РАЗВЕТВЛЕНИЕ ВЕКОВОГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА ГЛЕЙСБЕРГА КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Птицына Н.Г., Демина И.М.

Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия

BRANCHING OF THE SECULAR GLEISSBERG SOLAR CYCLE AS A MANIFESTATION OF FREQUENCY MODULATION

Ptitsyna N.G., Demina I.M.

St-Petersburg Filial of IZMIRAN, St. Petersburg, Russia

Among the cyclicities of solar activity with a period of more than 22 years, a secular Gleissberg cycle is the most famous. This cycle is the only one that can be directly related to the formation of sunspots. Methods of Fourier and wavelet analysis were used to study cyclicity of solar activity expressed by the number of sunspots SN , reconstructed from cosmogenic isotopes (from ~ 9400 before AD) in the range of Gleissberg cycle periods. It was found that the Gleissberg cycle consists of three distinguished branches: ~ 60 , ~ 88 and ~ 140 years. Periods and amplitudes of such a three-frequency structure change over time, sometimes degenerating into a two-frequency pattern. 88-year cycle is the main one, which source is the solar dynamo. Additional 60 and 140-year cycles are the result of frequency modulation of the main cycle. The modulating cycle with a period of ~ 200 years is most likely of an extrasolar origin.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-221-224

1. Введение

Среди цикличностей солнечной активности СА с периодом более 22 лет вековой цикл, так называемый цикл Глейсберга, (иногда 88-летний цикл) привлекает наибольшее внимание исследователей, так как он единственный может быть прямо связан с формированием солнечных пятен. Несмотря на большое количество работ, многие черты цикла Глейсберга остаются неясными. Некоторые его характеристики, полученные разными методами из разных рядов данных, не согласовываются между собой. Считается, что он состоит из различных вариаций в широком диапазоне периодов от 50 до 150 лет [1]. Авторы [1] идентифицировали двухчастотную структуру с периодом 60–80 лет и 90–160 лет. В работе [2] найдено наличие трех циклов в диапазоне цикла Глейсберга, с упором на 60-летнюю составляющую, которая преобладает в спектрах 17–19 вв. В работе [3] утверждается наличие только одного колебания, которое меняет свой период в широких пределах.

Цель нашей работы – подробно рассмотреть существование и стабильность вариаций СА в диапазоне периодов цикла Глейсберга. Для этого мы проанализировали спектральные свойства временного ряда числа солнечных пятен SN , реконструированных на основе ^{14}C за 11400 лет [4]. Для

анализа использовались классический метод Фурье анализа и вейвлет преобразование с базовой функцией Морли.

2. Результаты вейвлет анализа

Для ряда SN были вычислены вейвлет коэффициенты в диапазоне периодов от 30 до 300 лет. Эти коэффициенты вместе с временными вариациями SN представлены на рис. 1.

Рис. 1. Временной ряд SN (верхняя панель) и результат вейвлет анализа. Символами отмечены локальные максимумы.

На рисунке 1 отчетливо проявляются три ветви цикла Глейсберга с периодами около 60 (45–80), 90 (80–110) и 140 (120–160) лет. На рис. 1 видно, что наличие трехчастотной структуры носит устойчивый характер и стабильно прослеживается на большей части промежутка длиной ~ 12000 лет. Особенно четко три ветви наблюдаются с -9400 до -8100 г. до н.э., -6100 -3500, и от 0 до 1000 лет н.э. Однако есть более короткие промежутки времени, когда такая трехчастотная структура замещается двухчастотной. При этом в спектре присутствуют только основная ветвь 88 лет и одна из ветвей с периодом 60 или 140 лет. Начиная с 1000 г. н.э., преобладает двухчастотная структура, в которой отсутствует основная частота (88 лет), а доминируют две сопутствующие гармоники, 60 и 140 лет. Отсутствие 88-летней волны в современных данных отмечалось многими авторами. Следует отметить наличие цикла Зюсса с периодом ~ 200 (180–260) лет.

Видно, что периоды всех выделенных вариаций меняются со временем. Кроме того, наш анализ показал также изменение со временем и амплитуд.

3. Три ветви цикла Глейсберга как результат частотной модуляции

В работе [5] было высказано предположение о модуляции цикла Глейсберга в СА в 1000–1700 гг. длинноволновыми процессами, в частности циклом Зюсса (200 лет). Для проверки этого проведены модельные расчеты. В качестве одной из таких моделей мы рассмотрели сигнал, представляющий собой комбинацию двух гармонических колебаний, где основное колебание с периодом 88 лет модулируется сигналом с периодом 224 года. Для двух гармонических сигналов с периодами ω_1 (основной) и ω_2 (модулирующий) результат модуляции представляется формулой:

$$F(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + K_1 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + \varphi_1),$$

где φ_1 и φ_2 – фазы сигналов, а K_1 – коэффициент, определяющий степень влияния модулятора на основной сигнал.

Рис. 2. Фурье-спектр модели при разных параметрах модуляции.

Спектр Фурье такого сигнала приведен на рис. 2. Видно, что в спектрах частотно-модулированного сигнала вместо исходной 88-летней моды в диапазоне периодов цикла Глейсберга присутствует триплет: 88 лет и две гармоники с периодом 63.2 и 144 года. С ростом K_1 амплитуда боковых ветвей растет. Проявление в спектре отдельных ветвей цикла зависит от соотношения параметров несущего и модулирующего сигнала. В нашем случае амплитуда последнего меняется со временем, и в результате в одни исторические могут наблюдаться все три ветви цикла Глейсберга, а в иные эпохи могут быть заметны только две ветви. Полученный результат естественным образом объясняет тот факт, что в разных работах обнаруживались либо две, либо три ветви в цикле Глейсберга, а также расхождения в длинах периодов.

Таким образом, имеется основная вариация с периодом ~88 лет и две сопутствующие, получающиеся за счет модуляции. Причем основной период, как предполагается в многочисленных работах, генерируется солнечным динамо, а две сопутствующие гармоники получаются за счет внешнего ~200-летнего модулятора, который, скорее всего, имеет внесол-

нечное происхождение. Это следует из того, что по законам частотной модуляции, чтобы оказать модулирующее влияние на несущий сигнал, обычно необходимо приложить к нему внешнее усилие.

4. Заключение

Анализ показал, что цикл Глейсберга характеризуется трехчастотной структурой со средними периодами ~ 60 , ~ 88 и ~ 140 лет, которые меняются со временем. Такая структура является результатом взаимодействия основной 88-летней моды цикла Глейсберга солнечного происхождения и модулятора внесолнечного происхождения с периодом 224 года. Построена модель частотно-модулированного гармонического осциллятора, которая подтверждает полученные результаты. Получено, что на разных временных отрезках могут наблюдаться либо все три моды Глейсберга, либо только две. Этим фактом объясняется разногласие в оценках периодов цикла Глейсберга разными авторами, в частности преобладания в 18–19 вв. моды в 60 лет и практически отсутствию в современных данных 88-летнего цикла.

Литература

1. *Ogurtsov M.G., Nagovitsyn Yu.A., Kocharov G.E., Jungner H.* Long-period cycles of the sun's activity recorded in direct solar data and proxies // *Solar Phys.* 2002. V. 211. P. 371–394.
2. *Komitov B., Sello S., Duchlev P., et al.* Sub- and Quasi-Centurial Cycles in Solar and Geomagnetic Activity Data Series // *Bulgar. Astron. J.* 2016. V. 25, P. 78–103.
3. *Kolla'th Z. and Ola'h K.* Multiple and changing cycles of active stars I. Methods of analysis and application to the solar cycles // *Astron and Astrophys. Manuscript no. 11303 c. ESO 2009. arXiv:0904.1747 [astro-ph.SR]. doi: 10.1051/0004-6361/200811304.* 2009.
4. *Solanki S.K., Usoskin I.G., Kromer B., et al.* Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years // *Nature.* 2004. V. 431. P. 1084–1087.
5. *Птицына Н.Г., Демина И.М.* Цикличность солнечной активности, реконструированной из статистики полярных сияний с учетом вклада главного магнитного поля Земли, 1000–2000 гг. // *Геомагнетизм и аэрономия.* 2021. Т. 61. № 3. с. 295–308.