

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ ПОТОКОВ НА СОЛНЦЕ

Биленко И.А.

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

CYCLE VARIATIONS OF THE SOLAR MERIDIONAL FLOWS

Bilenko I.A.

Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-31-34>

The meridional flows of different intensity photospheric magnetic fields in cycles 21-24 were investigated. Data from NSO/Kitt Peak KPVT and SOLIS/VSM instruments for the period from 1976 to 2017 were used. Three types of time-latitude distributions and meridional flows were revealed depending on the intensity of the photospheric magnetic fields. The first type is low-strength magnetic fields. They were distributed uniformly and weakly depended on solar cycles. The second type is medium-strength magnetic fields. These positive- and negative-polarity magnetic fields show a wave-like, pole-to-pole, antiphase meridional circulation with a period of ~22 years. The third type is high-strength (active regions) magnetic fields. Magnetic fields of both leading and following polarities were distributed symmetrically in the northern and southern hemispheres and they migrated from high to low latitudes. The results indicate that high-strength (active regions) magnetic fields are not the main source of weak- and medium-strength magnetic fields and they do not determine the solar polar field reversal.

Введение

Меридиональные потоки играют важную роль во многих процессах на Солнце. Изучение закономерностей проявления меридиональных течений магнитных полей важно для понимания работы солнечного динамо. Согласно ряду современных исследований циклические вариации меридиональных потоков позволяют объяснить изменения амплитуды и продолжительности циклов солнечной активности [4, 5].

Целью данного исследования является рассмотрение вариаций широтно-временного распределения и меридиональных течений фотосферных магнитных полей Солнца разной напряженности в 21–24 циклах солнечной активности.

В работе использованы синоптические карты фотосферных магнитных полей обсерватории Кит-Пик KPVT (Kitt Peak Vacuum Telescope) и SOLIS/VSM (Synoptic Optical Long-Term Investigations/Vector Stokes Magnetograph) с 1976 по 2017 гг. Каждая синоптическая карта содержит информацию о полном Кэррингтоновском обороте (КО) Солнца и представляет собой широтно-долготное распределение значений напряженности магнитного поля, состоящее из 180×360 пикселей, соответствующих сол-

нечным координатам от -90° до $+90^\circ$, выраженных в синусах широты и $0^\circ - 360^\circ$ по долготе.

Результаты исследования

На рис. 1 показаны усредненные по долготе широтно-временные распределения за каждый КО слабых фотосферных магнитных полей ($|0-5|$ Гс) положительной (1a) и отрицательной (1b) полярности, магнитных полей средней напряженности (1c, 1d) в диапазоне $|10-25|$ Гс и магнитных полей высокой напряженности ($> |200|$ Гс), т. е. магнитных полей активных

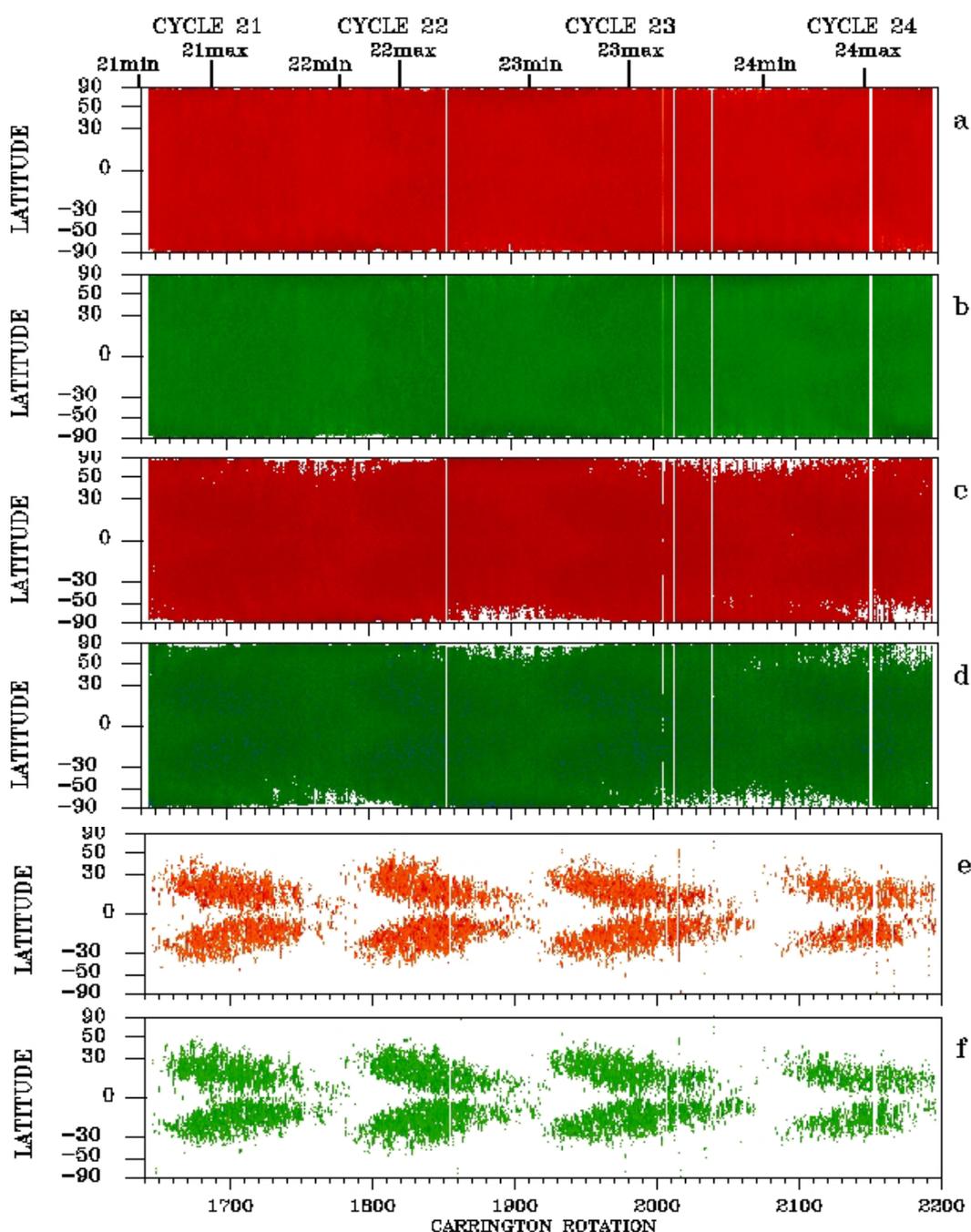


Рис. 1.

областей (1e, 1f). Из рис. 1 следует, что широтно-временная динамика магнитных полей низкой, средней и высокой напряженности сильно отличается. Магнитные поля низкой напряженности распределены равномерно по всем широтам от южного до северного полюса Солнца и их широтное распределение не зависит от циклических вариаций активных областей. Этот результат согласуется с результатами, полученными в работах [3, 6], где авторы показали, что слабые магнитные поля не зависят от фазы солнечного цикла и, что они не являются продуктами распада магнитных полей активных областей, а определяются функционированием мелкомасштабного динамо.

Магнитные поля средней напряженности (рис. 1c и 1d) выявляют периодические, противофазные, волнообразные меридиональные потоки от одного полюса к другому с периодом порядка 22 лет. В минимумах солнечной активности волны положительной и отрицательной полярности находятся у противоположных полюсов, затем эти магнитные потоки мигрируют к низким широтам, где они сближаются и пересекают экватор. Меридиональный поток каждой полярности переходит в противоположное полушарие и продолжает свое движение к противоположному полюсу. Именно эти меридиональные потоки и определяют процесс смены знака магнитного поля на полюсах в максимумах солнечной активности. Эти меридиональные течения полностью согласуются с циклической динамикой широтного распределения корональных дыр связанных с магнитными полями положительной и отрицательной полярности [1, 2], трассирующих вариации магнитных полей положительной и отрицательной полярности глобального магнитного поля Солнца.

Магнитные поля высокой напряженности соответствуют магнитным полям активных областей. Потоки, соответствующие как полярности лидирующих, так и хвостовых пятен, мигрируют от высоких широт к низким симметрично в северном и южном полушариях. Они не имеют прямого отношения к смене знака магнитного поля на полюсах Солнца.

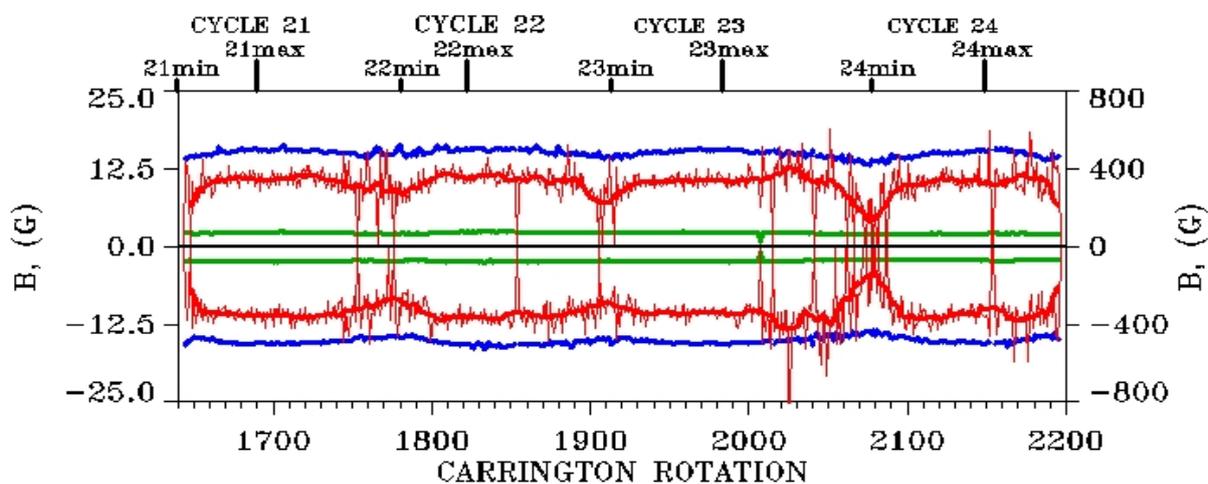


Рис. 2.

На рис. 2 показаны изменения средней напряженности магнитных полей для каждого из диапазонов. Зеленый цвет соответствует магнитным полям $|0-5|$ Гс., синий – $|10-25|$ Гс., красный $>|200|$ Гс. (правая шкала). Из рис. 2 следует, что магнитные поля слабой и средней напряженности мало изменяются на разных фазах солнечной активности, т. е. они слабо зависят от циклических вариаций магнитных полей активных областей.

Выводы

Результаты показали, что в зависимости от значения напряженности фотосферного магнитного поля выделяются три типа широтно-временного распределения магнитных полей и их меридиональных потоков.

Первый тип – это магнитные поля слабой напряженности ($|0-5|$ Гс.). Магнитные поля как положительной, так и отрицательной полярности распределены равномерно от южного до северного полюса. Средние значения их напряженности, практически, не зависят от циклических изменений магнитных полей активных областей, что свидетельствует в пользу теории мелкомасштабного динамо их формирования.

Второй тип – это магнитные поля средней напряженности ($|10-25|$ Гс.). Широтно-временные распределения магнитных полей положительной и отрицательной полярности представляют собой волнообразные, противофазные меридиональные потоки, мигрирующие от одного полюса к противоположному в каждом цикле с периодом порядка 22 лет. Они отражают динамику глобального магнитного поля Солнца и определяют процесс смены знака магнитного поля на полюсах Солнца.

Третий тип – это магнитные поля высокой напряженности ($>|200|$ Гс.), т. е. локальные магнитные поля активных областей. Магнитные потоки соответствующие как полярности лидирующих, так и хвостовых пятен активных областей мигрируют от высоких широт к низким симметрично в северном и южном полушариях Солнца.

NSO/Kitt Peak magnetic data used here are produced cooperatively by NSF/NOAO, NASA/GSFC, and NOAA/SEL. This work utilizes SOLIS data obtained by the NSO Integrated Synoptic Program (NISP), managed by the National Solar Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. under a cooperative agreement with the National Science Foundation.

Литература

1. *Bilenko I.A.* // *Astron. Astrophys.*, 2002, 396, 657-666.
2. *Bilenko I.A. and Tavastsherna K.S.* // *Solar Phys.*, 2016, 291, 2329-2352.
3. *Obridko V.N., Livshits I.M., Sokoloff D.D.* // *MNRAS*, 2017, 472, 2575-2582.
4. *Hanasoge S.M.* // *LRSP*, 2022, 19, 1-41.
5. *Jiang J., et al.* // *Space Sci. Rev.*, 2014, 186, 491-523.
6. *Kleint L., et al.* // *Astron. Astrophys.*, 2010, 524, A37.