

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдюшин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему. (Обзор) // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40, № 5. С.3-14.
2. Вительс Л.А. Синоптическая метеорология и гелиогеофизика. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 255 с.
3. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 351 с.
4. Герман Дж.Р., Гольдберг Р.А. Солнце, погода, климат. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 319 с.
5. Комитов Б.П. О возможном влиянии солнечной активности на климат в Болгарии // Солнечные данные. 1986. №5. С.73-78.
6. Комитов Б.П., Крестев Д. Солнечные циклы и кратковременные климатические вариации влажности воздуха в Болгарии. Относительная влажность // Солнечные данные. 1990. №4. С. 83-87.
7. Пудовкин М.И., Люблич А.А. Проявление циклов солнечной и магнитной активности в вариациях температуры воздуха в Ленинграде // Геомагнетизм и аэрономия. 1989. Т.29, №3. С.359-363.
8. Пудовкин М.И., Морозова А.Л. 11-летние вариации климата в Швейцарии с 1700 по 1989 г. и солнечная активность // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40, №3. С.3-8.
9. Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата. Владивосток: Дальнаука, 1997. (Тр. УАФО; Т.1, вып.1). 154 с
10. Югов В.А., Николашкин С.В., Игнатъев В.М. Связь температуры субавропальной нижней термосферы с солнечной активностью и фазами квазидвухлетних колебаний // Геомагнетизм и аэрономия. 1997. Т.37, № 6. С.108-112.
11. Elling W., Schwentek H. No dependence of the temperature of the troposphere at Berlin on the solar activity cycle // Sol.Phys. 1992. V.137, N.2. P.401-402.

А.П Крамынин, И.В. Кузьменко

## КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ВОЛНЕ 10,7 см ПО ДАНЫМ ОТТАВЫ ЗА 1947–2000 годы

Интенсивность радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см тесно связана с характеристиками оптических образований на нем [5]. Хорошо известным свойством медленно изменяющейся компоненты радиоизлучения на 10,7 см является наличие периодичности с периодом, равным периоду вращения Солнца. Это свойство низкочастотной компоненты в сантиметровом диапазоне связано с тем, что источники этого радиоизлучения, расположенные в короне над активными областями [3], имеют время жизни, в несколько раз превышающее период вращения Солнца. Поэтому поток радиоизлучения, приходящий от них к наблюдателю на Земле, модулируется вращением Солнца. Авторы [9,10] по анализу спектров мощности нашли, что период вращения радиоисточников s-компоненты изменяется в пределах от 27 до 30 сут, и, как они полагают, эти изменения связаны с широтным дрейфом зоны пятен в течение 11-летнего цикла солнечной активности и законом дифференциального вращения Солнца (так называемая гипотеза широтной стратификации источников и их дифференциального вращения). Однако их же исследования длительных рядов потока радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см показывают, что колебания автокорреляционной функции с периодом 27–28 сут не затухают даже при больших сдвигах до 600 сут [10]. Точнее, они пропадают на относительно небольших интервалах, а затем снова появляются, что говорит о существовании выделенных долготных интервалов, в которых концентрация источников радиоизлучения несколько преобладает, и эти долготные интервалы вращаются жестко. Более поздние исследования [2] показали, что в вариациях s-компоненты радиоизлучения наблюдается жесткий период вращения источников около 28 сут, а источники этих

вариаций концентрируются в двух активных долготных интервалах, разнесенных по долготе приблизительно на  $180^\circ$ . Авторы [4] исследовали влияние дифференциального вращения Солнца на спектр мощности вариаций радиоизлучения на длине волны 9,1 см по станфордским радиокартам и выявили ряд периодичностей:  $31,6 \pm 0,1$ ,  $28,9 \pm 0,1$ ,  $27,8 \pm 0,09$ ,  $27,2 \pm 0,09$ ,  $26,5 \pm 0,09$  сут, существование которых не зависит от широтного положения источников, что противоречит гипотезе широтной стратификации источников и их дифференциальному вращению. Полученные результаты они объяснили существованием на Солнце пространственных магнитных структур с мощными доминирующими центрами активности, которые вращаются твердотельно. Из совместного анализа спектров мощности ежедневных наблюдений потока радиоизлучения  $F_{10,7}$ , чисел пятен и интенсивности космических лучей за 1977 – 1984 гг. авторы [11] установили, что кроме пика на основной частоте  $f_0$  (период 26,9 сут) имеются другие пики на частотах  $f_0 \pm \Delta f_1$  (соответственно 26,2 и 27,8 сут),  $f_0 \pm \Delta f_2$  ( 25,1 и 29,1 сут),  $f_0 \pm \Delta f_3$  ( 24,3 и 30,4 сут),  $f_0 \pm \Delta f_4$  ( 23,6 и 31,0 сут),  $f_0 \pm \Delta f_5$  ( 22,8 и 33,0 сут), причем  $1/\Delta f_i = 1006$  сут, при  $i = 2, 3, 4, 5$   $1/\Delta f_i = iT_i = 750, 754, 744, 748$  сут соответственно. Исходя из выполнения условия  $iT = const$  авторы [11] считают, что существуют глобальные волны, модулирующие долготное распределение солнечной активности.

Таким образом, все сходится на том, что на Солнце существуют твердотельно вращающиеся крупномасштабные структуры, в которых генерация активных образований повышена, но свойства этих структур еще до конца не изучены. Одним из способов получения информации о таких структурах является исследование спектров вариаций длительных рядов ежедневных значений индексов солнечной активности. Из них наиболее подходящим для этих целей, с точки зрения физики, является поток радиоизлучения, который лучше по сравнению с другими индексами определяет энергетику процесса.

Настоящая статья посвящена анализу временных изменений спектра вариаций ряда ежедневных значений потока радиоизлучения от всего солнечного диска на длине волны 10,7 см в диапазоне частот дифференциального вращения Солнца. Для анализа использова-

лись данные Оттавы, полученные за период 1947–2000 гг. В настоящее время это наиболее длинный из однородных рядов наблюдений радиоизлучения от всего диска Солнца на частоте 2800 Мгц. Общее число ежедневных наблюдений за этот период составило 19064 из 19 724 возможных. В связи с тем что в исходных данных наблюдений имеются пропуски, при расчете спектров использовался метод наложенных эпох в комбинации с методом наименьших квадратов, который позволяет определить амплитуду и период выделяемых периодичностей. Так как нас интересует только распределение (гармонической) амплитуды сигнала  $A(T)$  в определенном интервале периодов  $T$ , то этот метод можно считать практически эквивалентным спектральному анализу данных методом Фурье [1]. Частотное разрешение в рассчитанных спектрах обратно пропорционально длине ряда наблюдений, и в нашем случае для всего ряда оно составляет  $5,07 \cdot 10^{-5}$  сут<sup>-1</sup>, или в сутках для диапазона периодов в районе 27 сут разрешение составит  $\approx 0,04$  сут. Результат расчета спектра вариаций радиоизлучения Солнца для всего используемого ряда представлен на рис.1.

Как видим, на рис.1 наблюдается сложный линейчатый спектр. Обилие линий в спектре связано с тем, что вариации радиоизлучения Солнца модулированы как по амплитуде, так и по частоте, и по фазе. Причем модулирующих периодов может быть не один, а несколько. Кроме того, известно (например, см. [6]), что крупномасштабные структуры, образовавшиеся в северном и южном полушариях Солнца, вращаются с различными скоростями. А это тоже налагает свой отпечаток на спектр, рассчитанный по данным для всего диска Солнца. Тем не менее в спектре рис.1 можно выделить ряд частот, вокруг которых наблюдается повышенная концентрация линий. Это 25; 25,6; 26,3; 27; 28; 28,5; 29; 31 сут. Аналогичные периодичности выявлены в [4] по радиоизлучению на волне 9,1 см и в вариациях ежедневных значений суммарной площади кальциевых флоккулов [7]. Такие же, за исключением первых двух, обнаружены и в вариациях среднего магнитного поля Солнца [8]. Здесь следует также отметить, что периодичности 25 и 25,6 сут, уверенно вы-

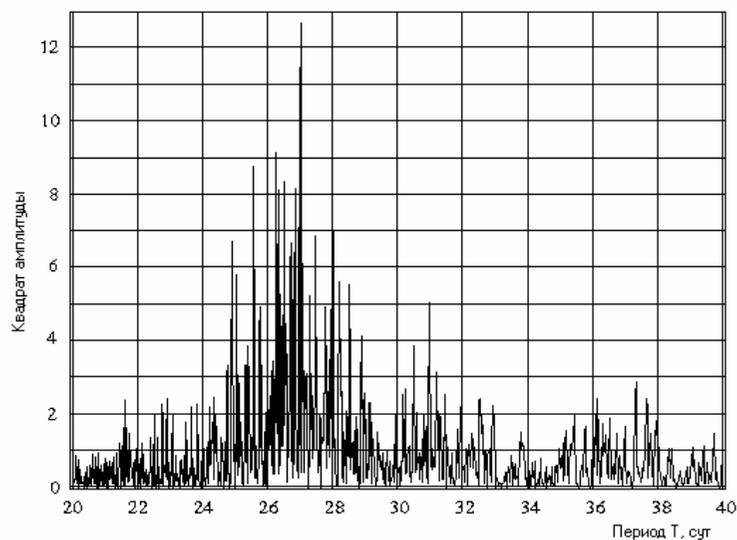


Рис.1. Спектр вариаций радиопотока Солнца на частоте 2800 МГц, рассчитанный по данным Оттавы за 1947–2000 гг.

являемые в вариациях радиоизлучения и по индексу флоккулярной активности, не проявляются в вариациях среднего магнитного поля Солнца.

Проанализированный нами спектр всего ряда ежедневных значений радиоизлучения Солнца не позволяет судить о временных изменениях спектра на исследуемом отрезке времени. Для исследования динамики спектральных составляющих мы использовали скользящие спектры, рассчитанные по пятилетним временным интервалам, скользящим по исходной реализации 1947–2000 гг. со сдвигом в один год. Выбор такого метода и длины ряда пять лет для расчета скользящих спектров определялся требованием получить необходимое частотное и временное разрешение. В нашем случае частотное разрешение в сутках для диапазона периодов в районе 27 сут составит  $\approx 0,4$  сут, а временное разрешение можно считать 1 год.

В результате такой процедуры обработки исходных данных мы получили 50 спектров, которые были представлены в виде карты изолиний равных значений квадрата гармонической амплитуды в

координатах период-время (рис.2). Такое представление данных расчета замечательно еще тем, что позволяет увереннее выделить повторяющиеся от спектра к спектру детали и проследить их динамику.

Анализ рис.2 показывает, что спектральный состав вариаций потока радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц в XVIII – XXIII циклах солнечной активности несколько различается. В XIX и XX циклах солнечной активности наблюдается дрейф частоты вариаций потока радиоизлучения, который показывает, что период вращения

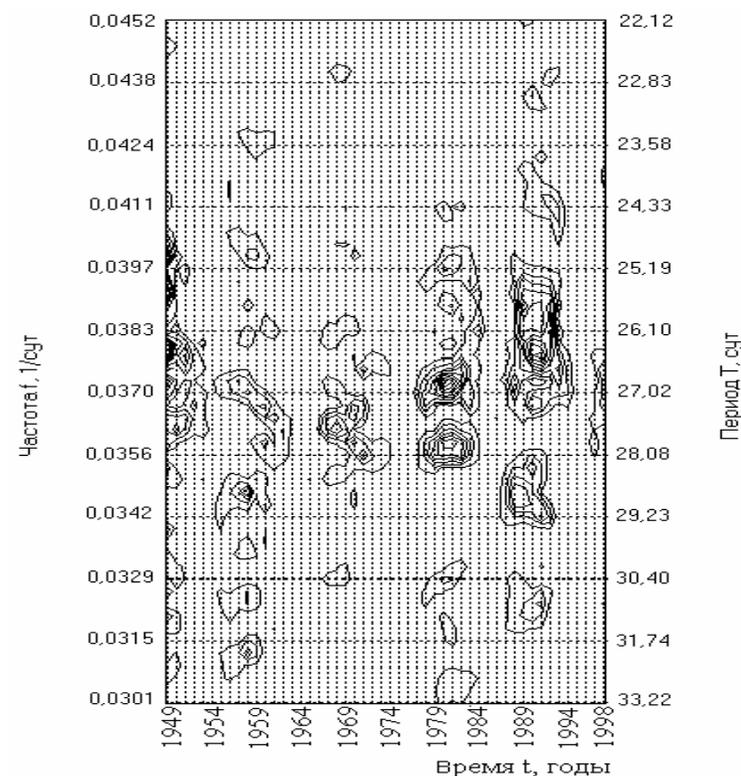


Рис.2. Временные изменения спектра ежедневных значений радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц по данным Оттавы за 1947 – 2000 гг. 10 изолиний равных значений квадрата амплитуды проведены по значениям 20,40,60...200 sfu

крупномасштабных структур в начале цикла меньше, чем в конце. В XXI цикле четко выделяются 27- и 28-суточные моды, а в XXII – моды 28,6 и 27,2 сут, в XXIII – мода 27 сут. В XVIII цикле хорошо выражена мода 25 сут. На рис.2 хорошо видно, что максимум амплитуд мод приходится на ветвь спада солнечного цикла, а минимум амплитуды на годы минимума цикла.

Итак, в каждом цикле солнечной активности существуют как минимум две основные моды, которые определяют характер вращения крупномасштабных структур источников радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц. Амплитуды этих мод достигают своего максимального значения вблизи максимума солнечного цикла или на его ветви спада, что приводит к появлению в спектре вариаций потока радиоизлучения модуляционных пиков около всех мод. В годы минимума амплитуда наблюдаемых мод значительно меньше. Наиболее устойчивыми на всем исследуемом интервале времени являются моды 26,9 и 28 сут. Периодичности 25 и 25,6 сут, уверенно выявляемые в вариациях потока радиоизлучения и по индексу флоккулярной активности, не проявляются в вариациях среднего магнитного поля Солнца.

Работа выполнена при поддержке государственного контракта № 40.022.1.1105 по проекту "Пространственно-временные вариации характеристик солнечной активности".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абраменко В.И., Рачковский Д.Н.* Аналогия метода наложенных эпох и фурье-преобразования данных. Влияние тренда на результаты обработки данных неравномерно распределенных по времени. // Изв. Крым. астрофиз. obs. 1983. Т. 66. С. 71-76
2. *Ерофеев Д.В., Крамынин А. П.* Исследование долготной неоднородности солнечной активности по радиоизлучению Солнца на волне 10,7 см // Солнечные данные. 1984. № 5. С. 83-87.
3. *Железняков В.В.* Радиоизлучение Солнца. М.: Наука, 1964, 560 с.
4. *Ипатова Л.П., Яснов Л.В.* Пространственно-временная структура источников радиоизлучения Солнца // Солнечные данные. 1990. № 3. С. 94-99.
5. *Кравченко Н.А.* О связи радиоизлучения Солнца с характеристиками оптических образований на нем // Радиоизлучение Солнца. Л: ЛГУ, 1969, С.29-35.

6. *Крамынин А.П.* Жестковращающиеся моды крупномасштабных структур кальциевых флоккулов 1963-1984 годов // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2002. С.81-85. (Тр.УАФО; Т.6, вып.6).

7. *Крамынин А.П.* Спектр вариаций суммарной площади кальциевых флоккулов // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. Новосибирск: Наука, 2001. Вып. 113. С. 75-79.

8. *Крамынин А.П.* Динамика спектра среднего магнитного поля Солнца по данным Станфорда за 1975-2000 годы // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2002. С.86-91. (Тр.УАФО; Т.6, вып.6).

9. *Aurass H., Kurths J., Voigt W.* Some results of statistical the S-component of solar radio emission // Solar Phys. 1978. V. 60, N 2. P. 361-365.

10. *El-Raey M., Amer R. V.* Variation of the solar atmospheric rotation over 11-year cycle // Solar Phys. 1975. V. 45, N 2. P. 533-542.

11. *Naskidashvili B.D., Shatashvili L.K., Tsereteli G.A.* The quasiperiodic modulation of the recurrent changes of intensity and the anomalous diurnal and semidiurnal variations of cosmic rays // 20th Int. Cosm. Ray Conf., Moscow, Aug. 2-15, Conf. Pap. SH. Sess. Moscow. 1987. V. 4. P.180-183.