

ДИСБАЛАНС ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ФОТОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

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

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

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

IMBALANCE OF POSITIVE AND NEGATIVE PHOTOSPHERIC MAGNETIC FIELDS FOR DIFFERENT FIELD STRENGTHS

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

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

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

The distribution of magnetic fields of positive and negative polarities in the photosphere of the Sun was studied. Synoptic maps of the photospheric magnetic field produced at the observatories NSO Kitt Peak (1978–2016), Wilcox Solar Observatory (1978–2022) and Mount Wilson Observatory (1978–2012) were used for the study. To highlight the contribution of weak magnetic fields, the saturation threshold for each synoptic map was set at 5 G. Based on the transformed synoptic maps, latitude-time diagrams were constructed. Along with the Rush-to-the-Poles flows that occur during the decay of tail sunspots, magnetic field flows of alternating polarity (ripples), drifting from the equator towards the poles up to the latitudes of $\sim 50^\circ$ were observed. The work shows that ripples are located between two neighboring Rush-to-the-Poles flows. As a rule, the flows of the northern hemisphere were mirrored by the flows of the magnetic field of the southern hemisphere. The signs of the magnetic field for the opposite flows of the two hemispheres coincided. Extensions of ripples of a certain sign from one hemisphere to another indicate the presence of a magnetic field structure spanning both hemispheres of the Sun. Changes in the magnetic field for different saturation thresholds show that there is a general pattern of polarity alternation for all magnitudes of magnetic fields.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-69-72>

Распределение магнитных полей разной полярности по поверхности Солнца подчиняется определенным временным и пространственным закономерностям, которые проявляются, например, в преобладании поля одного знака в полярных областях и смене этого знака около максимума солнечной активности (СА) – 22-летний магнитный цикл. Проявлением дисбаланса магнитных полей являются также потоки Rush-to-the-Poles (RTTP). Эти потоки, с магнитным полем того же знака, что и знак поля хвостовых пятен, дрейфуя от широты 30° до полюса, приводят к переполюсовке полярного поля [1]. Были также обнаружены и другие потоки поля одного знака – «surges», возникновение которых также связывали с распадом полей пятен [2]. В работах [3, 4] была найдена определенная система в распределении «surges». В [3] была отмечена периодичность в чередовании

«surges», и показано, что они меняются квазидвухлетней вариацией. В [4] для таких вариаций было введено название «ripples». Было показано, что наиболее ярко явление ripples проявляется на диаграммах широта-время, построенных особыми способами. Первый способ – дифференцирование диаграммы широта-время и второй способ – отклонение от усредненной диаграммы широта-время [4].

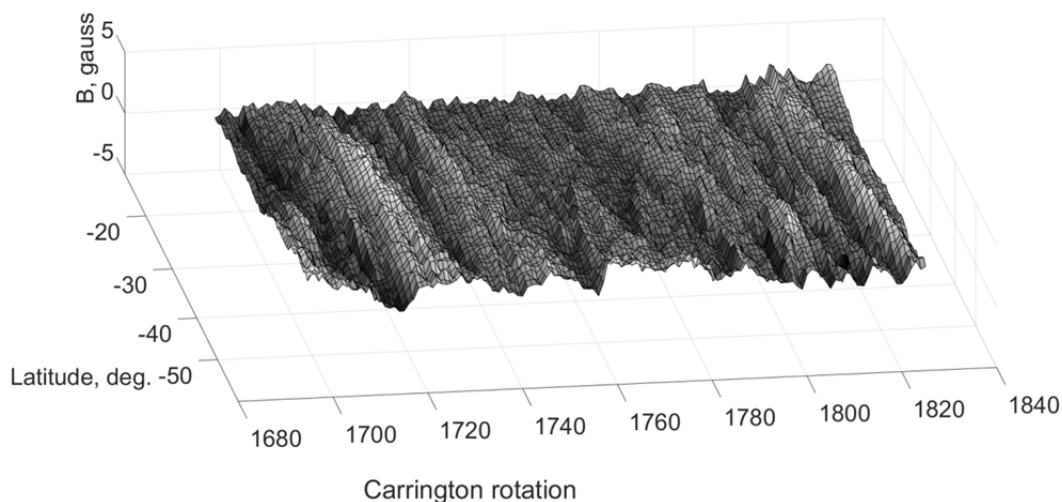


Рис. 1. Участок диаграммы широта-время магнитных полей $|B| \leq 5$ Гс для южного полушария (широты от -5° до -40° , период времени – обороты 1700–1840).

В нашей работе для исследования ripples использованы синоптические карты фотосферного магнитного поля обсерваторий NSO Kitt Peak (1978–2016), Mount Wilson Observatory (1978–2012) и Wilcox Solar Observatory (1978–2022). При построении диаграммы широта-время синоптические карты усреднялись по долготе с учетом знака магнитного поля. На каждой синоптической карте были оставлены без изменения только поля $|B| \leq 5$ Гс. Пиксели с полями $|B| > 5$ Гс заменялись предельными значениями $+5$ Гс или -5 Гс. По преобразованным синоптическим картам с насыщением были построены диаграммы широта-время с отчетливо выделяющимся явлением ripples. На рис. 1 показано трехмерное изображение фотосферы, где хорошо видно чередование потоков двух полярностей в виде хребтов и долин, вершины которых соответствуют положительным, а долины – отрицательным полям. Эти потоки выглядят как пакет волн, в которых меняется поочередно знак доминирующей полярности магнитного поля.

На рис. 2 показаны временные изменения магнитных полей обсерваторий Kitt Peak (a), WSO (b) и MWO (c) в одном и том же временном интервале. Циклическая структура распределения магнитного поля проявляется в виде ряда потоков с чередующимися знаками поля (ripples), которые располагаются между двумя областями RTTP.

Для временного интервала около 9 лет от одного RTTP к другому, аппроксимация изменений поля синусоидальной функцией дает следующие

значения полупериода вариаций w в кэррингтоновских оборотах: WSO – $w = 10,30 \pm 0,16$, MWO – $w = 10,18 \pm 0,17$ и КР – $w = 10,24 \pm 0,12$ (20 кэррингтоновских оборотов соответствуют периоду 1,5 года). Совпадение результатов для трех серий данных, полученных разными обсерваториями, подтверждает реальность наблюдаемого явления.

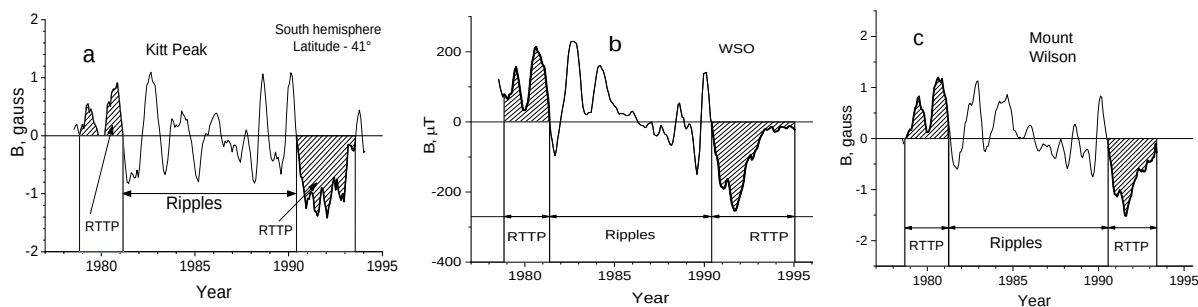


Рис. 2. Изменение магнитного поля вдоль широты 40° для трех обсерваторий (Kitt Peak, WSO и Mount Wilson). Видно, что промежутки времени между двумя RTTP заполнены потоками с чередующейся полярностью (ripples).

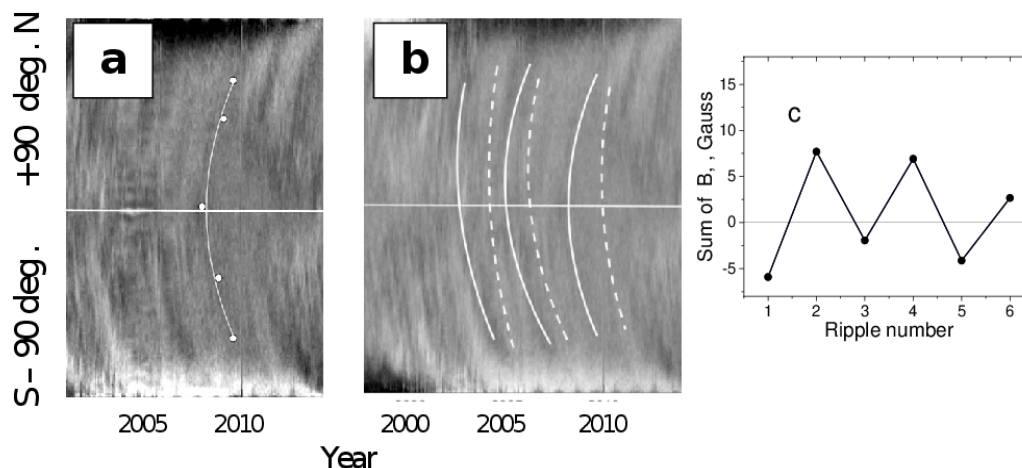


Рис. 3. Примеры аппроксимации ripples полиномом 2-й степени: (a) отдельный поток в серии ripples; точки – локальные максимумы поля на соответствующей широте; (b) серия из 6 потоков чередующейся полярности (сплошная линия – отрицательное магнитное поле, пунктирная линия – положительное); (c) суммарное поле вдоль аппроксимирующей линии.

Большинство ripples располагаются попарно, по обе стороны от экватора, симметрично друг против друга. Мы показали, что есть данные, которые позволяют считать такую пару ripples, расположенных в двух полушариях, единой структурой с общим знаком магнитного поля. На рис. 3а показан участок диаграммы широта-время, на котором поставлены точки вдоль потока одного знака в северном и южном полушариях. Эти точки отмечают положение локальных максимумов магнитного поля на линиях постоянной широты. Мы аппроксимировали противолежащую пару ripples полиномом 2-й степени (белая линия на рис. 3а). Подобная методика использована и для

других потоков (рис. 3b). Оказалось, что такая аппроксимация вполне успешно описывает изменения поля сразу в двух полушариях, что говорит о тесной связи этих потоков. Об этом говорит также изгиб кривых, аппроксимирующих ripples, который симметричен и указывает на сходство дрейфа доминирующей полярности в направлении к обоим полюсам. Вычисление суммы магнитных полей вдоль линий аппроксимации (рис. 3с), показывает поочередное доминирование положительных и отрицательных полей.

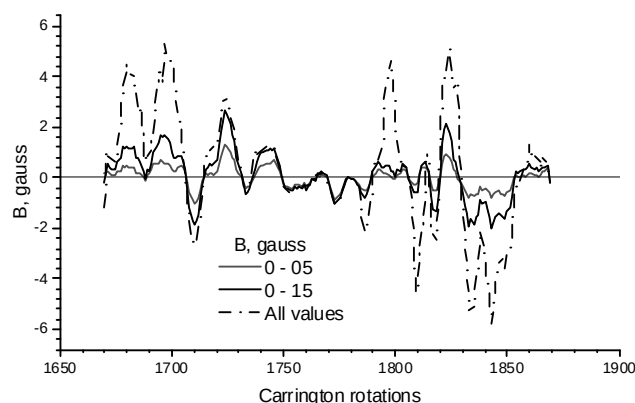


Рис. 4. Влияние величины порога насыщения на изменение магнитного поля вдоль широты 33° южного полушария. Порог насыщения B был установлен на 5, 15 и 5000 Гс (последнее соответствует включению всех величин поля).

Связь дисбаланса двух полушарий имеет место, когда мы рассматриваем магнитные поля в масштабе нескольких лет. Однако при исследовании долгопериодических вариаций дисбаланса магнитных полей мы получили резкие различия между полушариями [5, 6]. Знак дисбаланса, который изменяется с 22-летним периодом, совпадает со знаком полярного поля в северном полушарии как для сильных, так и для слабых полей.

На рис. 4 рассмотрены временные изменения магнитного поля вдоль широты 33° южного полушария для разных порогов насыщения: $B = 5$ Гс, 15 Гс, а также для всех значений B . В течение 4 лет низкой СА большая часть вариаций связана со слабыми полями ($B \leq 5$ Гс). Напротив, сильные поля вносят главный вклад в RTTP. Сильные поля изменяют свой знак в то же самое время, что и слабые поля. Это означает, что существует общая структура чередования знаков поля для всех величин магнитных полей.

Литература

1. Altrock R.C. // Solar Phys., 2014, 289, 623.
2. Mordvinov A.V., Pevtsov A.A., Bertello L., Petrie G.J.D. // Sol.-Terr. Phys., 2016, 2, 3.
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. // Geomagn. Aeron., 2023, 63, No. 7, 104.
6. Vernova E.S., Tyasto M.I., Baranov D.G. // Solar Phys., 2023, 298, 69.