

ШИРОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ 22-ЛЕТНЕЙ ВАРИАЦИИ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Вернова Е.С.¹, Тясто М.И.¹, Баранов Д.Г.²

¹*Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия*

²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

LATITUDINAL DEPENDENCE OF THE 22-YEAR VARIATION OF THE WEAK MAGNETIC FIELDS

Vernova E.S.¹, Tyasto M.I.¹, Baranov D.G.²

¹*St. Petersburg Filial IZMIRAN, St. Petersburg, Russia*

²*A.F. Ioffe Physical-Technical Institute, St. Petersburg, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-47-50>

Variations of the weak magnetic fields of the photosphere with periods of the order of the solar magnetic cycle were investigated. Synoptic maps of the photospheric magnetic field produced by NSO Kitt Peak for the period 1978–2016 were used as initial data. In order to study weak magnetic fields, the saturation threshold for synoptic maps was set at 5 G. On the base of transformed synoptic maps the time-latitude diagram was built. 18 profiles of the magnetic field evenly distributed along the sine of latitude from the north to the south pole were selected in the diagram for the further analysis. High latitude fields are known to change with the Hale magnetic cycle (period ~ 22 years). Unexpected was the presence of the 22-year variation in weak magnetic fields at lower latitudes. We show that at all latitudes with the exception of ~ 26° and ~ 33° in the N-hemisphere and ~ 26° in the S-hemisphere, weak magnetic fields cyclically change on average with a period of 22.3 years. For high latitudes, the magnetic fields of the two hemispheres vary approximately in antiphase. In contrast, equatorial latitudes are in phase with high latitude fields of the N-hemisphere and in antiphase with the S-hemisphere. The phase of the 22-year variation changes gradually with the latitude, yet sharp phase changes occur when the 22-year variation fails (latitude ~ 26°). A 22-year variation before and after a period of disappearance develops in antiphase. The amplitude of variation decreases from poles to latitudes about 40° and changes little with a further decrease in latitude down to the equator.

Магнитное поле Солнца, определяющее все многообразие солнечных явлений, является основой для построения модели солнечного цикла [1]. Магнитные поля следуют 22-летнему циклу, который представляет собой закон изменения полярности (закон Хейла) и проявляется в смене знака полярного поля около максимума солнечной активности и в смене знака ведущего и ведомого пятен в минимуме. Целью работы является изучение 22-летней вариации слабых магнитных полей для разных широт.

В качестве исходных данных были использованы синоптические карты фотосферного магнитного поля почти за четыре солнечных цикла (NSO Kitt Peak, 1978–2016 гг.). Синоптические карты, усредненные по долготе с учетом знака магнитного поля, были использованы при построении диаграммы широта–время. Чтобы подчеркнуть вклад слабых магнитных по-

лей, на каждой синоптической карте были оставлены без изменения только пиксели с полями меньше 5 Гс, а поля большие 5 Гс или меньшие –5 Гс заменялись предельными значениями +5 Гс или –5 Гс. Преобразованные таким образом карты использовались для построения диаграммы широта-время.

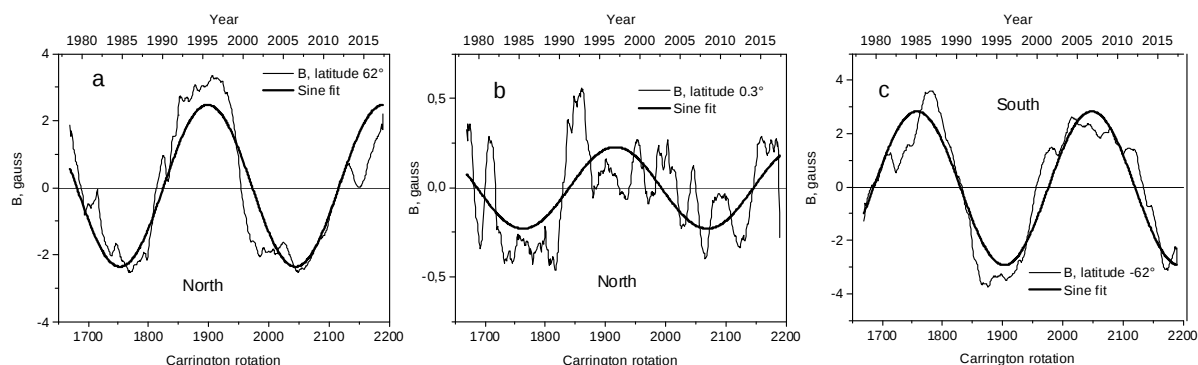


Рис. 1. Аппроксимация долгопериодической вариации магнитного поля синусоидальной функцией: тонкие линии – скользящее сглаживание значений поля по 21 обороту; жирные линии – аппроксимация синусоидальной функцией.

Дипольный характер высокоширотного поля: магнитные поля высоких широт (а) в N-полушарии $+62^\circ$ и (с) в S-полушарии -62° находятся в противофазе. На приэкваториальных широтах становится заметна доминирующая роль N-полушария: экваториальные поля (b) находятся в фазе с полями N-полушария высоких широт (а) и в противофазе с полями высоких широт S-полушария (с).

Наша статья является продолжением работы [2], в которой были исследованы вариации слабых магнитных полей фотосферы за период с 1978 по 2016 гг. Рассмотрено 18 временных профилей магнитного поля для набора широт от $+62^\circ$ до -62° . В ряде работ [3–5] показано присутствие в магнитном поле вариаций с периодами от 0.8 до 2 лет. Чтобы подчеркнуть долгопериодические изменения магнитного поля, было проведено скользящее сглаживание по 21 обороту. Благодаря сглаживанию мы значительно ослабили вклад вариаций с периодом 2 года и меньше. Для выделения долговременных вариаций магнитного поля сглаженные временные зависимости аппроксимировались синусоидальной функцией. Аппроксимация позволила установить, что основным периодом вариаций магнитного поля на различных широтах является магнитный цикл Солнца. Величина этого периода почти не меняется для разных широт и равна в среднем 22.3 года (рис. 3а,б, жирная линия), т.е. типичной продолжительности магнитного цикла Солнца (цикла Хейла).

В данной работе мы подробно рассмотрели изменение фазы 22-летней вариации. Поскольку северный и южный полюсы Солнца имеют противоположные знаки магнитного поля, то следовало ожидать, что 22-летняя вариация для севера и юга находятся в противофазе. На высоких широтах, которые мы рассматриваем ($+62^\circ$ и -62°), можно видеть эту закономер-

ность. На рис. 1 представлено изменение магнитного поля для широты $+62^\circ$ северного полушария (рис. 1a) и для широты -62° южного полушария (рис. 1c), а также для приэкваториальной широты $+0.3^\circ$ (рис. 1b). Видно, что 22-летние вариации для высоких широт северного и южного полушарий находятся в противофазе. Можно ожидать, что при переходе от северного полюса к южному будет происходить монотонное смещение фазы. Однако, как показывает рис. 1b, на экваторе вариация находится в фазе с высокой широтой северного полушария (рис. 1a) и в противофазе с высокой широтой южного полушария (рис. 1c).

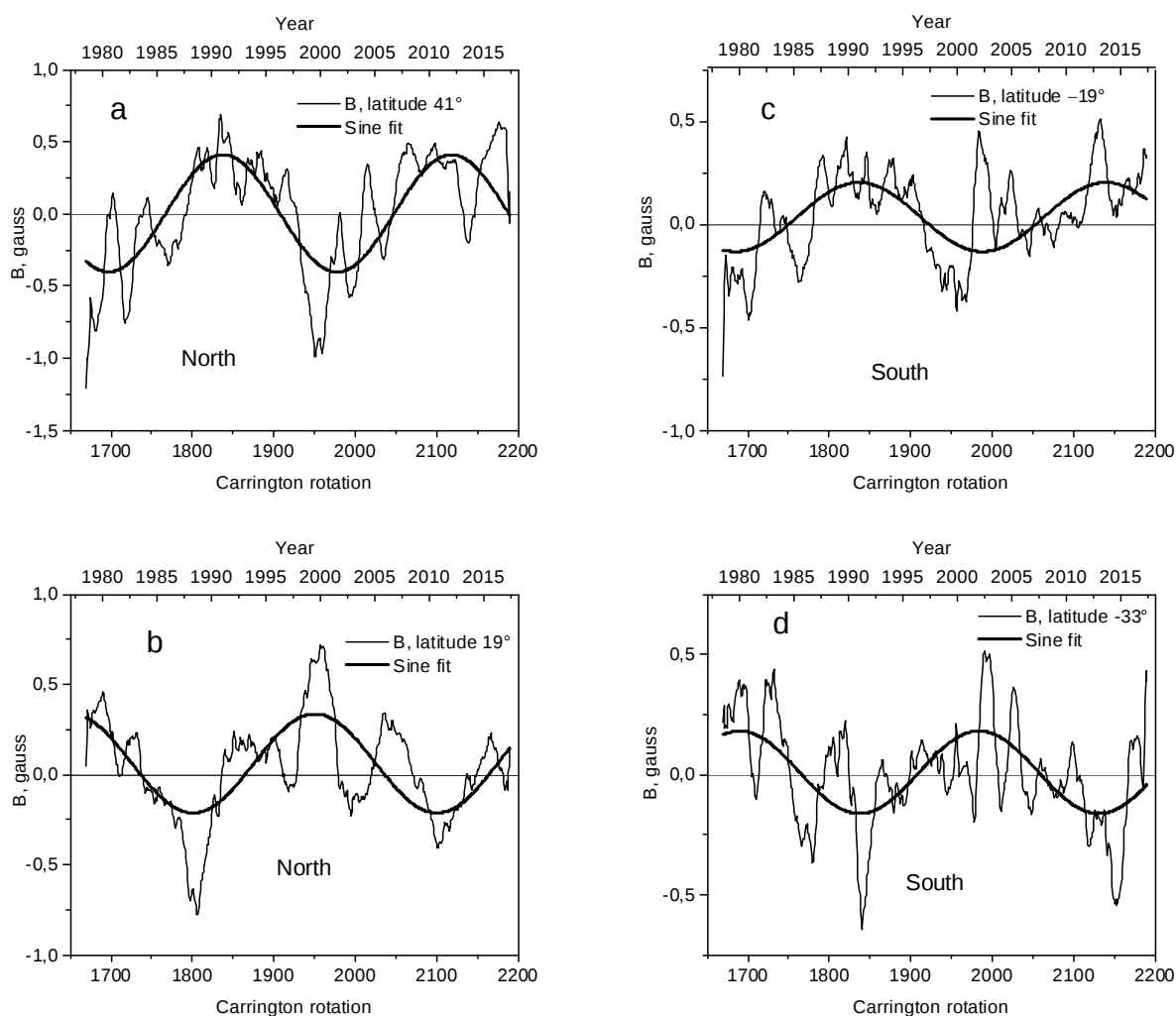


Рис. 2. Резкое изменение фазы 22-летней вариации. Долгопериодическая вариация отсутствует на широтах 26° и 33° N-полушария и на широте 26° S-полушария (сбой вариации). Рисунки показывают, что 22-летняя вариации на широтах выше и ниже сбоя находятся в противофазе.

Как было показано в [2], для большинства широт аппроксимация была выполнена успешно и показала существование 22-летней вариации, за исключением широт 33° и 26° в северном полушарии и 26° в южном полушарии. Для широты 33° северного полушария определить период вариации

не удалось. Широта 26° характеризуется преобладанием короткопериодных вариаций по сравнению с долгопериодическими вариациями, присутствующими на остальных широтах. Мы сравнили фазу 22-летней вариации до и после сбоя долгопериодической вариации (рис. 2), соответственно широты 41° (a) и 19° (b) в северном полушарии и -19° (c) и -33° (d) в южном полушарии. Эти рисунки показывают, что 22-летняя вариация развивается в противофазе до и после сбоя.

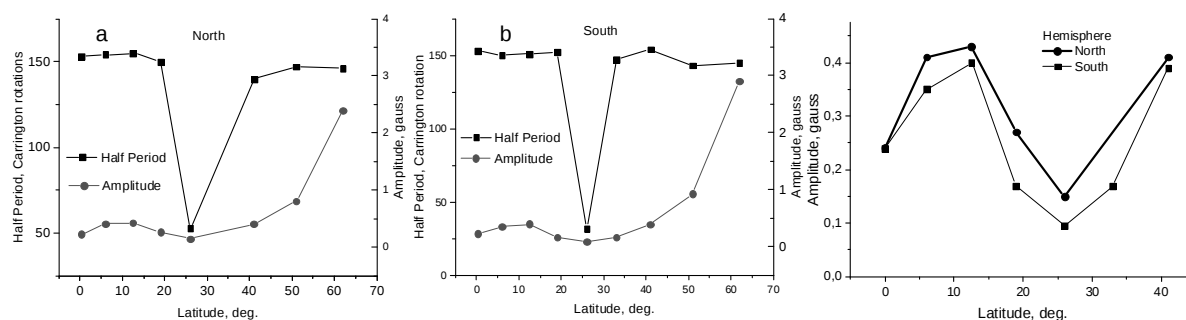


Рис. 3. Параметры вариации магнитного поля: (a) северное полушарие; (b) южное полушарие. Амплитуда вариации – тонкая линия, полупериод – жирная линия. Резкий спад величины периода происходит на широтах $+26^\circ$ и -26° . (c) Амплитуда вариаций в зоне пятнообразования для интервала широт от $+40^\circ$ до -40° . Амплитуда вариации северного полушария – жирная линия, южного полушария – тонкая линия.

Амплитуда вариаций уменьшается от полюсов до широт порядка 40° [2] и мало меняется при дальнейшем уменьшении широты вплоть до экватора (рис. 3a,b – тонкая линия). Если увеличить масштаб для интервала широт от $+40^\circ$ до -40° , можно видеть закономерное изменение амплитуды вариаций с сильной корреляцией двух полушарий (рис. 3c). Амплитуда достигает максимума на широтах 12.5° и 40° и минимума на широте 26° . Полученные результаты свидетельствуют об особенностях изменения фазы 22-летней вариации для разных широт. Неожиданным результатом является то, что экваториальные широты находятся в фазе с северным полюсом и в противофазе с южным полюсом. На широте 26° , после сбоя 22-летней вариации, наблюдается изменение фазы: до и после сбоя 22-летняя вариация развивается в противофазе.

Литература

1. Charbonneau P. // Liv. Rev. Solar Phys., 2020, 17, 4.
2. Vernova E.S., Tyasto M.I., Baranov D.G. // Geomagn. Aeron., 2023, 63, No. 7, 104.
3. Vecchio A., Laurenza M., Meduri D., et al. // ApJ, 2012, 749, 27.
4. Ulrich R.K., Tham Tran // ApJ, 2013, 768:189.
5. Vernova E.S.; Tyasto M.I.; Baranov D.G. // Solar Physics, 2023, 298:69.