

СПЕКТРЫ ГОДОВЫХ ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ПОЛЕЙ

Старченко С.В., Яковлева С.В.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН,
Троицк, Москва, Россия*

SPECTRA OF ANNUAL WOLF NUMBERS AND CORRESPONDING ALTERNATING FIELDS

Starchenko S.V., Yakovleva S.V.

*Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the RAS,
Troitsk, Moscow, Russia*

Fast Fourier transformation (FFT) was applied to the annual Wolf numbers for the last 256 years (the entire freely available time series), 128 years and 64 years. The result revealed a clear dominance of harmonic spectral modes with periods from ten to twelve years. The next most important mode is the one with a period of 85 years. A hypothesis proposed is that the magnitude of the Wolf numbers is approximately proportional to the energy or, formally, to the square of the alternating magnetic field. The corresponding alternating magnetic fields were obtained and investigated using FFT according to the same scheme as the Wolf numbers. A comparatively even stronger dominance of harmonic spectral modes with periods of about the 21st (plus or minus a few years) year was obtained. At the same time, spectral modes with significantly longer periods and with shorter periods are practically insignificant.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-295-298>

Уже давно [1, 2] изучается ряд чисел Вольфа (W) и знакопеременный ряд (см. рис. 1) являющийся, по энергетическим соображениям [3], рядом квадратных корней из чисел Вольфа (SQRT). Однако нам не известно исследований со сравнительным анализом спектральных свойств рядов различной длины для определения основных гармонических периодов динамо Солнца. В этой работе использовалось быстрое преобразование Фурье за последние 64 года, 128 и 256 лет. Номера (k), амплитуды (A_k) и периоды (T) полученных основных гармоник/мод приведены в таблице.

В спектрах годовых чисел Вольфа доминируют моды с периодами около 11-ти лет, а все остальные моды не только менее значимы, но и внутренне противоречивы для различных длин рассматриваемого ряда. Несколько выделяется лишь мода около 85 лет – см. верхнюю часть рис. 2.

Знакопеременные поля, по-видимому, и вовсе полностью доминируют модами с периодами около 21 года, практически не оставляя места для других мод. Это особенно хорошо видно на нижней части рис. 2. Разумеется, все эти соображения верны для периодов меньших полудлины ряда – примерно 150 лет.

Таблица.

W	64			128			256	
k	A _k	T	k	A _k	T	k	A _k	T
0	83.8		0	83.9		0	82.4	
1	15.9	64.0	1	16.6	128.0	3	10.5	85.0
4	6.4	16.0	3	6.5	42.7	22	14.0	11.6
5	8.6	13.0	11	8.7	11.6	23	20.8	11.1
6	36.2	10.7	12	36.1	10.7	24	20.6	10.7
7	11.1	9.1	13	12.6	9.8	25	10.3	10.2
8	7.0	8.0	15	6.7	8.5	26	9.7	9.9
SQRT	64			128			256	
k	A _k	T	k	A _k	T	k	A _k	T
0	0.009		0	0.18		0	0.03	
1	0.73	63	5	0.64	25.4	10	1.79	25.6
2	0.69	31.5	6	6.21	21.2	11	3.05	23.3
3	6.23	21	7	1.11	18.1	12	4.16	21.3
4	0.91	15.8	9	0.44	14.1	13	1.75	19.7
5	0.62	12.6	10	0.56	12.7	14	1.36	18.3

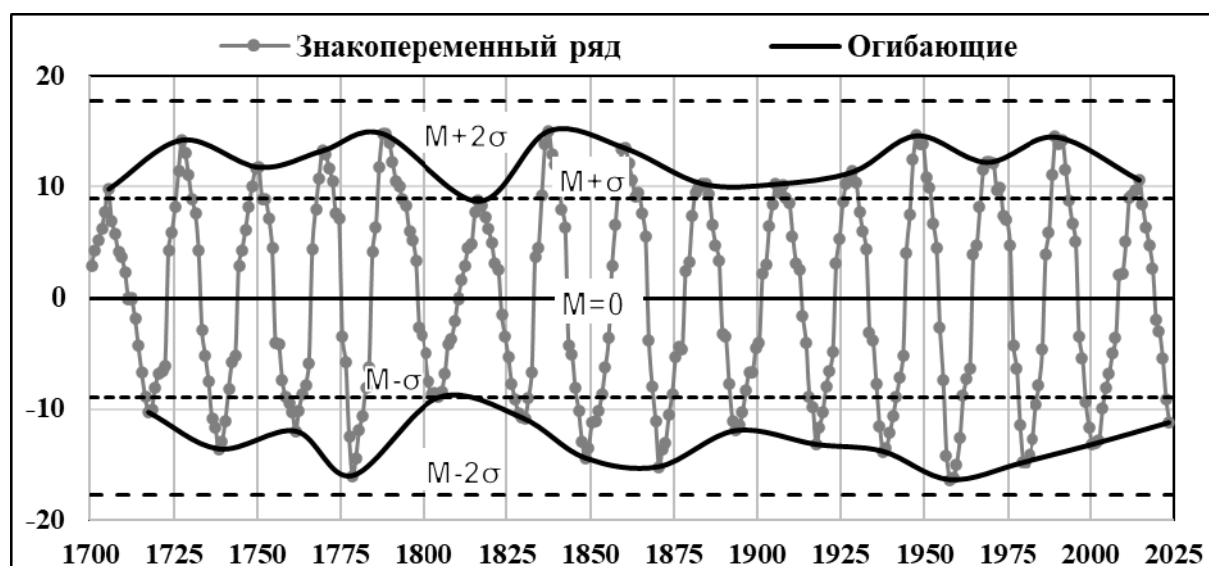


Рис. 1. Эволюция знакопеременного поля со средним значением M и отклонениями.

Из рис. 3 видно, что наибольшие по амплитуде пять мод уже хорошо приближают наблюдаемые ряды. Поэтому представляется весьма вероятным, что динамо Солнца находится в слабо нелинейном режиме, когда значимы лишь первые несколько гармонических мод. Это может объяснить успех в моделировании динамо почти линейными или просто линейными моделями как, например, знаменитая модель Паркера.

Спектральный анализ [4] рядов Вольфа (1700–1987) выявил несколько гармонических мод с наиболее значимыми периодами от 10-ти до 12-ти лет и затем – 103 года, что хорошо согласуется с нашими результатами. Непрерывный спектр этих же рядов исследовался в недавней работе [5],

где получены аналогичные результаты. К сожалению, нам не известно соответствующих исследований знакопеременных рядов и, надеемся, мы начали значимо заполнять этот, на наш взгляд, зияющий пробел.

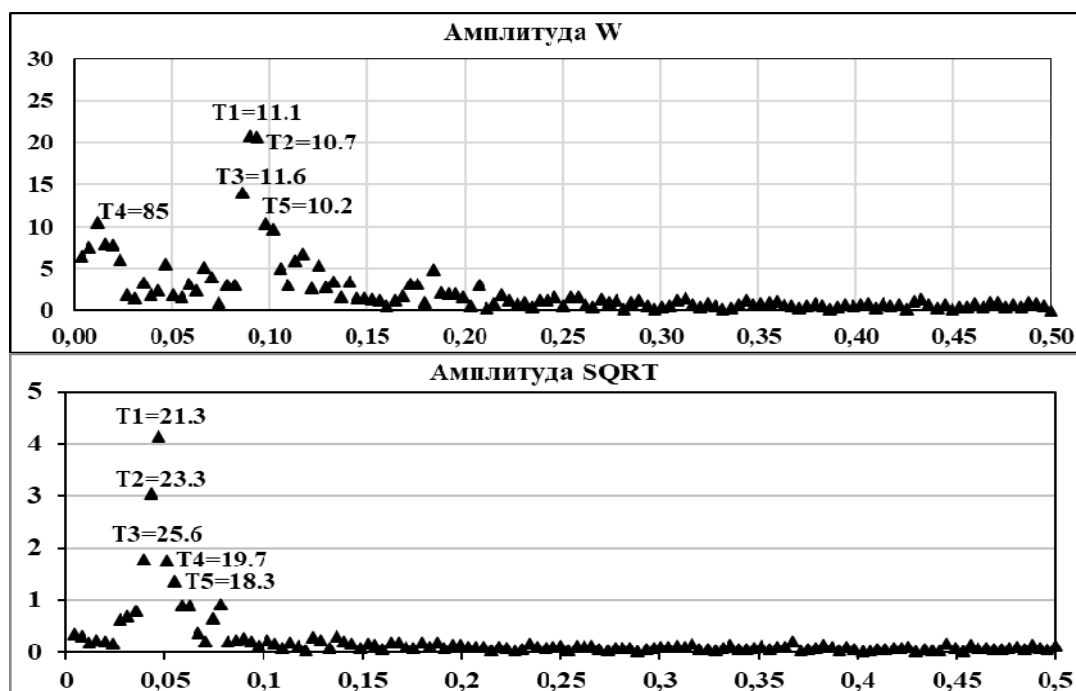


Рис. 2. Графики зависимости амплитуды от частоты с нанесенными значениями периодов 5-ти наиболее значимых гармоник за 256 лет

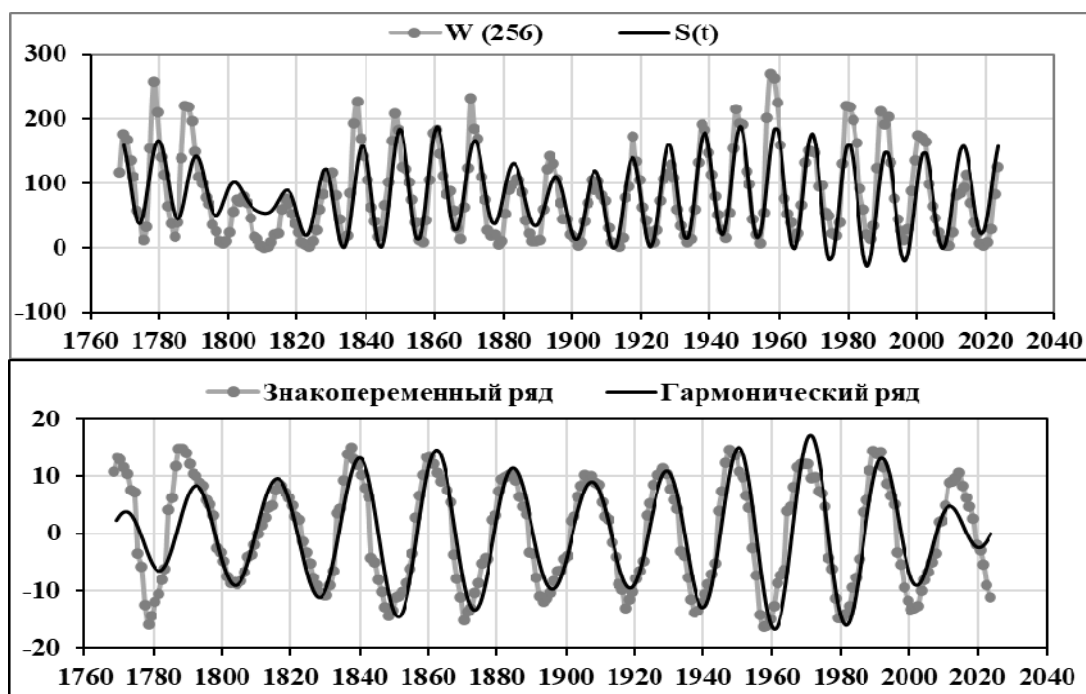


Рис. 3. Сравнение реального ряда чисел Вольф и его знакопеременной формы с гармоническими рядами $S(t)$, полученными по 5-ти главным гармоникам из таблицы.

Основные результаты

– Быстрое преобразование Фурье применялось к годовым числам Вольфа за последние 64 года, 128 и 256 лет. В результате выявлено доминирование гармонических спектральных мод с периодами от десяти до двенадцати лет. Следующей по значимости в расчетах за 256 лет является мода с периодом 85 лет.

– Выдвигается гипотеза о том, что величина чисел Вольфа примерно пропорциональна энергии или формально – квадрату знакопеременного магнитного поля. Получены соответствующие знакопеременные ряды, которые были исследованы по той же схеме, что и числа Вольфа.

– Для знакопеременного ряда выявлено еще более сильное доминирование гармонических спектральных мод с периодами около 21-го года (плюс-минус несколько лет). При этом практически не значимы как спектральные моды с более длинными периодами, так и с более короткими периодами.

Литература

1. *Anderson C.N.* A representation of the sunspot-cycle // 1939. V. 44. N 21.
2. *Bracewell R.N.* The sunspot number series // *Nature*. 1953. V. 174. P. 649-650.
3. *Старченко С.В., Яковлева С.В.* Корреляция временных рядов чисел Вольфа и их производных // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2022. Т. 62. № 6. С. 693–701.
4. *Kane R.P., Trivedi N.B.* Spectral analysis of annual sunspot series--an update // *PAGEOPH*. 1991. V. 135, N. 3. P. 463-474.
5. *Frick P., Okatev R., Sokoloff D.* Spectral Properties of Low-order Dynamo Systems // *Russian Journal of Nonlinear Dynamics*. 2022. V. 18. No. 2. P. 289–296.