

СТРУКТУРА КВАЗИ-ДВУХЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ ПЛОЩАДИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Костюченко И.Г.¹, Бруевич Е.А.²

¹Филиал АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Москва, Россия

²МГУ им. М.В. Ломоносова, ГАИШ, Москва, Россия

THE STRUCTURE OF QUASI-BIENNIAL OSCILLATIONS OF SUNSPOTS AREA IN SOLAR ACTIVITY CYCLE

Kostyuchenko I.G.¹, Bruevich E.A.²

¹The branch of Karpov Institute of Physical Chemistry, Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Sternberg State Astronomical Institute, Moscow, Russia

The period variability of quasi-biennial oscillations (QBO) of sunspot areas in 19–23 cycles was analyzed using wavelet transform method with Daubechies10 mothers wavelet. We used data of the Greenwich- Marshal Center. Values of all notable periods in range 1–3.5 years were extracted. Obtained wavelet maps show, that in every solar cycle the QBO period does not change randomly, but gradually decreases from the beginning of the solar cycle till its end. We found out the pronounced linear dependence of the QBO period on sunspots latitude, averaged for the corresponding time interval. Hence, the value of the QBO period is, possibly, related to rotational velocity of the convective zone layer, where sunspots are forming at a corresponding time. A relatively small spread of points in the obtained dependence: the QBO period vs the sunspot latitude allows to assume, that this layer has a limited thickness and a stable position during all studied 5 cycles.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-243-246

Введение

Квази-двухлетние вариации (КДО) являются одним из фундаментальных свойств солнечной активности (СА) [1]. Они проявляются в вариациях всех индексов СА, причем независимо в каждом из широтных полушарий. В КДО формируется в среднем 60% всех групп пятен с площадью больше 1000 Mhs, наблюдаемых в цикле СА [2], но конкретный механизм их генерации все еще плохо понятен [1]. Одним из непонятных, но установленных многочисленными исследователями свойств КДО является отсутствие у них определенного периода (мультипериодичность).

В данной работе для выявления локальных значений периодов КДО было использовано вейвлет-преобразование временных рядов среднемесячных значений площадей солнечных пятен в каждом из широтных полушарий Солнца, полученных обсерваторией Гринвич – научным центром Маршалла (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>) для 19–23 циклов СА. На основе каталога ежедневных данных о площадях и координатах наблюдаемых групп солнечных пятен (СП), для каждого из широтных полушарий вычислялись среднемесячные значения широты СП. Благодаря

локальному характеру материнского вейвлета, вейвлет-преобразование позволяет эффективно выявлять параметры нестационарных вариаций. В [3], при анализе вейвлета Морли рядов различных индексов СА, на масштабе периодов 1–3.5 года была отмечена тенденция появления последовательностей уменьшающихся периодов. В данной работе мы использовали вейвлет-преобразование с материнским вейвлетом Добеши (Daubechies)¹⁰, который позволяет наиболее наглядно выявлять линейный тренд и эффективно отфильтровывать шумы.

Результаты

На вейвлет-карте (рис. 1) видно, что в каждом цикле СА периоды КДО (1–3.5 года) изменяются не хаотически, а образуют последовательности с монотонно уменьшающимся периодом, причем в ряде циклов таких последовательностей может наблюдаться две и даже больше, с разным начальным периодом. Отметим, что это не противоречит известному свойству КДО-мультипериодичности. Для каждого из периодов в диапазоне 1–3.5 года было определено его значение и положение на временной шкале. Для этого исходные ряды по северному и южному полушариям были разбиты на перекрывающиеся интервалы по 3 цикла и построены карты вейвлета Добеши, из которых извлекались значения указанных параметров КДО.

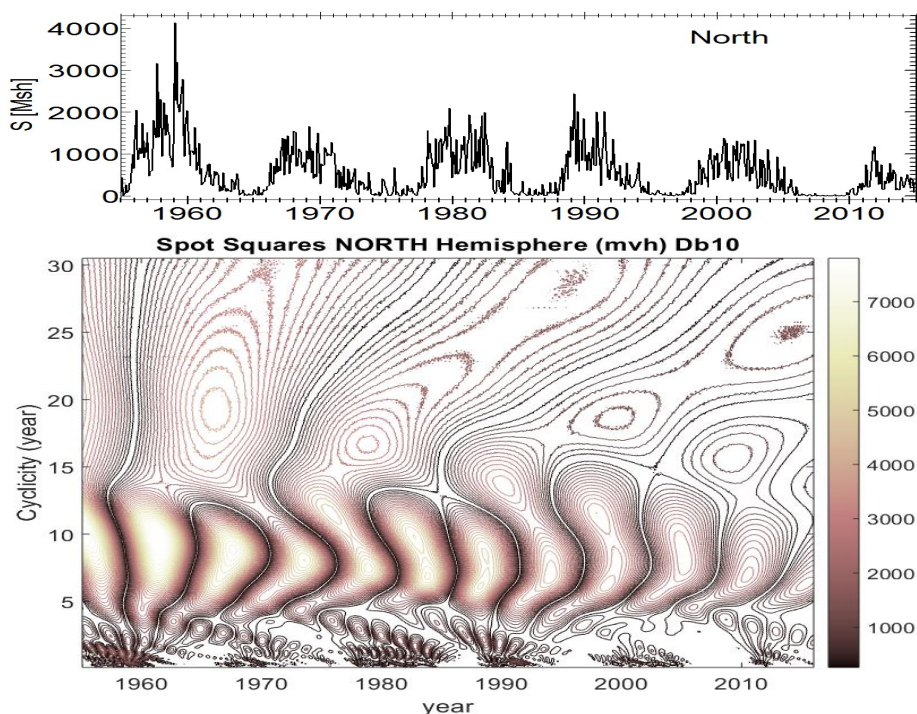


Рис. 1. Верхняя панель – среднемесячные площади групп пятен (Mhs), 1955–2015 гг. Нижняя – вейвлет Добеши¹⁰ для этого ряда (ось Y – значения периодов); 3-х-мерные максимумы на вейвлет-карте соответствуют наибольшим значениям вейвлет-коэффициентов, которые определяют вероятность наличия периодичности на данной частоте.

Ошибки определялись из сравнения измерений в пересекающихся вейвлет-картах и составили 0.2–0.3 года. Полученные таким образом для всех 5 циклов СА и обоих широтных полушарий значения периодов КДО были сопоставлены по времени со среднемесячными значениями широты наблюдаемых пятен (рис. 2). Видно, что в каждом цикле СА период КДО уменьшается синхронно со смещением зоны пятенной активности к экватору (пропорционален текущей широте).

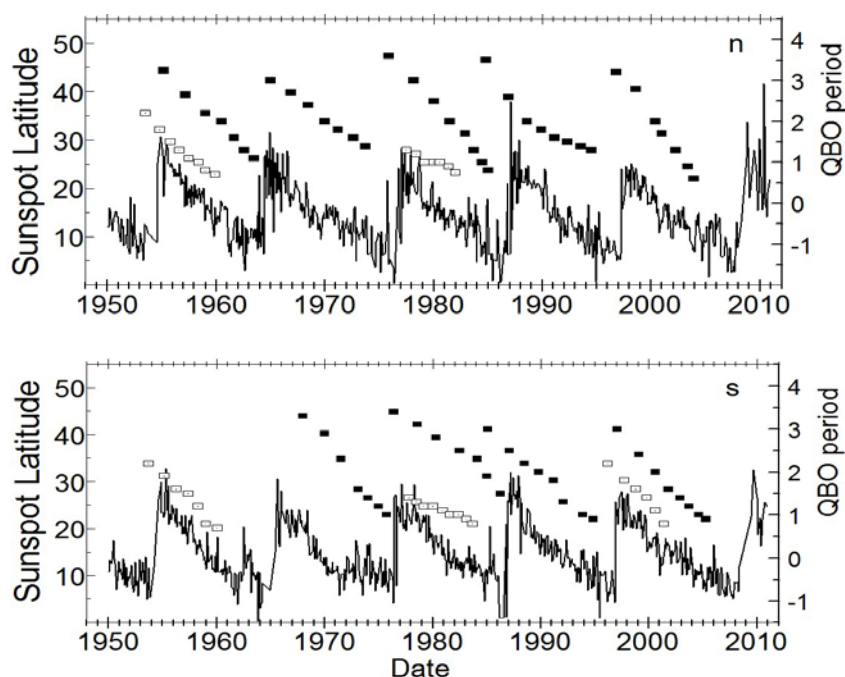


Рис. 2. Значения периодов КДО в каждой из наблюдаемых последовательностей (заполненные и пустые квадраты) в северном (n, *верхняя панель*) и южном (s, *нижняя панель*) полушариях; среднемесячная широта солнечных пятен – сплошная черная линия

Исключение составляют несколько вариаций с относительно большими периодами, положение которых соответствует наименьшим значениям широты пятен, т.е. фазе минимума СА. Это можно объяснить как ошибкой измерения их положения на временной шкале, так и принадлежностью этой вариации к немногочисленным пятнам нового цикла. Возможно также, что это связано со временем выхода пятен из зоны их формирования к поверхности фотосферы. Учитывая наличие широтного градиента вращения конвективной зоны Солнца [4, 5], результат проведенного сравнения позволяет предположить, что в каждом цикле СА период КДО уменьшается с увеличением скорости вращения той части конвективной зоны, в которой в соответствующий момент формируются пятна. На рис. 3 представлены все выявленные в 19–23 циклах периоды КДО в зависимости от соответствующей им широты пятен. Видно, что зависимость имеет выраженный линейный характер, причем для последовательностей с большим и меньшим начальными периодами эти зависимости разделяются и различаются.

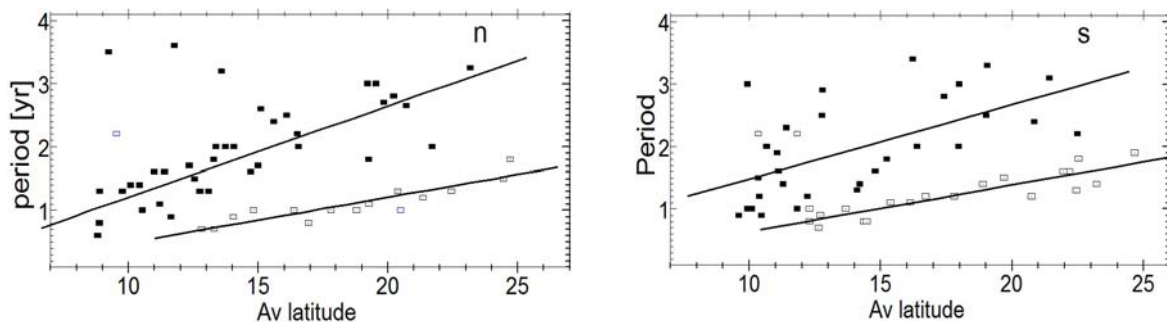


Рис. 3. Зависимость периода КДО от широты, усредненной за соответствующий временной интервал в северном (n, *слева*) и южном (s, *справа*) полушариях; заполненные квадраты относятся к последовательностям с большим начальным периодом, пустые – с меньшим. При получении линейных зависимостей (сплошные линии) исключены несколько точек, относящихся к большим периодам в фазах минимума СА (верхний правый угол).

Разброс точек, особенно в случае северного полушария, относительно небольшой. Это может означать, что слой, в котором формируются пятна каждой последовательности, ограничен по глубине, при этом его локализация не изменяется или изменяется незначительно на протяжении рассмотренных 5 циклов. Факт разделения зависимостей подтверждает такую гипотезу и, возможно, говорит о существовании нескольких сходных процессов генерации пятен, которые функционируют на разной глубине.

Выводы

Период квази-двухлетних вариаций изменяется не случайным образом, а монотонно уменьшается от начала каждого цикла СА к его завершению, что не противоречит известному свойству мультипериодичности КДО.

Обнаружена выраженная зависимость периода КДО от широты, что может указывать на его связь со скоростью вращения слоя конвективной зоны Солнца, в котором в каждый текущий момент времени формируются пятна.

Этот слой, возможно, ограничен по толщине, а его локализация оставалась неизменной или варьировала незначительно на протяжении рассмотренных 5 циклов СА.

Авторы благодарят сотрудников обсерватории Гринвич и научного центра Маршалла за данные в открытом доступе.

Литература

1. Bazilevskaya G. et al. // Space Sci Rev., 186, 359, 2014.
2. Костюченко И.Г. // Тр. «Солнечная и С-З Физика-2017», с. 199, 2017.
3. Bruevich E.A., Bruevich V.V., Yakunina G.V. // arXiv:1401.7033v1 [astro-ph.SR], 2014
4. Schou J. et al. // ApJ, 506, 390, 1998.
5. Benevolenskaya E.E. // ApJ, 517, L163, 1999.