

УДК 523.982

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О ПЯТНООБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЛНЦА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 2650 ЛЕТ

В. И. Ермаков^{1,3}, В. П. Охлопков², Ю.И. Стожков³

Изложены результаты спектрального анализа ряда чисел Вольфа, полученных с помощью инструментальных наблюдений за Солнцем (с 1610 года) и с помощью данных о геоэффектах (до 1610 года), коррелированных с пятнообразованием на Солнце. Показано, что спектр ряда является линейчатым, в нем присутствуют две долговременно стабильные линии с периодами 11.080 ± 0.006 года и ~ 198 лет. В преобразованном знакопеременном ряде чисел (22-летний ряд Хейла) кроме линии с периодом 22.15 года обнаружена линия с периодом 19.86 года, совпадающая с синодическим периодом вращения пары Юпитер–Сатурн. Найдено эмпирическое соотношение, связывающее период 22.15 года с периодом 19.86 года и с периодом вращения Солнца вокруг центра масс 178.77 г. Полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что планеты оказывают влияние на пятнообразование на Солнце.

Одной из основных количественных характеристик пятнообразования на Солнце являются числа Вольфа. В настоящее время известны следующие данные об этих числах: ежедневные значения, начиная с 1818 года, среднемесячные значения, начиная с

¹Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, г. Долгопрудный Московской области.

²Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва.

³Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва.

1749 года и среднегодовые значения чисел с 1610 года по настоящее время [1]. Все эти данные получены в результате обработки инструментальных наблюдений за Солнцем, которые проводятся с момента изобретения Галилеем телескопа.

Кроме непосредственных наблюдений за пятнами на Солнце для количественного описания пятнообразования используются также наблюдения за изменениями некоторых геопараметров, которые коррелированы с числами солнечных пятен. В первую очередь, к ним относится частота появления полярных сияний. Используются также данные о космогенных изотопах: углерода ^{14}C , бериллия ^{10}Be и других, содержащихся в природных архивах (кольцах деревьев, полярных льдах и др.). Используя данные о вариациях геопараметров, преимущественно данные о полярных сияниях, Шове [2, 3] нашел значения следующих параметров пятнообразования на Солнце за прошлый период до начала телескопических наблюдений за Солнцем: среднегодовые значения чисел Вольфа, начиная с 1500 года, а также данные о годах минимумов и максимумов 11-летних циклов пятнообразования, начиная с 653 года до н.э., с указанием ориентировочных значений чисел Вольфа в годы их максимумов. В целом имеющиеся данные о числах Вольфа охватывают период 2654 года или 239 одиннадцатилетних циклов. Совокупность этих данных может быть использована для отыскания долговременно стабильных периодичностей пятнообразования на Солнце, что имеет исключительно важное значение как для проникновения в сущность пятнообразования на Солнце (и соответственно солнечной активности), так и для изучения солнечно-земных связей. Временная длительность совокупности данных достаточна для того, чтобы обнаружить в пятнообразовании долговременно стабильные периоды (сравнимые с периодами вращения планет).

Поиск долговременно стабильных периодичностей в пятнообразовании проводился следующим образом. В начале исследования был осуществлен спектральный анализ ряда среднегодовых чисел Вольфа за период с 1500 по 2001 год (рис. 1а).

Как видно из рисунка, этот ряд представляет собой амплитудно-модулированное колебание. Фурье-анализ ряда показал, что его спектр является не сплошным, а линейчатым. Он содержит в себе 7 линий, амплитуда которых превышает уровень значимости 95% (рис. 1б). Расчетным путем было установлено, что первые 3 линии характеризуют модулирующее колебание, линия с периодом 11.08 года – модулируемое колебание, а последние 3 линии – верхнюю боковую полосу частот. Периоды этих линий определяются соотношениями

$$T_{10.77} = \frac{T_{396} \cdot T_{11}}{T_{396} + T_{11}}, \quad T_{10.49} = \frac{T_{196} \cdot T_{11}}{T_{196} + T_{11}}, \quad T_{10.02} = \frac{T_{111} \cdot T_{11}}{T_{111} + T_{11}}.$$

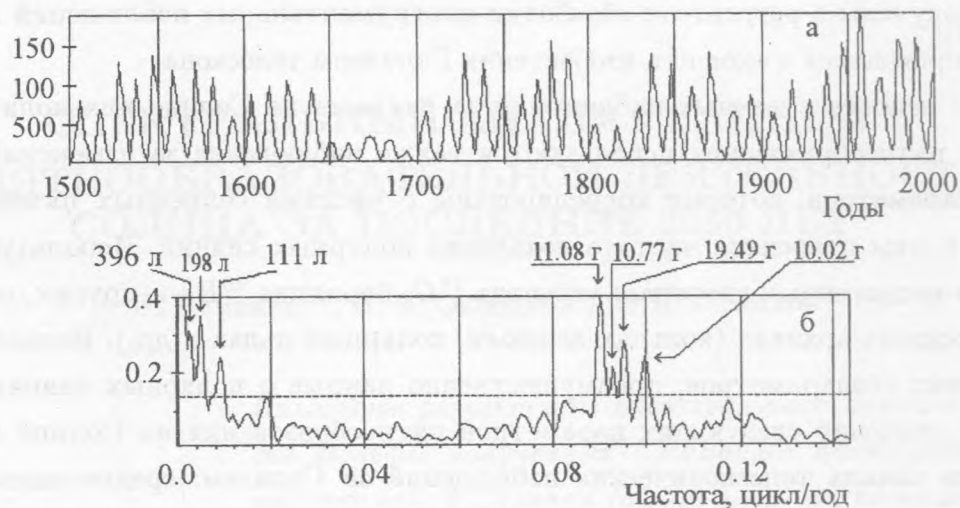


Рис. 1. Ряд среднегодовых значений чисел Вольфа за период с 1500 по 2001 год (а) и его амплитудно-частотный спектр (б).

Отсюда следует, что рассматриваемый ряд чисел Вольфа представляет собой не обычное амплитудно-модулированное (АМ) колебание, а АМ – колебание с одной (верхней) боковой полосой (АМ с ОБП). Отличительная особенность такого колебания заключается в том, что оно является модулированным как по амплитуде $A(t)$, так и по фазе $\varphi(t)$. Математически оно выражается как $x(t) = A(t) \cdot \cos[2\pi/T_{11} + \varphi(t)]$. Из-за наличия члена $\varphi(t)$ его период с течением времени t колеблется вокруг значения $T_{11} = 11.08$ года.

Проведенный Фурье-анализ не дает информации о том, насколько стабильными во времени являются периоды найденных спектральных линий. Поэтому для определения долговременной стабильности периода T_{11} был использован весь ряд чисел Вольфа продолжительностью 2654 года. Расчеты показали, что среднее значение периодов T_{11} и среднеквадратичные отклонения σ от них, определенные отдельно по максимумам и отдельно по минимумам 11-летних циклов, равны $T_{11} = 11.077$ г. и $\sigma = 1.8$ г., $T_{11} = 11.082$ г. и $\sigma = 1.5$ г., соответственно. При указанных продолжительности ряда и значениях σ величина $T_{11} = 11.080 \pm 0.006$ г.

С целью проверки временной устойчивости линий с периодами 396, 198 и 111 лет все 11-летние циклы ряда были представлены в виде треугольников с вершинами в их максимумах и с основаниями в минимумах. Затем среднегодовые значения чисел Вольфа (с учетом линейной интерполяции между экстремумами) были подвергнуты обработке

скользящим полиномом 1- степени продолжительностью 50 лет (рис. 2).

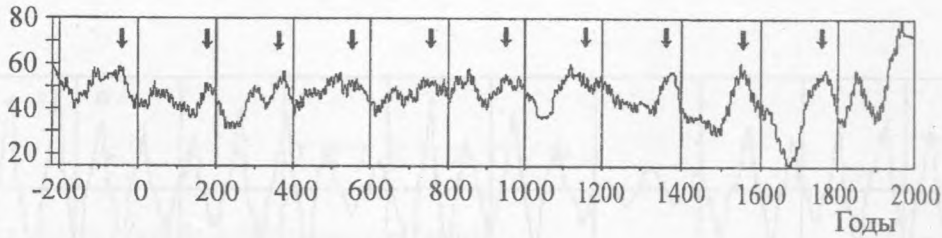


Рис. 2. Ряд Шове за период с 219 г. до н. э. по 2000 г. н.э. после обработки скользящим полиномом 1 степени продолжительностью 50 лет.

Как видно из рисунка, ~ 200 -летняя периодичность устойчиво присутствует на протяжении всей длительности ряда (см. стрелки на рис. 2), ~ 100 -летняя – на протяжении последних ~ 300 лет, а ~ 400 -летняя практически не наблюдается. Наиболее вероятно, что появление последней в спектре, представленном на рис. 1б, связано с ограниченностью анализируемого промежутка времени (1500–2001 гг.).

Таким образом, проведенные расчеты показали, что в спектре данных пятнообразования на Солнце присутствуют 2 долговременно стабильных периода – 11.08 и 198 лет. Ранее было показано, что ~ 200 -летняя периодичность обнаруживается в вариациях углерода ^{14}C [4, 5], бериллия ^{10}Be [6]. Она обнаружена также в данных о солнечных пятнах, наблюдаемых невооруженным глазом в древнем и средневековом Китае [7].

С учетом магнитных характеристик солнечных пятен фундаментальный цикл пятнообразования на Солнце равен двум 11-летним циклам, т.е. ~ 22 годам. За это время распределение магнитной полярности биполярных групп пятен изменяется на обратное и снова возвращается к исходному. В 22-летнем цикле числа Вольфа чередующихся 11-летних циклов указываются с противоположными знаками.

Для отыскания периодов спектральных линий в 22-летних циклах ряд чисел Вольфа за интервал времени с 1500 по 2001 год был преобразован в знакопеременный (см. рис. 3а). Амплитудно-частотный спектр этого ряда представлен на рис. 3(б). Как видно из этого рисунка, кроме линии с $T_{22} = 22.15$ г. в нем присутствует линия с периодом $T_{19} = 19.86$ г., который точно соответствует синодическому периоду вращения пары Юпитер–Сатурн ($T_{19} = T_{\text{Ю-С}}$). Расчеты показывают, что спектральная линия T_{22} связана с $T_{\text{Ю-С}}$ и периодом вращения Солнца вокруг центра масс солнечной системы $T_{\text{ЦМ}} = 178.77$ г. эмпирическим соотношением $1/T_{22} = 1/T_{19} - 1/(T_{178} + T_{19}/2)$ [8]. В

свою очередь, найденный выше период $T_{198} = T_{ЦМ} + T_{Ю-С}$. Весьма точно выполняются также эмпирические соотношения $T_{ЦМ} = 9T_{Ю-С}$ и $T_{198} = 10T_{Ю-С}$.

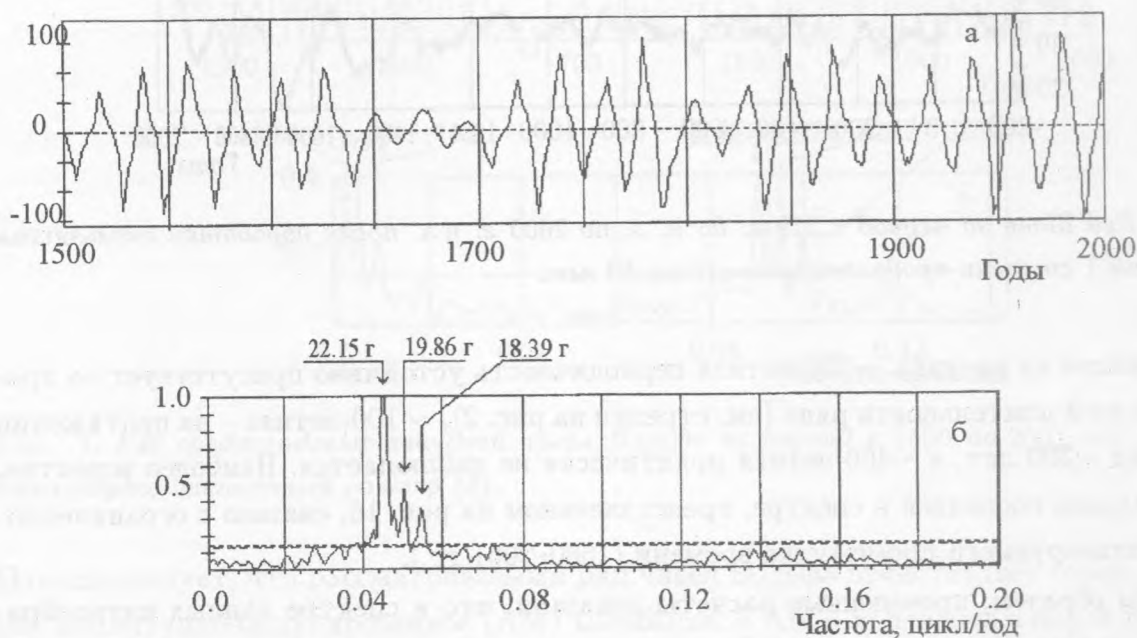


Рис. 3. Знакопеременный ряд чисел Вольфа за период с 1500 по 2000 год (а) и его амплитудно-частотный спектр (б).

В результате проведенного выше анализа установлено, что амплитудно-частотный спектр ряда данных пятнообразования на Солнце является не сплошным, а линейчатым, присутствующие в спектре 11-ти, 22-х и 200-летние периодичности являются долговременно стабильными, а численные значения этих периодичностей связаны эмпирическими соотношениями с периодами вращения планет и Солнца. Полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что на вариации пятнообразования на Солнце влияют движения планет. При этом наибольшее влияние оказывает пара Юпитер-Сатурн. Однако механизм этого влияния не ясен.

Найденные значения периодов и фаз T_{11} и T_{200} могут быть использованы для прогнозирования экстремумов 11-ти, 22-х и 200-летних циклов в солнечной активности и в изменении климата на многие сотни лет вперед. Особенностью цикла T_{200} является то, что его максимум наблюдается во второй половине четных веков. В 21-м веке должен наблюдаться спад этого цикла, что должно сопровождаться спадом СА.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ (тема: "Взаимодействие гелиокосмических факторов с атмосферой Земли").

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интернет: <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>.
- [2] *Shove D. J.* The sunspots cycle, 649 B.C. to A.D. 2000, *J. of Geophys. Res.*, **60**, N 2, 127 (1955).
- [3] *Shove D. J.* Sunspots cycles. Stroudsburg: Hutchinson Ross. Publ., 1983.
- [4] *Дергачев В. А.* Геомагнетизм и аэрономия, **36**, N 2, 49 (1996).
- [5] *Ривин Ю. Р.* Известия Академии наук, сер. физ., **63**, N 11, 2113 (1999).
- [6] *Дергачев В. А., Чистяков В. Ф.* 210- и 2400-летние солнечные циклы и колебания климата. Солнечный цикл. СПб: ФТИ им А.Ф. Иоффе, 1993, с. 112-130.
- [7] *Наговицин Ю. А.* Геомагнетизм и аэрономия, **41**, N 5, 711 (2001).
- [8] *Jose P. D.* Sun's Motion and Sunspots. *The Astronomical Journal*, **70**, N 3, 193 (1965).

Поступила в редакцию 31 октября 2002 г.