областей, пятен, хромосферных вспышек и т. д.), то минимум цикла является очень существенной и при этом очень сложной переходной фазой в развитии солнечной активности. Мустель [1] отмечает известные два фундаментальные явления, наблюдаемые только в эпоху минимума солнечной активности:

1) смена гелиографической широты солнечной активности характеризуется центрами активности, которые перемещаются из низких гелиографических широт в высокие (закон Spoerer);

2) смену знака магнитной полярности биполярных групп солнечных пятен (закон Hale — Nicholson).

К этим фундаментальным явлениям добавим еще одно: количество солнечных пятен в эпоху минимума солнечной активности является результатом наложения двух последовательных 11-летних циклов — старого и нового. Это наложение, как следует из [2], продолжается 2—3 года.

Исходя из этих фундаментальных явлений и особенно из последнего, с целью охарактеризования активности Солнца около эпохи минимума мы вводим новый индекс

$$m = R_{m-1} + R_m + R_{m+1}. \tag{1}$$

Значение этого индекса m равно сумме среднегодовых чисел Вольфа для трех последовательных лет: года перед минимумом, года минимума и года после минимума. Из [3] следует, что индекс m более тесно связан с основными характеристиками 11-летнего цикла, чем среднегодовое число Вольфа (R_{min}) в году минимума в начале 11-летнего цикла. При этом корреляционные связи между m и характерными параметрами наиболее четко выражены для четных 11-летних циклов, чем для нечетных (по цюрихской номерации).

По данным, приведенным в [4], с дополнением цюрихских данных после 1960 г., составляем табл. 1. В ней четные 11-летние циклы после 1700 г. отделены от нечетных. R_{min} и m относятся к минимуму в начале соответственного 11-летнего цикла.

Таблица 1

Номер 11-летнего цикла	$R^{2n}_{\min}$	m^{2n}	Номер 11-летнего цикла	$R^{2n+1}_{\min}$	m^{2n+1}
—2	11	54	—3	0	2
0	5	32	—1	5	32
2	11,4	70,1	1	9,6	32,0
4	10,2	57,1	3	7,0	57,4
6	0,0	3,9	5	4,1	17,3
8	8,5	49,2	7	1,8	14,3
10	4,3	33,7	9	10,7	49,9
12	3,4	21,8	11	7,3	61,2
14	2,7	17,2	13	6,3	20,2
16	5,8	36,7	15	1,4	14,6
18	9,6	59,1	17	5,7	25,5
20	10,2	52,8	19	4,4	56,3

По данным табл. 1 строим две корреляционные диаграммы (рис. 1 и рис. 2). Диаграмма на рис. 1 построена для четных 11-летних циклов, а на рис. 2 — для нечетных.

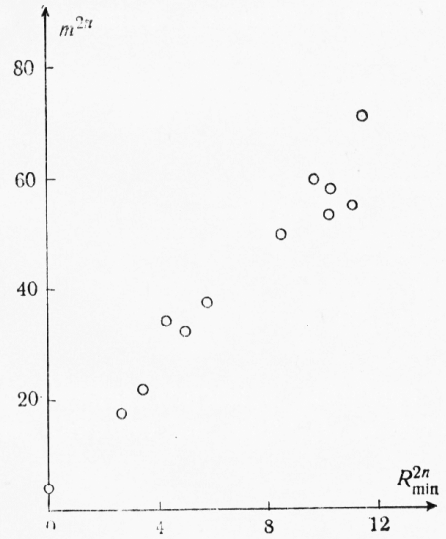

Рис. 1

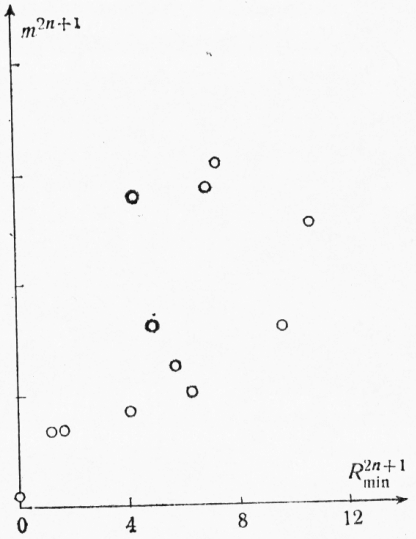

Рис. 2

Из диаграммы на рис. 1 непосредственно видно, что в эпоху минимума в начале всякого четного 11-летнего цикла между $R^{2n}_{\min}$ и m^{2n} существует вполне определенная зависимость: чем больше среднегодовая величина числа Вольфа в году минимума в начале четного 11-летнего цикла, тем больше величина m^{2n}.

По данным табл. 1 вычисляем коэффициент корреляции между $R^{2n}_{\min}$ и m^{2n}. При этом получаем

$$r[R^{2n}_{\min}, m^{2n}] = +0{,}978.$$

Так как число наблюдений, которым мы располагаем, небольшое ($n=12$), то необходимо исследовать значимость коэффициента корреляции между $R^{2n}_{\min}$ и m^{2n}. Используем для этой цели известный t-критерий Стьюдента [5]. Из данных, приведенных в табл. VIII в [5], при $k=n-2=10$-степенях свободы непосредственно находим, что вероятность абсолютной величины коэффициента корреляции удовлетворять неравенству

$$|r| \geq 0{,}708$$

вследствие некоторой случайности — $P=0{,}01=1\%$. Эта вероятность очень мала и практически можно принять, что она указывает на невозможность события. Следовательно, значительно бо́льшая абсолютная величина r, полученная нами, не вызвана случайностью, а является результатом существования корреляционной связи между $R^{2n}_{\min}$ и m^{2n}. Впрочем, это непосредственно видно из рис. 1.

Для установления вида связи между этими величинами (линейной или другой) вычисляем величину корреляционного отношения η, определенного Pearson [6], и получаем $\eta=0{,}979$. Эта величина η настолько близка к абсолютной величине r, что практически можно принять $\eta=|r$. Это равенство согласно [7] показывает, что корреляционная связь между $R^{2n}_{\min}$ и m^{2n} является линейной регрессией.

Действительно, положив $R^{2n}_{\min}=x$ и $m^{2n}=y$ и используя формулы из [5], вычисляем значения величин ϱ, s и t_ϱ:

$$\varrho = r\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = +5{,}10,$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-2}\left[\sum(y-\bar{y})^2 - \varrho^2\sum(x-\bar{x})^2\right]} = 4{,}11,$$

$$t_\varrho = \frac{\varrho\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}}{S} = +15{,}59.$$

Из табл. V в [5] при $k=10$-степенях свободы непосредственно находим, что вероятность абсолютной величины t_ϱ для выполнения неравенства

$$|t_\varrho| \geq 5{,}2$$

вследствие некоторой случайности равна нулю, т. е. означает невозможность. Следовательно, бо́льшая величина $|t_\varrho|$, полученная нами, является следствием существования линейной регрессии между $R^{2n}_{\min}$ и m^{2n}, которая представляется уравнением

$$m^{2n} = +5{,}10R^{2n}_{\min} + 5{,}9, \tag{2}$$

в котором вероятная ошибка свободного члена равна $\pm 1{,}3$ ($a=5{,}9\pm 1{,}3$).

При $k=10$-степенях свободы доверительные границы коэффициента регрессии в [2] с вероятностью $P=95\%$ будут

$$4{,}32 \leq \varrho \leq 5{,}88.$$

Регрессия [2] дает возможность вычислить с соответственной вероятностью значение m^{2n} после того, как станет известным значение $R^{2n}_{\min}$ в начале всякого четного 11-летнего цикла солнечной активности. В сущности, как видно из [1], при этом условии мы имеем возможность предварительно вычислить значение R_{m+1} и получить представление о том, как будет развиваться активность Солнца после минимума в начале четного 11-летнего цикла.

С другой стороны, получая предварительно величину m^{2n} в [1], на основе регрессии в [3] имеем возможность сделать прогноз роста (t) и числа Вольфа в эпоху максимума четного 11-летнего цикла солнечной активности.

Обозначим для простоты через R^0_m величину $R^{2n}_{\min}$ в начале четного 11-летнего цикла солнечной активности и через m_0 — величину m, вычисленную из (2) для $R^{2n}_{\min} = R^0_m$.

Доверительные границы m^{2n} с вероятностью $P=95\%$ согласно [6] будут следующие:

$$m_0 - 2{,}8\sqrt{1+\frac{n^2[m_0-\bar{m}]}{n\sum m^2-(\sum m)^2}} < m < m_0 + 2{,}8\sqrt{1+\frac{n^2[m_0-\bar{m}]}{n\sum m^2-(\sum m)^2}}.$$

Из рис. 2 непосредственно видно, что связь между $R^{2n+1}_{\min}$ и m^{2n+1} для нечетных 11-летних циклов солнечной активности является неопределенной. Вычисляя корреляционное отношение по данным в табл. 1 (для нечетных 11-летних циклов), получаем величину $\eta=0{,}068$. Согласно [7] малое значение η показывает, что для нечетных 11-летних циклов между $R^{2n+1}_{\min}$ и m^{2n+1} не существует не только линейная связь, но и вообще эти величины не связаны никакой другой связью.

Регрессия [2], которая действительна только для четных 11-летних циклов, подтверждает наше заключение в [3], что по некоторым основным параметрам четные 11-летние циклы существенно отличаются от нечетных. Это различие всегда нужно иметь в виду при проведении прогноза для развития 11-летнего цикла солнечной активности.

Литература

1. Мустель, Э. Р. Научные информации, вып. 10. М., 1968.
2. Солнечная система. т. 1. Солнце (перев. с англ.). М., 1957.
3. Бонов, А. Д. — Известия на Секцията по астрономия при БАН, т. 3, 1968.
4. Waldmeier, M. The Sunspot-Activity in the Years 1610—1960. Zürich, 1961.
5. Романовский, В. И., Применение математической статистики в опытном деле, М.—Л., 1947.
6. Смирнов, Н. В., И. В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. М., 1965.
7. Ивахненко, А. Г., В. Г. Лапа. Предсказание случайных процессов. Киев, 1971.

Solar Activity around the Periods of Minima of the 11-Year Cycles

Angel D. Bonov

(Summary)

Proceeding from the fact that the quantity of sunspots during minima is a result of the accumulation of the two 11-year cycles — the old and the new, the index is introduced

$$m = R_{m-1} + R_m + R_{m+1}.$$

The value of m is equal to the sum of the averages of the Wolf's Numbers for the three years: the year before the minimum, the year of the minimum and the year after the minimum.

A strong correlation exists for the even 11-year cycles (after the Zurich numbering) between $R^{2n}_{\min}$ and m^{2n} (Fig. 1). This is represented with $m^{2n} = +5{,}10\, R^{2n}_{\min} + 5.9$.

No particular relation exists between $R^{2n+1}_{\min}$ and m^{2n+1} for the odd 11-year cycles (Fig. 2).

Сектор астрономии
при Физическом институте БАН

Поступила 12. XII. 1972 г.