

ДИСБАЛАНС ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО И ОТРИЦАТЕЛЬНОГО МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ ФОТОСФЕРЫ

Е. С. Вернова, М. И. Тясто

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (СПбФ ИЗМИРАН)

Проведено исследование фотосферных магнитных полей с использованием синоптических карт Китт Пик. Рассмотрен как дисбаланс положительного и отрицательного магнитных потоков, так и северно-южных магнитных потоков. Показано, что знак северно-южной асимметрии определяется фазой 11-летнего цикла (перед и после инверсии). Знак дисбаланса положительного и отрицательного потоков зависит как от фазы 11-летнего цикла, так и от чётности солнечного цикла.

Ключевые слова: фотосферное магнитное поле, 11-летний цикл.

В основе всего многообразия форм солнечной активности лежат магнитные поля, изменяющиеся в ходе 22-летнего магнитного цикла Солнца. Различающиеся по величине группы магнитных полей соответствуют различным проявлениям активности Солнца.

На основе синоптических карт обсерватории Китт Пик за 1976–2003 гг. (<http://nsokp.nso.edu/>) исследовались сильные фотосферные магнитные поля ($B > 100$ Гс) в зоне пятнообразования (гелиошироты $\pm 40^\circ$). Для каждой синоптической карты вычислялись четыре характеристики магнитного поля: F_N^{pos} , F_N^{neg} , F_S^{pos} , F_S^{neg} . Положительные и отрицательные потоки для северного (F_N^{pos} , F_N^{neg}) и южного (F_S^{pos} , F_S^{neg}) полушарий Солнца совпадают по знаку с полями ведущих или ведомых пятен в каждом полушарии, и их можно рассматривать как потоки ведущих или ведомых пятен.

Хотя каждый из четырёх потоков изменяется с 11-летним солнечным циклом, можно найти определённые закономерности в дисбалансе этих потоков, которые оказались связаны с четвертью магнитного цикла Солнца. Несмотря на высокий коэффициент корреляции между положительным и отрицательным потоками одного и того же полушария, имеется дисбаланс этих потоков (рис. 1). Дисбаланс меняется с 22-летним циклом Хейла: в течение 11 лет от одного минимума до другого знак дисбаланса сохраняется и всегда совпадает со знаком ведущего пятна в данной полусфере [Obridko, Shel'ting, 2007; Vernova et al., 2012a].

Аналогичные результаты имеют место и для южного полушария: знак дисбаланса всегда совпадает со знаком ведущего пятна в южной полусфере.

Можно рассмотреть потоки, которые соответствуют только ведущим пятнам N- и S-полушарий в 21-м солнечном цикле ($F_N^{\text{pos}} > 0$ и $F_S^{\text{neg}} < 0$). Дисбаланс этих потоков ($\Delta F_{\text{lead}} = F_N^{\text{pos}} + F_S^{\text{neg}}$, рис. 2a) от минимума до инверсии (1981) положителен, что соответствует большему положительному

Вернова Елена Сергеевна — старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, helena@ev13934.spb.edu
Тясто Марта Ильинична — заведующая лабораторией, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, mtastyasto@mail.ru

потоку, который создаётся ведущими пятнами N-полушария. В период инверсии общего магнитного поля Солнца (ОМПС) знак дисбаланса меняется, он становится отрицательным, что соответствует большому отрицательному потоку, который создаётся ведущими пятнами S-полушария.

Рассмотрим дисбаланс потоков, которые соответствуют только ведомым пятнам N- и S-полушарий в 21-м солнечном цикле ($\Delta F_{\text{fol}} = F_N^{\text{neg}} + F_S^{\text{pos}}$, см. рис. 2б). От минимума до инверсии дисбаланс отрицателен, что означает доминирование N-полушария. От инверсии до минимума дисбаланс положителен, что означает доминирование S-полушария.

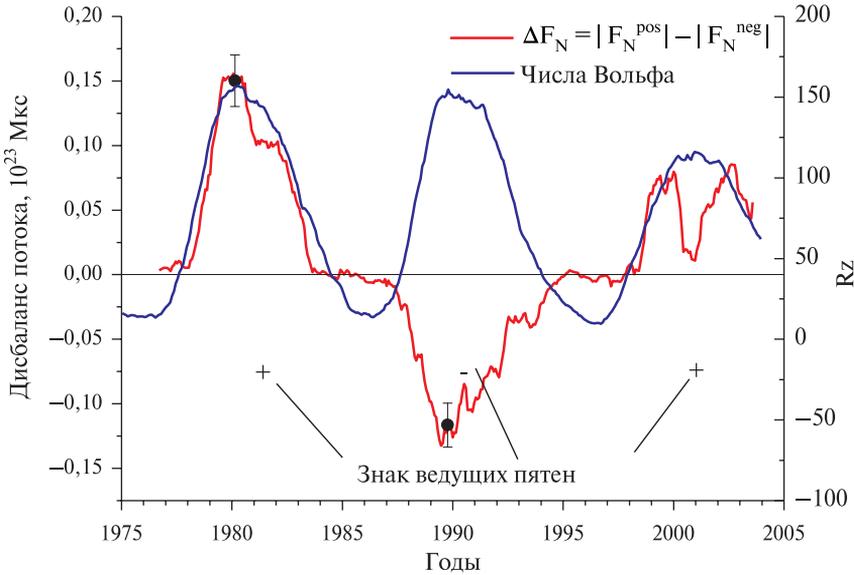


Рис. 1. Дисбаланс положительного и отрицательного потоков (северное полушарие)

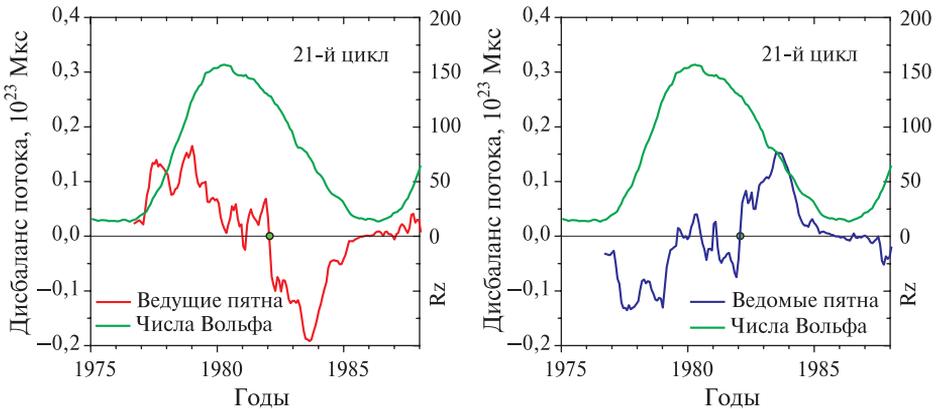


Рис. 2. Дисбаланс магнитных потоков для 21-го солнечного цикла: а — дисбаланс потоков ведущих пятен ($\Delta F_{\text{lead}} = F_N^{\text{pos}} + F_S^{\text{neg}}$); б — дисбаланс потоков ведомых пятен ($\Delta F_{\text{fol}} = F_N^{\text{neg}} + F_S^{\text{pos}}$)

Таким образом, для четверти 22-летнего магнитного цикла сохраняется знак дисбаланса потоков ведущих (ведомых) пятен, причём как для ведущих, так и для ведомых пятен от минимума до инверсии будет доминировать N-полушарие, после инверсии до минимума — S-полушарие.

Как известно, 22-летний магнитный цикл проявляется в изменении полярностей ведущих и ведомых пятен в минимумах солнечной активности (цикл Хейла) и в изменении ОМПС вблизи от максимумов солнечной активности (СА). В ходе 22-летнего магнитного цикла существуют моменты, когда меняется соотношение полярностей глобальных и локальных полей. Эти моменты связаны либо с инверсией ОМПС, либо со сменой полярностей у ведущих и ведомых пятен. Таким образом, в течение 22-летнего цикла есть четыре интервала, когда сохраняются полярности глобального магнитного поля и полярности ведущих полей для каждого из полушарий, т.е. сохраняется постоянная магнитная конфигурация глобальных и локальных полей на Солнце. Представление 22-летнего магнитного цикла в виде четырёх характерных интервалов оказалось существенным при рассмотрении асимметрии долготного распределения площади солнечных пятен [Vernova et al., 2004] и фотосферных магнитных полей [Vernova et al., 2007]. При переходе от фазы подъёма к фазе спада активные долготы изменяются на 180° .

Эти интервалы характеризуются постоянным знаком дисбаланса потоков ведущих (ведомых) пятен (см. рис. 2). Аналогичные закономерности наблюдается и для других солнечных циклов. Таким образом, знак дисбаланса магнитных потоков ведущих (ведомых) пятен сохраняется на протяжении 11 лет. Дисбаланс меняет знак в период инверсии ОМПС. Знак дисбаланса ведущих/ведомых пятен совпадает со знаком ОМПС северного/южного полушария соответственно [Vernova et al., 2012b].

Одновременное доминирование магнитных потоков ведущих и ведомых пятен определяет доминирование N-полушария на фазе подъёма и доминирование S-полушария на фазе спада. Изменения дисбаланса потоков приводит к циклическим изменениям N-S-асимметрии $\Delta_{NS} = |F_N^{pos}| + |F_N^{neg}| - |F_S^{pos}| - |F_S^{neg}|$ (рис. 3). Видно, что в годы низкой СА северная асимметрия (Δ_{NS}) близка к нулю. Знак асимметрии меняется два раза: в период инверсии ОМПС и в минимуме СА. В результате мы видим строгую последовательность доминирования полушарий. От минимума СА до инверсии знак Δ_{NS} положителен, что означает доминирование N-полушария. В период инверсии знак Δ_{NS} становится отрицательным, что означает переход доминирования к S-полушарию. Вблизи от минимума СА снова происходит смена знака и доминирующим становится N-полушарие [Vernova et al., 2002].

Таким образом, если разбить 11-летний солнечный цикл на две части (от минимума до инверсии и от инверсии до минимума), то всегда для первой части будет доминировать N-полушарие, в то время как для второй части доминирует S-полушарие, т.е. справедлива формула, определяющая знак N-S-асимметрии для двух частей солнечного цикла: $\text{sign}(\Delta_{NS}) = (-1)^{k+1}$, где $k = 1$ соответствует периоду от минимума 11-летнего цикла до инверсии; $k = 2$ соответствует периоду от инверсии до минимума [Vernova et al., 2012b].

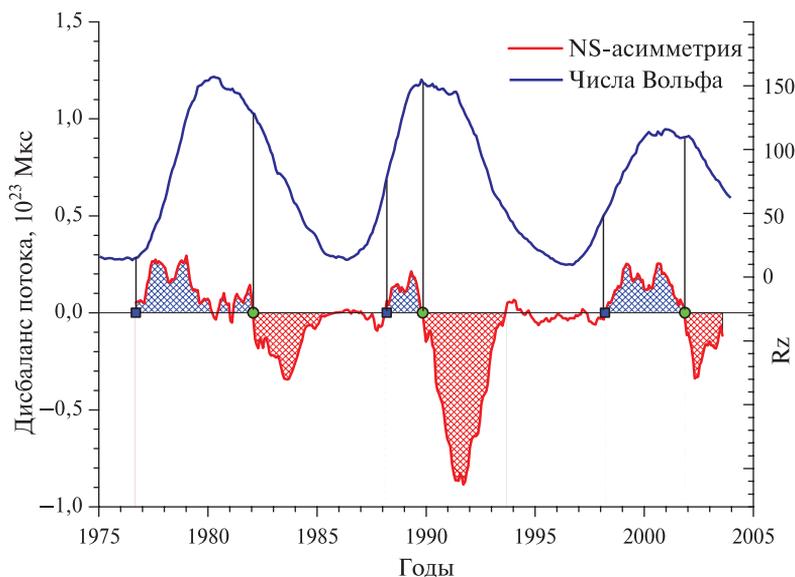


Рис. 3. N-S-асимметрия магнитного потока Солнца. Синей штриховкой выделены периоды доминирования N-полушария, красной штриховкой — S-полушария. Смена знака асимметрии отмечена: зелёные точки — в период инверсии ОМПС; синие точки — вблизи от минимума СА

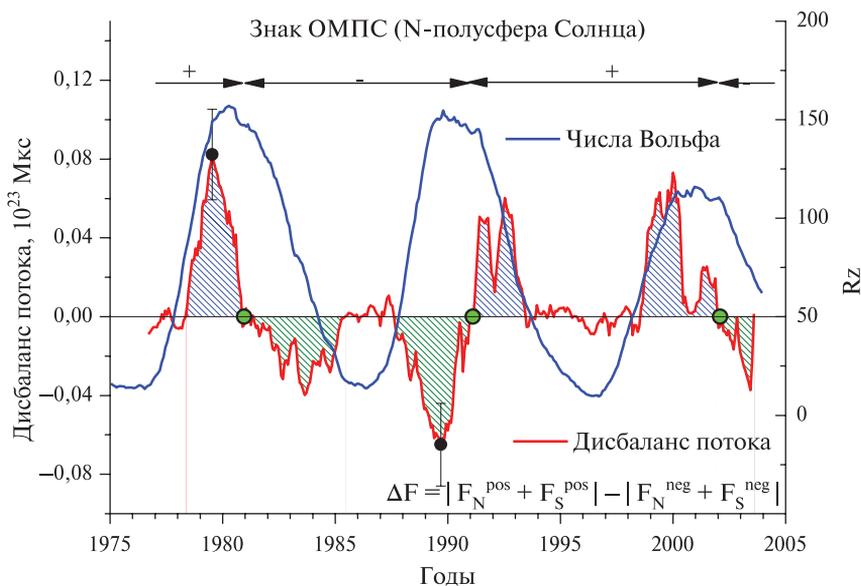


Рис. 4. Дисбаланс магнитных потоков для обеих полуфер в полосе широт $\pm 40^\circ$. Синей штриховкой выделены периоды доминирования положительного магнитного потока, зелёной штриховкой — периоды доминирования отрицательного потока. Периоды инверсии ОМПС отмечены кружками

Важно подчеркнуть, что для ведущих пятен всегда знак дисбаланса совпадает со знаком ОМПС в северном полушарии. Если рассмотреть дисбаланс положительного и отрицательного потоков для всей приэкваториальной области $\pm 40^\circ$ (рис. 4), то он оказывается таким же, как дисбаланс только ведущих пятен: все основные особенности сохранения и смены знака повторяются. Таким образом, общий дисбаланс сохраняет свой знак в течение 11 лет от одной инверсии ОМПС до другой, причём знак дисбаланса всегда совпадает со знаком ОМПС в N-полушарии.

Закономерность изменения знака дисбаланса положительных и отрицательных магнитных потоков (ΔF) можно выразить формулой: $\text{sign}(\Delta F) = (-1)^{n+k}$, где $n = 1$ для нечётного и $n = 2$ для чётного солнечного цикла; $k = 1$ соответствует интервалу от минимума до инверсии, $k = 2$ интервалу от инверсии до минимума). Действительно, знак дисбаланса будет определяться тем, чётным или нечётным является данный цикл, и к какой части 11-летнего цикла (до инверсии или после инверсии) он относится.

ВЫВОДЫ

1. Дисбаланс положительных и отрицательных потоков одного и того же полушария меняется с 22-летним циклом Хейла: в течение 11 лет от одного минимума до другого знак дисбаланса сохраняется и всегда совпадает со знаком ведущего пятна в данной полусфере.

2. Знак дисбаланса магнитных потоков ведущих пятен N и S полушарий сохраняется на протяжении 11 лет. Дисбаланс меняет знак в период инверсии ОМПС. Знак дисбаланса ведущих/ведомых пятен совпадает со знаком ОМПС северного/южного полушария.

3. Дисбаланс положительного и отрицательного магнитных потоков в зоне пятнообразования, включающих поля как ведущих, так и ведомых пятен обоих полушарий, изменяется с 22-летним циклом Солнца. Знак дисбаланса всегда совпадает со знаком общего магнитного поля Солнца в северном полушарии.

4. Знак северо-южной асимметрии магнитных потоков, также как и знак дисбаланса положительных и отрицательных потоков, зависит от четверти 22-летнего магнитного цикла Солнца. Знак северо-южной асимметрии определяется только фазой 11-летнего цикла (до или после инверсии); знак дисбаланса положительных и отрицательных потоков определяется двумя факторами: чётностью солнечного цикла и фазой 11-летнего цикла.

ЛИТЕРАТУРА

- [Obridko, Shel'ting, 2007] *Obridko V. N., Shel'ting B. D.* A generalized polarity rule for solar magnetic fields // *Astronomy Reports*. 2007. V. 51. No. 4. P. 339–342.
- [Vernova et al., 2002] *Vernova E. S., Tyasto M. I., Mursula K., Baranov D. G.* A new pattern for the North-South asymmetry of sunspots // *Solar Physics*. 2002. V. 205. P. 371–382.

- [Vernova et al., 2004] *Vernova E. S., Tyasto M. I., Mursula K., Baranov D. G.* Long-term longitudinal asymmetries in sunspot activity: difference between the ascending and descending phase of the solar cycle // *Solar Physics*. 2004. V. 221. P. 151–165.
- [Vernova et al., 2007] *Vernova E. S., Tyasto M. I., Baranov D. G.* Photospheric magnetic field of the Sun: two patterns of the longitudinal distribution // *Solar Physics*. 2007. V. 245. P. 177–190.
- [Vernova et al., 2012a] *Vernova E. S., Tyasto M. I., Baranov D. G.* Manifestation of 22-year solar magnetic cycle in the imbalance between positive and negative photospheric magnetic fluxes // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2012. V. 52. No. 7. P. 821–828.
- [Vernova et al., 2012b] *Vernova E. S., Tyasto M. I., Baranov D. G.* Photospheric magnetic field: relationship between N-S asymmetry and flux imbalance. 2012. 23 p. // *Solar and Stellar Astrophysics (astro-ph.SR)*. URL: arXiv:1203.5514.

THE IMBALANCE BETWEEN THE POSITIVE AND NEGATIVE MAGNETIC FLUXES OF THE PHOTOSPHERE

E. S. Vernova, M. I. Tyasto

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences (SPbF IZMIRAN)

Photospheric magnetic fields were studied using the Kitt Peak synoptic maps. The imbalance between positive and negative magnetic field fluxes was considered as well as the north-south asymmetry of the magnetic fluxes. It is shown that the sign of the north-south asymmetry is determined by the phase of 11-year cycle (before or after the reversal). The sign of the imbalance of the positive and the negative fluxes depends on both the phase of 11-year cycle and on the parity of the solar cycle.

Keywords: photospheric magnetic field, 11-year cycle.

Vernova Elena Sergeevna — senior scientist, PhD, senior scientist, helena@ev13934.spb.edu

Tyasto Marta Iliinichna — head of laboratory, doctor of physical and mathematical sciences, senior scientist, mtyasto@mail.ru