

## О ГОДОВЫХ ВАРИАЦИЯХ ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Вопрос о наличии в вариациях индексов солнечной активности периодичности один год был впервые исследован Р. Вольфом [5]. В дальнейшем эта проблема достаточно часто обсуждалась в астрономической литературе, например, [2-4]. В результате этих исследований был сделан вывод, что, появление годичного периода связано с изменениями гелиографической широты центра диска Солнца  $B_0$  в течение года. Причем асимметрия активности полушарий усиливает амплитуду годичной волны. Этот чисто геометрический эффект, обусловленный изменениями  $B_0$ , в первую очередь связывают с колебаниями наблюдаемого числа мелких пятен из-за их перспективного сокращения.

Однако, имеется другой механизм, который также может привести к изменению наблюдаемого числа мелких пятен, связанный с наличием в земной атмосфере мелких неоднородностей, которые, изменяя фронт световой волны, ухудшают качество изображения Солнца. При наличии сезонного хода качества изображений Солнца он также может привести к годовым вариациям чисел Вольфа  $W$ .

Целью настоящей работы является выявление годичной периодичности и ее временных вариаций, вызванных периодическими изменениями  $B_0$ , сезонным ходом качества изображений и, возможно, другими причинами.

Материалом для исследований послужили ряды среднемесячных значений чисел Вольфа Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН, полученные в 1958-1993 гг., для всего диска Солнца  $W$ , для северного полушария Солнца  $W_N$  и южного  $-W_S$ . Кроме того, за этот же период были рассчитаны среднемесячные индексы качества  $K(t)$ , полученные усреднением оценок качества ежедневных снимков Солнца, сделанных по пятибалльной шкале. А

также международный ряд среднемесячных чисел Вольфа 1749–2008 гг., опубликованный в Solar Geophysical Data.

Ранее для исследования годичной волны использовался метод наложенных эпох (например в [2]), который позволяет выявить форму годичной волны, но не позволяет проследить во времени ее изменения с достаточным разрешением. Спектральный анализ, использованный в [3], также требует для удовлетворительного частотного разрешения большого временного усреднения и, кроме того, не дает наглядного представления о форме годичного сигнала. Кроме того, ортогональная система функций разложения задается заранее, что вносит в результаты некоторый элемент субъективизма.

Для решения поставленной задачи мы использовали метод разложения в ряд по естественным ортогональным функциям, главное преимущество которого в том, что базисная система функций не выбирается заранее, а получается естественным образом из исходных данных.

В нашем исследовании исходные данные были представлены в виде прямоугольной матрицы, в которой строки состоят из 12 среднемесячных значений исследуемого индекса в данный год. Разложение искали в виде ряда:

$$W_{ij} = \sum T_{ik} X_{kj},$$

где  $X_{kj}$  –  $k$ -я координатная функция, описывающая форму годовой волны, а  $T_{ik}$  – сопряженная временная функция, описывающая поведение исследуемого параметра со временем. Проблема отыскания совокупности координатных функций сводится к проблеме отыскания собственных значений матрицы корреляционных моментов между значениями индекса в точках  $x_j$  и  $x_k$ , построенных по совокупности реализаций в  $m$  различных моментах времени. В этом случае ее собственные значения  $\lambda_k$  можно рассматривать как оценки вкладов соответствующих координатных функций. Если из  $W_{ij}$  предварительно исключить средние значения (по строке), то  $\lambda_k$  совпадет с дисперсиями соответствующих временных функций. Взаимная ортогональность временных функций означает их статистическую независимость, что позволяет предположить линейную независимость комплексов физических причин, вклады которых описываются раз-

ными координатными функциями. Полученный ряд разложения обычно быстро сходится.

Разложение в ряд по естественным ортогональным функциям  $W$  за 1958–1993 гг. показывает, что ряд  $W(t)$  с хорошей достоверностью можно представить двумя компонентами. Вклад первой компоненты разложения – 96,2%, а второй – 1,3%. Вклад остальных 10 компонентов около 2,5%.

Сравнение вида первой координатной функции  $X_1(n)$  (рис.1) с формой годовой волны, выявленной при применении к среднемесячным данным  $W(t)$  метода наложенных эпох, показывает их почти полную идентичность. Отметим, что у обеих кривых наблюдается наличие максимумов в районах около 2 и 9 месяцев и минимумов первого около 5 и 6 месяцев, и второго, более глубокого, приходящегося на 11 месяц. Т.е. обе кривые показывают наличие полугодовой волны, наложенной на более длинноволновое колебание, возможно, двухгодичное. Появление полугодовой волны, возможно, связано с изменением числа наблюдаемых мелких пятен из-за изменения  $B_0$ , когда первую половину года преобладает северное полушарие Солнца, а в другую – южное. Однако в этом случае первый максимум должен приходиться на 3-й месяц года, а не на второй. Возможно, это смещение как-то связано с сезонным ходом качества изображения Солнца?

Первая временная функция  $T_1(t)$  описывает временные изменения  $X_1(n)$ . Эти изменения сводятся к временным изменениям масштабного множителя к функции  $X_1(n)$  без изменения формы самой функции. Временной ход масштабных множителей, описываемых  $T_1(t)$ , хорошо совпадает с временным ходом циклической кривой чисел Вольфа (рис.2, кривые  $T_1$  и  $W$ ), коэффициент корреляции – 0,98. Т.е. форма годовой волны, описываемая первой координатной функцией  $X_1(n)$ , модулируется 11-летним циклом.

Вторая координатная функция  $X_2(n)$  с соответствующей ей временной функцией  $T_2(t)$  описывают особенности формы 11-летних циклов и представляют в совокупности пилообразные колебания с изменяющейся амплитудой и фазой на  $\pm 180^\circ$  в зависимости от фазы 11-летнего цикла. По виду временной функции  $T_2(t)$ , представляющей первую производную  $W(t)$ , можно хорошо определять экстре-

мальные и переломные точки 11-летних циклов. Появление этих годовых пилообразных колебаний – результат применения к данным  $W(t)$  используемого математического аппарата.

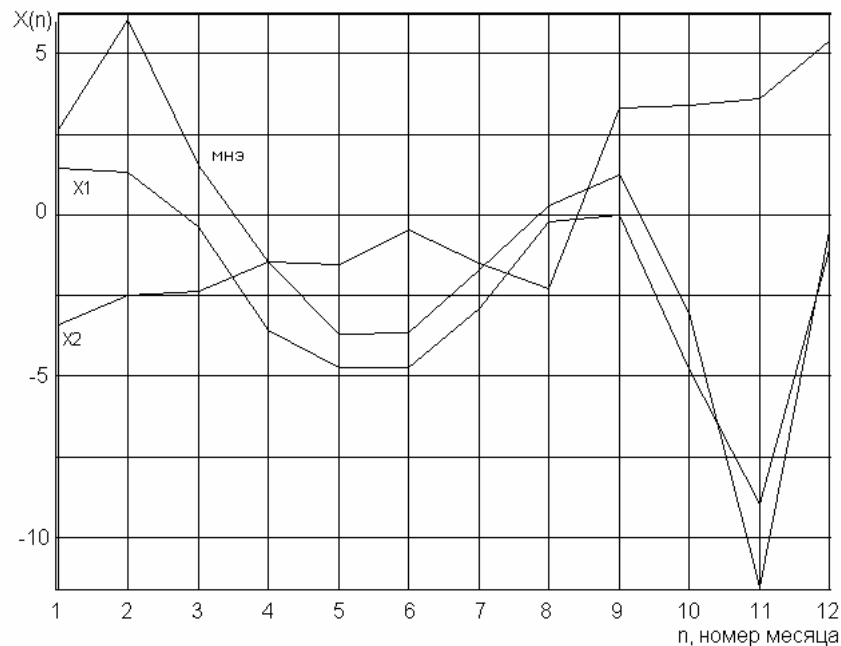


Рис.1. Первая -  $X_1$  и вторая -  $X_2$  координатные функции разложения  $W(t)$  за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям, мнэ – форма годовой волны, полученная методом наложенных эпох

Разложение ряда среднемесячных значений качества изображения Солнца  $K(t)$  за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям показывает, что ряд  $K(t)$  с точностью 99,5% можно представить с помощью одной координатной (рис. 3) и соответствующей ей временной функциями (рис.4). Вид годовой волны качества изображения Солнца, описываемый первой координатной функцией, имеет явный сезонный ход. Максимумы функции наблюдаются в марте и сентябре-октябре, минимум – в мае-июне. Наличие регулярного сезонного хода неминуемо должно привести к

годовым вариациям чисел Вольфа из-за изменения числа наблюдаемых мелких пятен с изменением качества изображения Солнца.

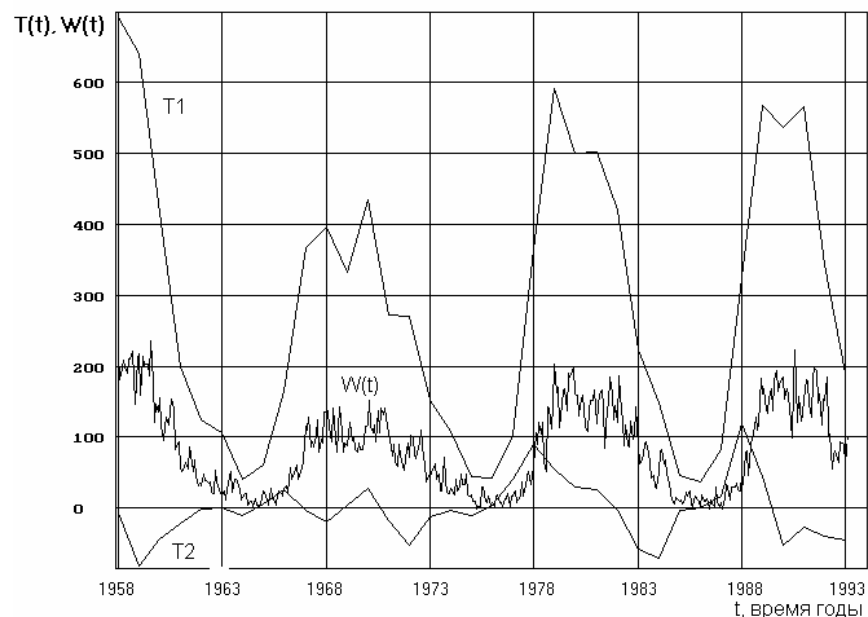


Рис.2. Первая -  $T_1$  и вторая -  $T_2$  временные функции разложения  $W(t)$  за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям

Поскольку ряд  $K(t)$  хорошо описывается только первыми членами разложения, то в этом случае значения временной функции показывает, во сколько раз в данный момент времени изменилась амплитуда координатной функции. Повышенное значение временной функции в 1964–1967 гг. может говорить о том, что условия в земной атмосфере для наблюдений Солнца были в это время более благоприятными, либо оценки качества наблюдателями были завышены. Спектральный анализ временной функции с помощью метода максимальной энтропии, позволяющего выявить периодичности, сравнимые с длиной ряда, дает возможность предположить наличия

в вариациях качества изображения Солнца колебаний с периодами 20, 7 и 3 года.

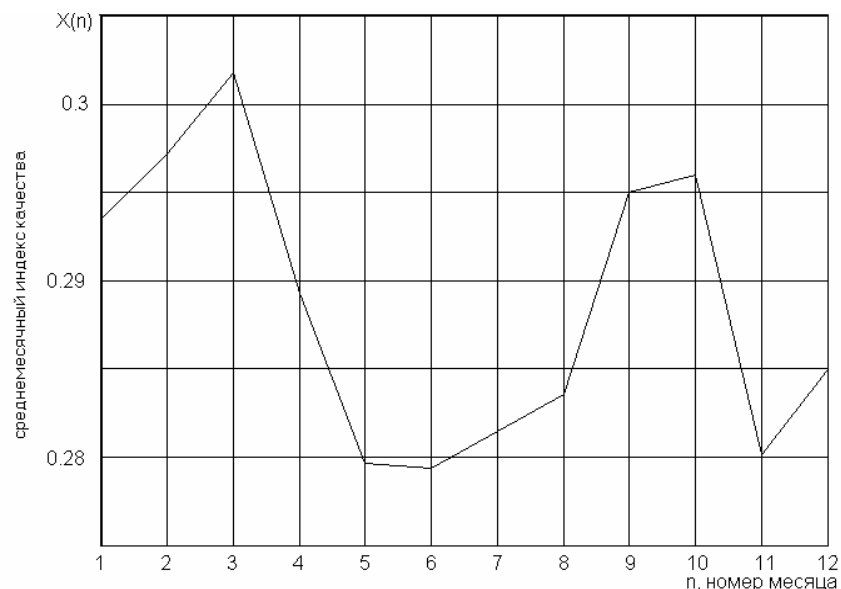


Рис.3. Первая координатная функция разложения ряда среднемесячных значений качества изображения Солнца за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям

Сравнивая первые координатные функции разложения  $W(t)$  на рис.1,  $K(t)$  на рис.3 и форму годовой волны, полученную методом наложенных эпох, на рис.1, можно видеть их достаточно хорошее подобие. Второй максимум на этих кривых полностью совпадает, а положение первого максимума на разных кривых несколько отличается. Исследуем устойчивость положения максимумов годовой волны, рассчитав методом наложенных эпох вид годовой волны по усредненным десятилетним интервалам, скользящим по исходной выборке с шагом один год. Результаты расчетов для  $W(t)$ , представленные рис.5 в виде карты изолиний в координатах время-месяц, показывают устойчивое положение первого максимума, приходящегося на 2-ой месяц года и вариации положения 2-го максимума между 8

9-ым месяцами. Это несколько не соответствует как геометрической гипотезе, так и вариациям чисел Вольфа из-за изменения сезонного хода качества изображения Солнца. Для обеих гипотез максимумы должны приходиться на 3-ий и 9-ый месяцы года. Это говорит о том, что существует конкурирующий механизм, смещающий максимумы.

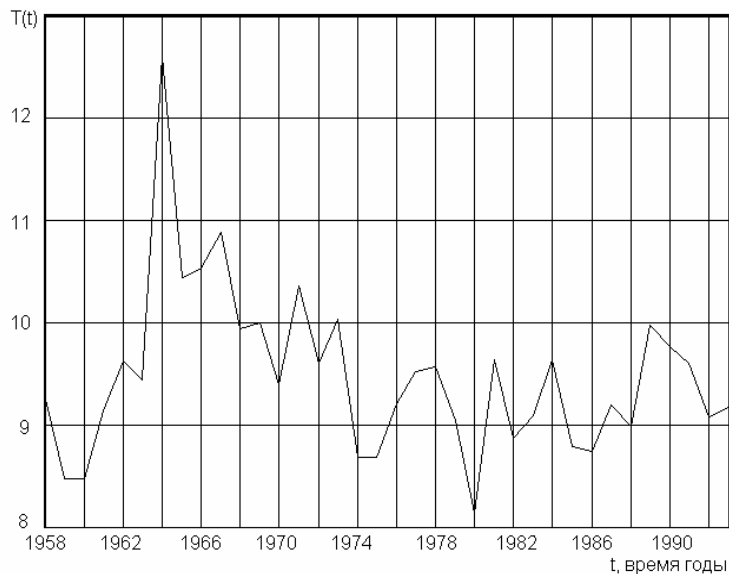


Рис.4. Первая временная функция разложения ряда среднемесячных значений качества изображения Солнца за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям

Чисто геометрических эффект можно выявить, рассматривая временные ряды чисел Вольфа отдельно для северного  $W_N$  и южного  $W_S$  полушарий Солнца. Сравнивая рис. 6 и рис. 7, видим асимметрию мощности 1 и 2 максимумов в разных полушариях, что говорит о наличии геометрического эффекта, связанного с периодическими изменениями гелиографической широты центра диска Солнца. Вместе с тем, отметим, что в северном полушарии кроме основного максимума имеется ослабленный максимум, приходящийся на 2-ой месяц, а в южном полушарии кроме основного максимума,

приходящегося на 3-й месяц, наблюдается второй максимум, приходящийся на 12-й месяц года.

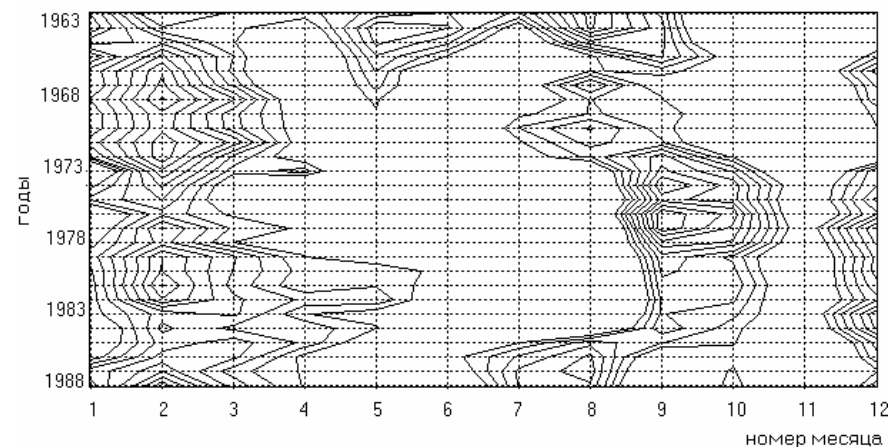


Рис.5. Изменение формы годовой волны по данным о числах Вольфа для всего диска Солнца за 1958–1993 гг., выделенное методом наложенных эпох

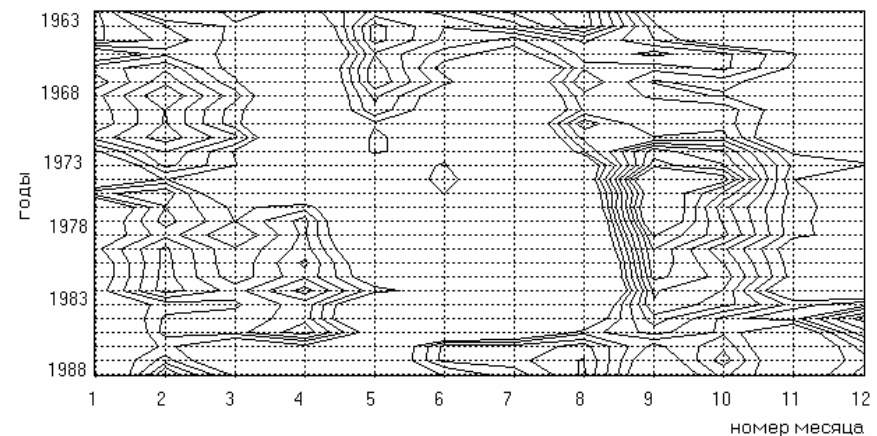


Рис.6. Изменение формы годовой волны по данным о числах Вольфа для северного полушария Солнца за 1958–1993 гг., выделенное методом наложенных эпох

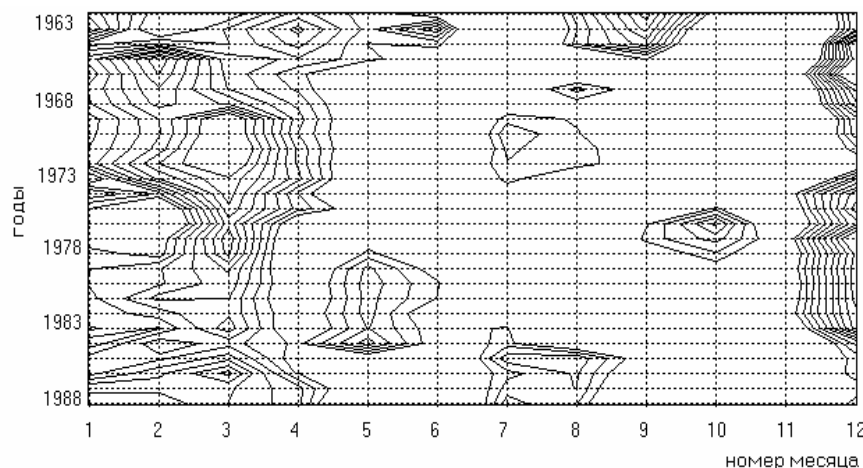


Рис.7. Изменение формы годовой волны по данным о числах Вольфа для южного полушария Солнца за 1958–1993 гг., выделенное методом наложенных эпох

Рассмотрим некоторые особенности формы годовой волны, которые выявляются при разложении в ряд по естественным ортогональным функциям рядов  $W_N$  и  $W_S$  на рис. 8 и рис. 9. Предварительно ряды  $W_N$  и  $W_S$  были нормированы на среднее по строке для исключения влияния одиннадцатилетнего цикла.

Первые четыре координатные функции разложения в ряд по естественным ортогональным функциям нормированных рядов  $W_N$  и  $W_S$  (рис. 8) дают вклад в общие вариации чисел Вольфа 1,3%, 0,8%, 0,5%, 0,3% соответственно. Первые координатные функции разложения  $W_N$  и  $W_S$ , представляющие собой пилообразные колебания, меняющие фазу на  $180^\circ$  с фазой 11-летнего цикла, и описывающие особенности формы циклических кривых, подобны. Их временные функции, при общем подобии, несколько различаются из-за различий формы 11-летних циклов в северном и южном полушариях.

Вторые координатные функции разложения  $W_N$  и  $W_S$ , собственно, и есть годовая волна, которую мы исследуем. Их небольшое различие для  $W_N$  и  $W_S$  вызвано особенностями влияния на годовые вариации в северном и южном полушариях изменений гелио-

широты диска Солнца. Отметим, что максимум годовой волны и в северном, и южном полушариях приходится на 2-ой месяц года, а не на третий, как того требуют геометрический эффект и гипотеза сезонного влияния качества изображения Солнца. А это говорит о наличии третьего механизма, влияющего на годовые вариации чисел Вольфа. Это может быть связано с годичными изменениями угловых размеров Солнца при орбитальном движении Земли, либо с влиянием Земли, на вариации солнечной активности. При этих гипотезах максимум годовой волны должен приходиться на 12-й месяц года. Свидетельство этому наблюдается на рис. 7. Тем не менее, все три фактора вместе дают вклад 0,8%. Причем вклад последнего фактора, по-видимому, меньше, чем каждого из двух первых.

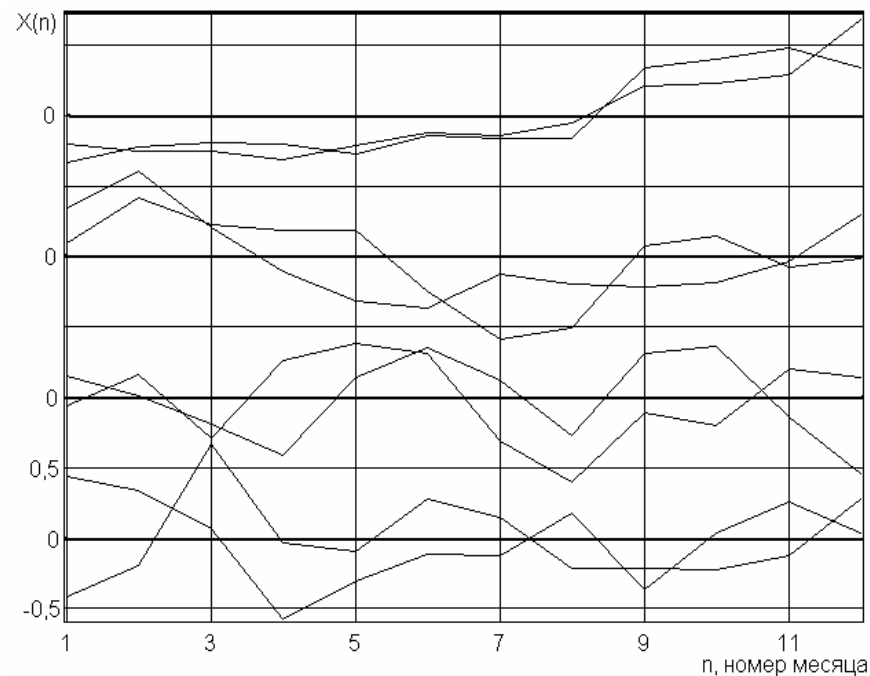


Рис.8. Первые четыре координатные функции разложения нормированных  $W_N$  и  $W_S$  за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям

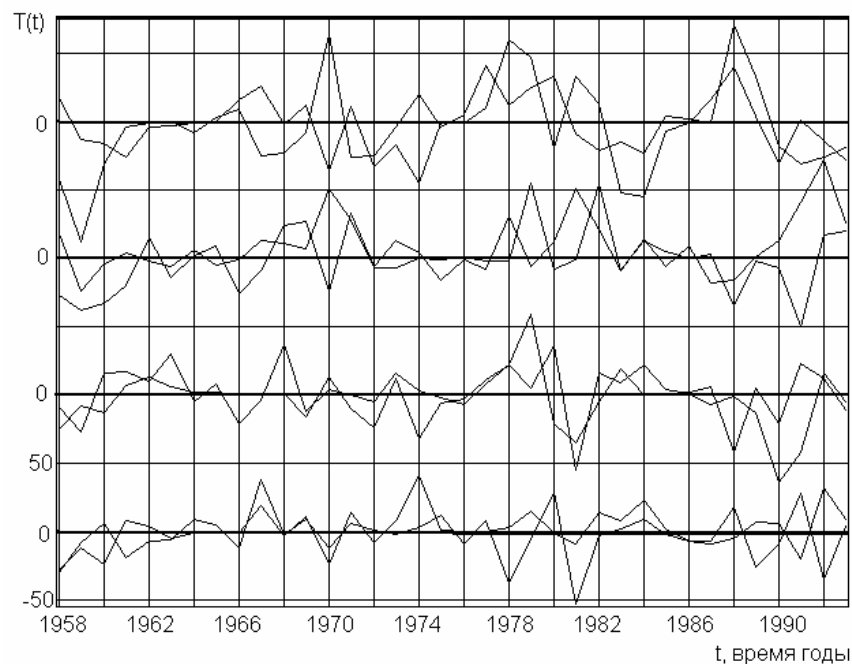


Рис.9. Первые четыре временные функции разложения нормированных  $W_N$  и  $W_S$  за 1958–1993 гг. в ряд по естественным ортогональным функциям

Итак, в завершении можно сказать, что годовые вариации чисел Вольфа связаны с геометрическими эффектами (это годовые периодические изменения угловых размеров Солнца и гелиографической широты его центра диска, связанные с орбитальным вращением Земли). В-третьих - сезонные изменения качества изображения Солнца и, в-четвертых, влиянием Земли, на годовые вариации солнечной активности. В совокупности они обеспечивают 0,8% всех вариаций солнечной активности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вертлиб А.Б., Конецкий М., Куклин Г.В. Опыт применения разложения по естественным ортогональным функциям некоторых индексов солнечной актив-

ности // Исследование по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. 1971. Вып. 2. С. 194-209.

2. Ерофеева А.В., Чистяков В.Ф. О годовом периоде чисел Вольфа северного и южного полушарий // Солнечные данные. 1987. № 12. С. 64-67.

3. Ихсанов Р.Н., Милецкий Е.В. Окологодичные и двухгодичные колебания солнечной активности в 1-22 циклах // Современные проблемы солнечной цикличности. Санкт-Петербург. 1997. С. 91-95.

4. Gleissberg W. Die Häufigkeit der Sonnenflecken. Berlin, 1952. 87 p.

5. Wolf R. Mitteilungen Über die Sonnenflecken. 1856-1859. № 10. P. 15-24.