

4. Куклин Г.В. Некоторые результаты исследования 11-и 22-летних циклов чисел Вольфа // Исследование по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. Москва: Наука, вып.68, 1984. С.45-56.

5. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М., Изд. Техничко-теоретическая литература. 1957. 236 с.

6. Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата // Труды УАФО, Владивосток: Дальнаука, вып.1, 1997. 156 с.

7. Чистяков В.Ф. К вопросу о солнечной природе брикнерова цикла // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, вып.2, 1997. С.118-134.

*А.П. Крамынин, Г.П. Воробьева*

## **ДИНАМИКА СПЕКТРА ВАРИАЦИЙ СУММАРНОЙ ПЛОЩАДИ ФОТОСФЕРНЫХ ФАКЕЛОВ В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ СОЛНЦА**

В первых спектральных исследованиях вариаций индексов солнечной активности обнаружено, что в спектрах присутствует целый набор периодичностей, которые связывают с жестким вращением устойчивых, долгоживущих, обширных структур, образованных активными областями. Дальнейшие исследования [1–4,6] показали, что в изменениях индексов активности Солнца присутствует не только основные гармоники, связанные с вращением структур, но и кратные им, такие как 13,5 и 9 суток и т. д., а амплитуды этих гармоник модулируются циклом солнечной активности.

Настоящая статья посвящена анализу временных изменений спектра вариаций ежедневных значений суммарной площади фотосферных факелов в диапазоне частот дифференциального вращения Солнца. Сравнению динамических спектров северного и южного полушарий.

Для анализа использовался ряд наблюдений фотосферных факелов Уссурийской астрофизической обсерватории за период 1954–2005 гг. и Горной астрофизической обсерватории ГАО за интервал времени 1949–1953 гг.

Благодаря особенностям наблюдений фотосферных факелов (они имеют максимум контраста на лимбе Солнца и не видны в центре диска) мы можем получить четыре независимых реализации. Это - суммарная площадь факелов на восточном лимбе северного полушария  $S_{NE}(t)$  и ее повторение в северо-западном квадранте  $S_{NW}(t)$ . Аналогично для южного полушария также имеем две реализации  $S_{SE}(t)$  и  $S_{SW}(t)$ . Кросскорреляционная функция  $S_{NE}(t)$  и  $S_{NW}(t)$  (рис.1) показывает, что максимальное значение коэффициента корреляции между этими реализациями возникает при сдвиге их относительно друг друга 9 суток. Так как временной сдвиг 9 суток значительно

меньше среднего времени жизни факелов (около 3 оборотов Солнца), то, вполне естественно, что вариации суммарной площади фотосферных факелов на восточном лимбе будут повторяться со сдвигом на западном лимбе. И это подобие будет тем выше, чем меньше будет ошибка измерения площадей факельных полей. Для уменьшения ошибок в измерениях суммарной площади фотосферных факелов реализации северного полушария  $S_{NE}(t)$  и  $S_{NW}(t)$  были соответствующим образом просуммированы друг с другом со сдвигом 9 суток, а затем, полученный ряд, был отфильтрован полосовым фильтром (полоса пропускания 0,02–0,2 суток). Аналогичные процедуры были проделаны и для южного полушария. Пик корреляционной суммы при нулевом лаге на рис.1 объясняется наличием коррелированного сигнала в обеих выборках связанного с модуляцией амплитуды вращательных мод 11-летним циклом солнечной активности.

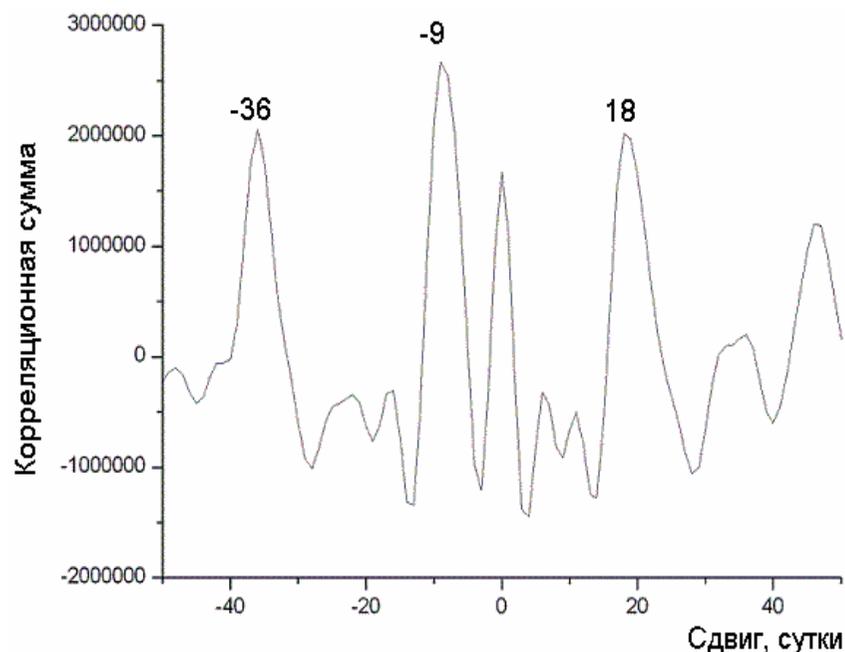


Рис.1. Кросскорреляционная функция реализаций  $S_{NE}(t)$  и  $S_{NW}(t)$

В отличие от индекса суммарной площади солнечных пятен, когда суммирование происходит по всей видимой полусфере, в нашем случае суммирование площадей фотосферных факелов происходит в более узком долготном интервале, а именно,  $\sim 40^\circ$ , что приводит к меньшему сглаживанию долготного распределения. А значит к лучшему долготному разрешению.

Частотное разрешение в спектре для всего такого ряда в сутках, в диапазоне периода 27 суток, будет равно  $\sim 0,03$  сут. Результаты расчета спектра вариаций для всего ряда ежедневных значений суммарной площади фотосферных факелов в северном полушарии представлены на рис.1. Как видим на рис.1, из-за неравномерного долготного распределения активных образований на Солнце в спектре вариаций ежедневных значений суммарной площади фотосферных факелов появляются пики, соответствующие вращению долгоживущих крупномасштабных структур, образованных преимущественным появлением факелов в некоторых долготных интервалах. Видим основную гармонику период 27 суток (первый пик), а также ее субгармоники вплоть до шестой. Аналогичная картина наблюдается и для южного полушария.

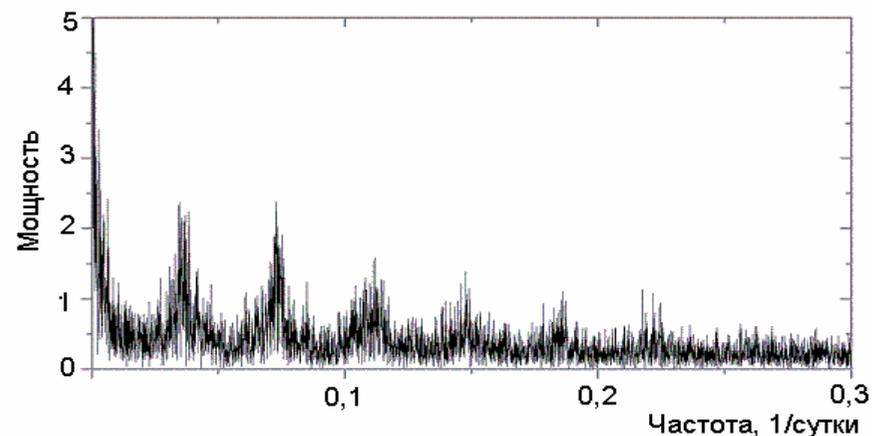


Рис.2. Спектр суммарной площади фотосферных факелов в диапазоне частот дифференциального вращения Солнца

Проанализированный нами, спектр для ряда (1949–2005 гг.) ежедневных значений суммарной площади фотосферных факелов как для всего Солнца в целом, так и по полушариям отдельно не позволяют судить о временных изменениях спектров на исследуемом отрезке времени.

Для исследования динамики спектральных составляющих мы использовали спектры, рассчитанные по семилетним выборкам, скользящим по исходной реализации 1949–2005 гг. со сдвигом один год. Выбор длины ряда семь лет для расчета спектров определялся желанием получить необходимое частотное и временное разрешение. В нашем случае частотное разрешение в диапазоне периода 27 суток составит  $\approx 0.0004 \text{ сут}^{-1}$ , а временное усреднение в семь лет плавно изменяется от года к году. В результате такой процедуры обработки исходных данных мы получили 50 спектров, которые были представлены в виде карты изолиний равных значений квадрата амплитуды  $A^2$  в координатах период-время. Спектры для всего диска Солнца получались в результате усреднения 4 спектров рядов  $S_{NE}$ ,  $S_{NW}$ ,  $S_{SE}$  и  $S_{SW}$  (рис.2). Для исключения влияния модуляционного эффекта 11-летним циклом на амплитуду мод, каждый спектр был нормирован на максимальное значение.

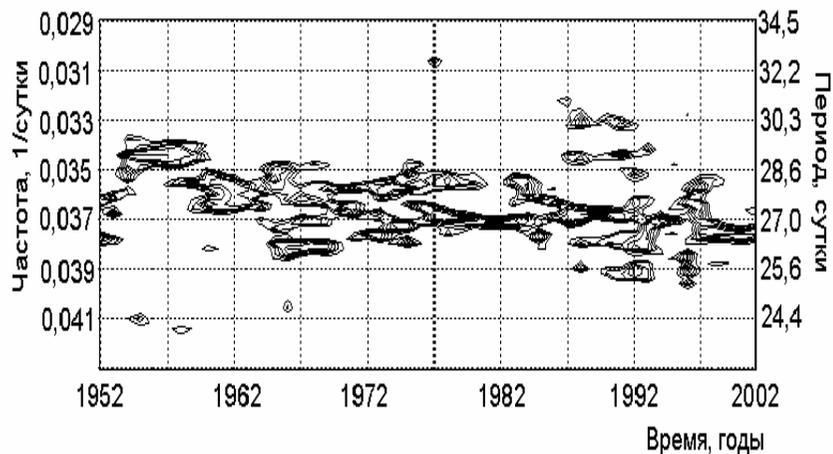


Рис. 3. Динамический спектр вариаций суммарной площади фотосферных факелов для всего диска Солнца

Анализируя динамические спектры, видим, что выделяются несколько мод вращения. Амплитуды мод максимальны в максимуме и на ветви спада 11-летнего цикла. Набор мод рис.3 несколько изменяется от цикла к циклу. Выделяются моды 26,9–27,0; 28,1; 28,6; 29,2 и 30,3 суток. Во всех циклах, кроме №19, мода 27 суток по амплитуде значительно превосходит остальные. Наличие мод 29 и 30 суток согласуется с результатами работ [4,5], полученных для крупномасштабных магнитных полей.

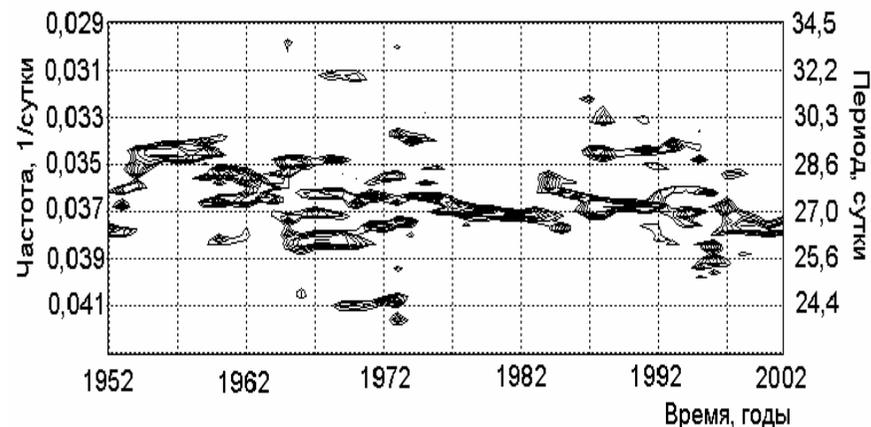


Рис.4. Динамический спектр вариаций суммарной площади фотосферных факелов для северного полушария Солнца

Спектры для северного полушария получены в результате усреднения двух спектров соответствующих реализациям восточного и западного лимбов. Аналогично для южного полушария. Сравнивая динамические спектры для северного рис.4 и южного полушарий рис.5 видим, что набор мод несколько различается. Для северного полушария, в большей степени, характерна мода 27 суток, а для южного 28 суток. Из этого следует, что в северном полушарии крупномасштабные структуры фотосферных факелов вращаются быстрее, чем в южном. В годы максимума XIX цикла скорость вращения крупномасштабных структур в обоих полушариях была замедленной и составляла примерно 29 и 29,5 суток соответственно.

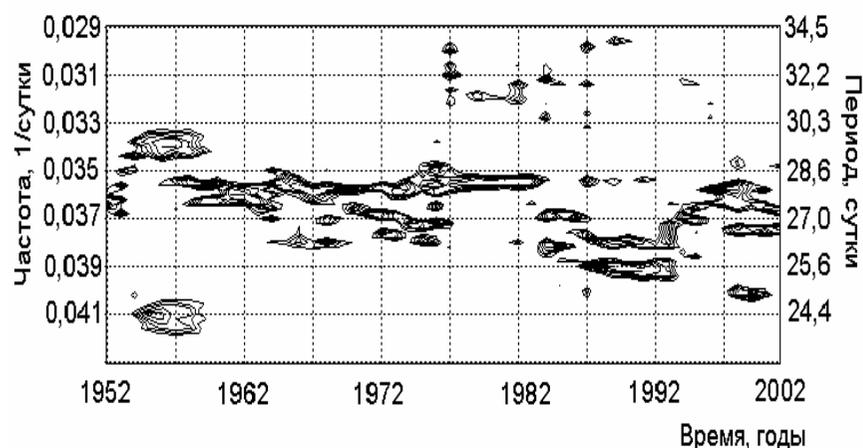


Рис.5. Динамический спектр вариаций суммарной площади фотосферных факелов для южного полушария Солнца

Итак, на большом материале подтверждено наличие нескольких вращательных мод, амплитуды которых максимальны в максимум 11-летнего цикла и на его ветви спада. Набор мод несколько изменяется не только от фазы 11-летнего цикла, но и от полушария Солнца. Для северного полушария характерна мода 27 суток, а для южного – 28 суток. Т.е. в северном полушарии крупномасштабные структуры, образованные из фотосферных факелов, вращаются быстрее, чем в южном. В 1987–1993 гг. в южном полушарии наблюдаются быстровращающиеся крупномасштабные структуры с периодом меньше 27 суток.

В обоих полушариях наиболее устойчивы моды 27 и 28 суток. Амплитуды вращательных мод долготного распределения суммарной площади фотосферных факелов модулируется 11-летним циклом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Крамынин А.П. Жестковращающиеся моды крупномасштабных структур кальциевых флоккулов 1963-1984 годов // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2002. Вып. 6. С.81-85.

3. Крамынин А.П. Спектр вариаций суммарной площади кальциевых флоккулов // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. Издательство сибирского отделения РАН, 2001. Вып. 113. С. 75-79.

4. 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. Вып. 6. С.86-91.

5. Erofeev, D.V. The Relationship between Kinematics and Spatial Structure of the Large-Scale Solar Magnetic Field // Solar Phys. 1997 v. 175 p. 45-58.

6. 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.