

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ЦИКЛИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗНЫХ МАСШТАБОВ В 21–25 ЦИКЛАХ

Биленко И.А.

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

REGULARITIES IN THE FORMATION AND CYCLE VARIATIONS OF DIFFERENT SCALE SOLAR MAGNETIC FIELDS IN CYCLES 21–25

Bilenko I.A.

Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, Russia

The regularities of cycle variations of various scale magnetic fields in cycles 21-25 based on the large-scale magnetic field data at latitudes 35S-35N, reflecting the evolution of the solar global magnetic field (GMF), and sunspot numbers, characterizing the local magnetic field dynamics, are investigated. The results indicate that cycle changes in spot activity and corresponding oscillations differ significantly from that of the solar GMF. The intensity maxima of different period oscillations in wavelet spectra both of the global magnetic field and sunspot numbers occupy a significant range of periods in each cycle, which differs in different cycles and, moreover, they shift along the period length from cycle to cycle, which leads to the fact that their total spectrum in cycles 21–25 does not have one clearly defined maximum, but represents some average value blurred over the range of periods.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-25-28

Введение

Согласно теории Лейтона [5, 6], глобальное магнитное поле (ГМП) Солнца является продуктом распада локальных магнитных полей активных областей (АО). Однако Макаров и др. [7] показали, что динамика ГМП не только не зависит от АО, но и что ГМП предшествует АО приблизительно на 5.5 лет. Исследование корреляционных связей между ГМП и АО [2] показало, что взаимозависимости между ГМП и параметрами АО различны как в целом в разных циклах, так и на разных фазах в разных циклах, что может свидетельствовать о различных источниках формирования магнитных полей АО и ГМП. Динамика фоновых магнитных полей, являющихся одним из проявлений ГМП, также отличается от динамики сильных магнитных полей АО [3].

На основе данных наблюдений WSO крупномасштабных солнечных магнитных полей (КМП), отражающих динамику ГМП Солнца, и изменений числа пятен, характеризующих поведение локальных магнитных полей, проведено сопоставление вариаций периодов их вейвлет спектров в 21–25 циклах солнечной активности. Для корректного сопоставления КМП

рассматривалось в диапазоне широт от 35S до 35N, что соответствует широтам наблюдений активных областей.

Результаты исследования

На рис. 1 приведены вейвлет спектры суммарной напряженности (значений положительных и модуля отрицательных магнитных полей) КМП (B , рис. 1a) в диапазоне широт 35S-35N и числа пятен (W , рис. 1b) за период с 1976 по 2022 гг. (КО 1642-2258). На спектрах выделяются колебания с периодами: 3-6 КО ($P1$, 0.224-0.448 г. или 81.83-163.65 дня), 6-17 КО ($P2$, 0.448-1.270 г. или 163.652-463.680 дней), 17-70 КО ($P3$, 1.270-5.231 г. или 463.680-1909.27 дня) и 70-200 КО ($P4$, 5.231-14.945 г.) границы кото-

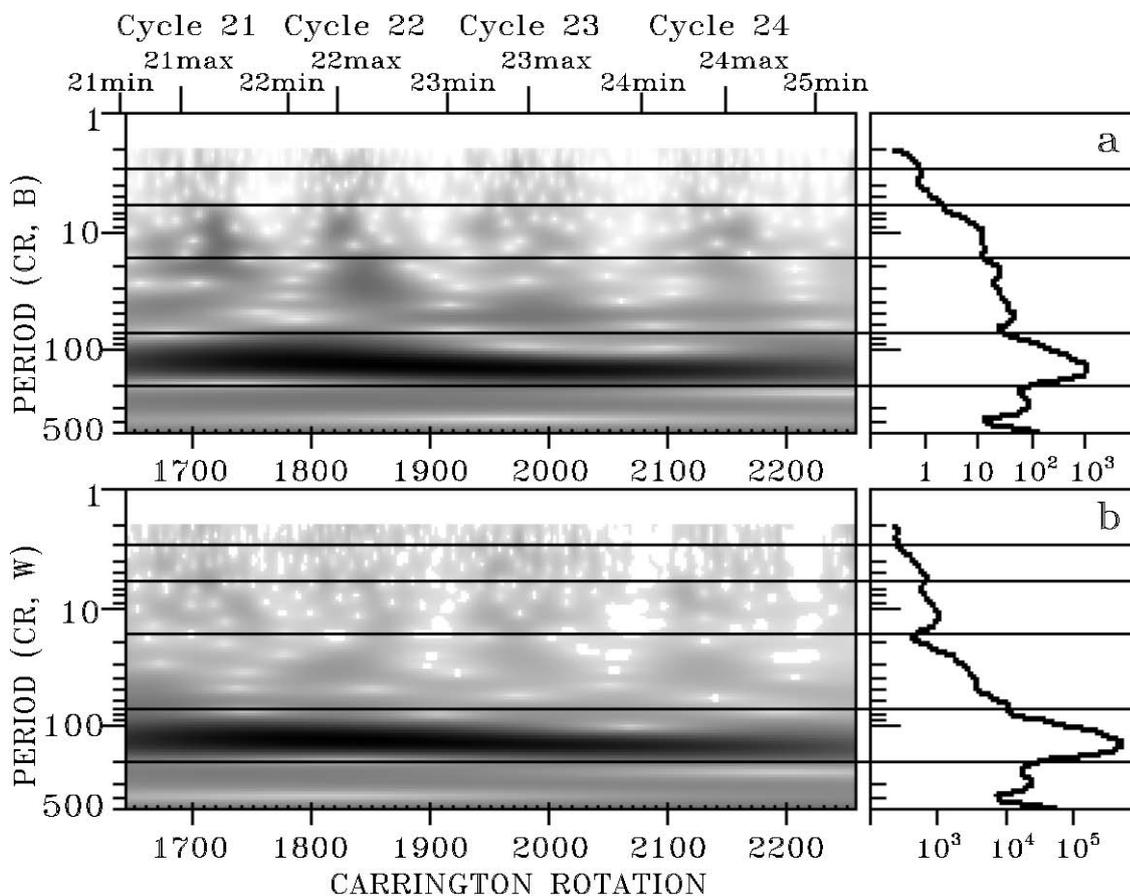


Рис. 1.

рых отмечены на спектрах горизонтальными линиями. При общей схожести динамики колебаний в циклах солнечной активности у B и W видны и явные отличия. Так колебания $P4$ изменяются синхронно и их интенсивности максимальны в 22 цикле, но отношение максимальных значений $P4$ к периодам $P1$ - $P3$ у W на порядок выше, чем у B . Диапазоны повышенной интенсивности периодов $P2$ у B в 22 и 23 циклах смещены к более коротким периодам (6-10 КО), а у W – к длинным (10-17 КО). Максимумы интенсивности колебаний $P3$ у B смещаются от 20 КО к 50 КО от 21 к 24

циклу, а у W от 21 к 22 циклу диапазон повышенной интенсивности $P3$ смещается от 40-70 КО к 20-40 КО и затем к 20-50 КО к 24 циклу. Так как максимумы интенсивностей в каждом интервале в каждом цикле занимают значительный диапазон периодов, который отличается в разных циклах и, более того, эти диапазоны смещаются по длине периодов от цикла к циклу, то суммарное их значение за 21–25 циклы не имеет одного четко выраженного максимума, а представляет собой некоторое среднее, размытое по диапазону периодов, значение.

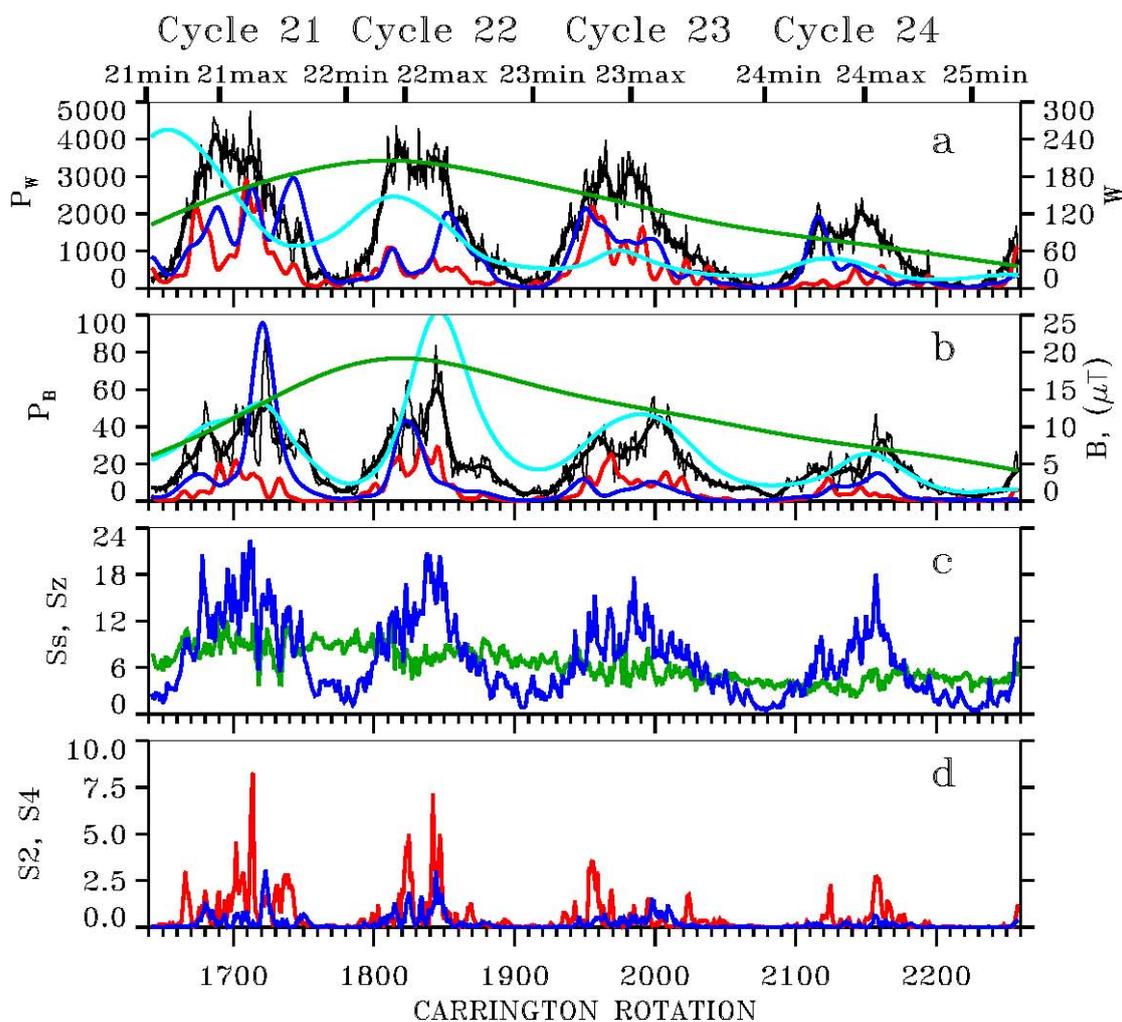


Рис. 2.

На рис. 2 показаны: средние для каждого диапазона периодов $P1$ - $P4$ интенсивности колебаний. На рис. 2a и 2b красный цвет соответствует $P1$, синий – $P2$, голубой – $P3$, зеленый – $P4$. Черным цветом на рис. 2a показано изменение W , а на рис. 2b – эволюция B . Тонкие линии на рис. 2a и 2b – это усредненные за каждый КО значения W и B , а толстые – за 13 КО. Для удобства сопоставления величины интенсивностей $P4$ поделены на 100 на рис. 2a и на 10 на рис. 2b. $P3$ поделены на 3 на рис. 2a, а $P1$ умножены на 5 на рис. 2b. На рис. 2c показаны изменения суммы секторных (S_s , синий

цвет) и зональных (S_z , зеленый цвет) гармоник сферического гармонического анализа ГМП [1], а на рис. 2d приведены вариации секторных гармоник S_2 (синий цвет) и S_4 (красный цвет). При анализе ГМП [4] было показано, что определенным структурам ГМП соответствуют колебания определенных периодов и их изменения в цикле соответствуют вариациям конкретных гармоник. Сопоставление рис. 2a-2d показывает, что общий ход циклических изменений W и соответствующих колебаний отличается от B и выявленных ранее для ГМП. Амплитуды P_1 и P_2 у W максимальны в нечетных циклах (21 и 23) и минимальны в четных (22 и 24), а у B – P_1 максимальна в 22 цикле и далее спадает к 24 циклу, а амплитуда P_2 максимальна в 21 цикле и затем понижается к 24 циклу. Амплитуда P_3 у W максимальна в 21 цикле и затем монотонно снижается к 24 циклу, а у B амплитуда P_3 максимальна в 22 цикле. Динамика суммы секторных гармоник больше соответствует циклическим изменениям B .

Выводы

Представлены результаты исследования циклических вариаций магнитных полей различных масштабов в 21–25 циклах на основе данных КМП (B) на широтах 35S–35N, отражающих динамику ГМП Солнца и чисел пятен (W) характеризующих динамику локальных магнитных полей.

Результаты свидетельствуют, что циклические изменения W и соответствующих колебаний в вейвлет спектре отличаются от B и выявленных ранее для ГМП [4] и соответствующих им колебаний.

Максимальные значения интенсивностей в каждом из интервалов P_1 – P_3 в каждом цикле занимают диапазон периодов, который отличается в разных циклах и, более того, эти диапазоны максимальной интенсивности смещаются по длине периодов от цикла к циклу, что приводит к тому, что суммарное их значение за 21–25 циклы не имеет одного четко выраженного максимума в общем спектре, а представляет собой некоторое среднее, размытое по диапазону периодов, значение.

Отношение интенсивности 11-летнего цикла (P_4) к более коротким периодам (P_1 – P_3) у W на порядок выше, чем у B .

Значения КМП и гармонических коэффициентов получены из данных солнечной обсерватории Wilcox (WSO). Значения чисел пятен предоставляются мировым центром данных SILSO.

Литература

1. Altschuler, M.D. and Newkirk, G. // Sol. Phys., V. 9, P. 131, 1969.
2. Bilenko, I.A. // Geomagnetism and Aeronomy, V. 56, No. 8, P. 978, 2016.
3. Bilenko, I.A. // ApJ, V. 889, 1, 12pp., 2020.
4. Bilenko, I.A. // ApJL., V. 897, P. 24(5pp), 2020.
5. Leighton, R.B. // ApJ, V. 140, P. 1547, 1964.
6. Leighton, R.B. // ApJ, V. 156, P. 1, 1969.
7. Makarov, V.I., Tlatov, A.G., Callebaut, D.K., et al. // Sol. Phys., V. 198, P. 409, 2001.