О ПОДОБИИ РАЗВИТИЯ 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В РАЗНЫХ ДОЛГОТНЫХ ИНТЕРВАЛАХ

Крамынин А.П., Михалина Ф.А.

Уссурийская астрофизическая обсерватория ИПА РАН, Уссурийск, Россия

ON THE SIMILARITY OF THE DEVELOPMENT OF THE 11-YEAR CYCLE OF SOLAR ACTIVITY IN DIFFERENT LONGITUDE INTERVALS

Kramynin A.P., Mikhailina F.A.

Ussuriisk astrophysical observatory IAA RAS, Ussuriisk, Russia

The features of the development of 11-year cycles of solar activity in different longitude intervals are studied according to the data on the number of sunspots in the period 1874–2018. It is established that the time changes in the number of sunspots in different longitude intervals are similar by 78.5%. And the maximum value of cyclic curves in each longitude interval is determined by the average value of the number of sunspots in this interval. I.e., the greatest index changes occur in active longitudes. Small fluctuations in the number of sunspots, a contribution of about 4%, with a 22-year cycle of solar activity and a period of about 3.2 years were revealed.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-169-172

Впервые вопрос о различии циклических кривых в разных долготных интервалах был исследован Ю.И. Витинским [1]. Для этого автором [1] была введена специальная характеристика – индекс циклоподобия. Оказалось, что от одного долготного интервала к другому величина индекса циклоподобия испытывает довольно большие колебания. Был сделан вывод, что искажение циклических кривых обусловлено асинхронностью развития 11-летнего цикла в «активных долготях». Однако используемый в [1] метод не позволяет сделать оценку, насколько вид циклических кривых подобен в разных долготных интервалах. В данной работе для ответа на этот вопрос авторы использовали метод разложения ряда на естественные ортогональные функции.

Для исследования использовались данные наблюдений групп солнечных пятен следующих обсерваторий: Гринвич за 1874–1982 гг. www.ngdc.noaa.gov, Пулковское за 1954–2018 гг. www.solarstation.ru и Уссурийской обсерватории за 1954–2018 гг. www.uafo.ru. Данные были представлены в виде матрицы N_{ij} , строки которой показывали число групп солнечных пятен в j -том долготном интервале в i -тый год. Матрицы были сформированы как для всего исследуемого интервала 1874–2018 гг. раздельно для северного и южного полушарий Солнца.

Для того чтобы разделить влияние, возможно, разных независимых факторов, влияющих на распределение числа групп солнечных пятен по долготе и оценить вклад каждого фактора в общие вариации исследуемого параметра, использовался метод разложения матриц N_{ij} на естественные ортогональные функции (ЕОФ) [2] в виде:

$$N_{ij} = \sum T_{ki} L_{kj},$$

где N_{ij} – число групп солнечных пятен в i -тый год в j -том долготном интервале. L_{kj} – k -тая координатная функция, которая описывает, в нашем случае, усредненные особенности годового распределение числа групп солнечных пятен по долготе под воздействием k -того фактора. T_{ki} – сопряженная с L_{kj} временная функция, которая описывает изменение амплитуды этого усредненного k -того годового долготного распределения со временем. Т.е. соответствующая временная функция несет всю информацию об изменениях во времени числа групп солнечных пятен j -том долготном интервале под действием k -того фактора. Т.е. этот метод позволяет численно определить степень подобия и особенности различия 11-летних циклов в разных долготных интервалах.

Рис. 1.

Результаты расчетов показывают, что разложение матриц N_{ij} на ЕОФ быстро сходится. Достаточно 3-х членов разложения, чтобы описать более 80% вариаций исследуемых рядов, причем вклад первых компонентов разложения составляет 78,5% и 78% для северного и южного полушарий соответственно. Сравнение первых координатных функций для северного и южного полушарий рис. 1а показывает их хорошее сходство с соответствующими долготными распределениями числа солнечных пятен, полученных методом наложенных эпох (коэффициент корреляции 0,9 для северного и несколько меньше 0,7 для южного полушарий Солнца). Что касается временных функций, то они хорошо коррелируют с изменениями числа солнечных пятен в соответствии с 11-летними колебаниями солнечной активности рис. 1б (коэффициент корреляции 0,99). Таким образом, по первому компоненту разложения на ЕОФ ряда числа солнечных пятен ви-

дим, что в каждом долготном интервале кривые развития 11-летнего цикла на 78,5% подобно виду циклической кривой усредненной по всем долготам. А вот амплитуда цикла в каждом долготном интервале различается и определяется средним значением числа солнечных пятен в данном долготном интервале. Отсюда следует, что в «активных долготах» высота 11-летних циклов больше.

Рис. 2.

Однако, на рис. 2, где приведена усредненная по 6 циклам одинаковой продолжительности диаграммы распределения числа солнечных пятен в координатах долгота-фаза цикла, видим, что положение максимумов цикла располагаются в разных долготных интервалах и показывают разную продолжительность ветви роста цикла 4 и 6 лет соответственно, тогда как в суммируемых циклах ветвь роста в среднем чуть больше 3 лет. Т.е. можно предположить, что это вторичные максимумы цикла и за их появление ответственны другие долготные интервалы.

Рис. 3.

Второй компонент разложения вносит вклад около 4%. Отметим, что как 2-я координатная функция рис. 3а, описывающая особенности долготного распределения числа солнечных пятен под воздействием второго

фактора, так и соответствующая ей временная функция знакопеременны, что приводит к дополнительным небольшим колебаниям числа солнечных пятен с периодами около 3,2 и 19,2 года рис. 3б. Пик 19,2 года – это, по-видимому, 22-летний цикл солнечной активности и наблюдаемые вариации, связанные с этим периодом – результат действия правила Гневывшева-Оля, когда четный и нечетный циклы имеют разную высоту. С каким механизмом связано появление пика 3,2 года требует дальнейшего исследования. В предыдущей работе авторов [3] высказывалось предположение, что эти вариации связаны с колебаниями формы тороидального поля Солнца.

Итак, установлено, что ряды разложения на ЕОФ довольно быстро сходятся, причем вклад первого компонента разложения более 78%. По первому компоненту видим, что временные изменения в разных долготных интервалах подобны и определяется на 78,5% временным ходом 11-летнего цикла. Причем амплитуда 11-летней кривой в каждом долготном интервале определяются средним значением числа солнечных пятен в этом долготном интервале. Таким образом, наибольшие изменения используемого индекса происходят в активных долготах и достигают максимальных значений в год максимума цикла. Кроме того появление основного и вторичных максимумов в цикле связаны с разными долготными интервалами.

Вклад второго и третьего компонента разложения $\sim 4\%$ каждого, описывают другие особенности долготного распределения солнечной активности, связанные с другими независимыми факторами, описывают небольшие колебания числа пятен в долготных интервалах с периодами около 3,2 и 19,2 лет. Оставшиеся $\sim 10\%$ вклада, по-видимому, связана со случайным шумом.

Литература

1. Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятно-образовательной деятельности Солнца. – М.: Наука, 1986.
2. Вертлиб А.Б., Копецкий М., Куклин Г.В. Опыт применения разложения по естественным ортогональным функциям некоторых индексов активности // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца: Иркутск, 1971. Вып.2, С.194-209.
3. Крамынин А.П., Михалина Ф.А. Активные долготы в максимумах солнечных циклов, Солнечная и солнечно-земная физика – 2020. // СПб, Пулковское, 5 – 9 октября 2020, с. 173-176.