

УДК 523.327

Дисбаланс магнитных полей на Солнце

Н.Н. Степанян¹, О.А. Андреева¹, Я.И. Зельк²

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
nataly@crao.crimea.ua, olga@crao.crimea.ua

² Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, просп. ак. Глушкова, 40, Киев-187, 03680, Украина
adapt@space.is.kiev.ua

Поступила в редакцию 15 октября 2008 г.

Аннотация. Изучены разности потоков магнитного поля “+” и “-” полярности – дисбаланс магнитных полей за 26 лет, с 1 января 1977 г. по 30 сентября 2003 г. Исходным материалом послужили синоптические карты напряженности продольного вектора магнитного поля Солнца, полученные в обсерватории Китт Пик (США) и любезно предоставленные нам доктором Харви.

Определены особенности цикличности дисбаланса магнитных полей, отклонения от дипольной структуры магнитного поля Солнца, найден вклад широтных зон и полей разной напряженности в общий магнитный поток от Солнца. Последняя характеристика сравнена со значениями ОМП, полученными из наблюдений Солнца как звезды (Котов и др., 2002; Котов, 2008).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что дисбаланс – одна из физических характеристик Солнца. Подтверждением такого вывода являются:

- строгие закономерности изменения дипольной структуры Солнца;
- сложный характер цикличности дисбаланса – множественность циклов;
- солнечная природа изменения ОМП;
- различие двух классов магнитных полей по характеристикам дисбаланса.

THE IMBALANCE OF MAGNETIC FIELDS ON THE SUN, *by N.N. Stepanian, O.A. Andryeyeva, Ya.I. Zelyk*. Differences of magnetic field flows of “+” and “-” polarities i.e. the imbalance of magnetic fields, for 26 years are investigated, since January, 1, 1977 till September, 30, 2003. As the initial material synoptic maps of the longitudinal vector strength of the Sun magnetic field received in Kitt Peak National Observatory (USA) and kindly given to us by Dr. J. Harvey have served. The imbalance of magnetic fields cyclicity features, the deviations from dipole structure of the Sun magnetic field are determined. The contribution of latitude zones and of different strength fields to the general magnetic flux from the Sun is found. The last characteristic was compared with the Sun’s mean magnetic field (MMF) obtained from the observations of the Sun as a star.

The received results testify that the imbalance is one of physical characteristics of the Sun. The confirmations of such conclusion are:

- the stringent legitimacies of the Sun dipole structure changing;
- the complicated character of the imbalance cyclicity i.e. multiplicity of cycles;
- the solar character of MMF changing;
- the distinction of two classes of magnetic fields under the imbalance characteristics.

Ключевые слова: Солнце, магнитные поля, дисбаланс

1 Введение

История изучения разности потоков магнитного поля Солнца “+” и “-” полярности насчитывает уже полстолетия. У истоков этих исследований стояли Бибкок (1955) и А.Б. Северный (1964). В работах Северного (1964а, 1965) было показано, что на Солнце нет когерентного общего магнитного поля. Оно складывается из мелких элементов разного размера, напряженности и знака. Только значительное осреднение позволяет говорить о преобладании того или иного знака поля. В подробном анализе наблюдений полярных и экваториальных зон Солнца с магнитографом в 1963 г. и более поздних годах Северный (1966, 1968) показал, что поле полярных областей Солнца отличается от поля типа диполя или равномерно намагниченной сферы.

Позднее, в работе Котова и Левицкого (1985), проанализированы все имевшиеся к тому времени работы о дисбалансе солнечных и межпланетных магнитных полей.

Подчеркнуто, что нарушение баланса является характерной чертой общего магнитного поля Солнца (ОМП). Авторами обращено внимание на наличие годичной вариации дисбаланса ОМП и межпланетного магнитного поля.

Различие слабых магнитных полей Солнца “+” и “-” полярности не ограничивается ненулевой разностью потоков. Их динамические характеристики существенно меняются со временем и в пространстве (Степанян, 1982, 1985). Причем в работе 1985 года показано, что эти изменения не определяются наличием и динамикой активных областей. Утверждается, что крупномасштабные фоновые магнитные поля на Солнце являются отражением конвекции третьего яруса с размером конвективных ячеек, сравнимым с радиусом Солнца.

Изучение дисбаланса “+” и “-” полей на Солнце важно еще и потому, что именно эта разность потоков магнитного поля определяет в значительной степени состояние межпланетного магнитного поля и всю солнечно-земную физику.

К настоящему времени проведено много исследований, посвященных изучению дисбаланса магнитных полей на Солнце. В основном они основаны на трех видах наблюдений:

- 1) наблюдения с магнитографами с достаточным разрешением по напряженности магнитного поля каждого знака и по пространству;
- 2) наблюдения с магнитографами общего потока магнитного поля от всего Солнца (т. е. без пространственного разрешения) с хорошим разрешением дисбаланса магнитного поля по напряженности и по времени. Такие измерения обычно называются ОМП;
- 3) наблюдения с фильтром Н-альфа с хорошим пространственным разрешением и разрешением только по знаку магнитного поля.

Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы. Сравнение результатов, полученных несколькими методами, позволяет иногда получить более полную информацию о магнитном поле.

Настоящая работа является продолжением статьи Степанян и Андреевой (2005), выполненной по этому же материалу, но без разбиения на широтные зоны и для магнитных полей с напряженностью 0–100 Гс. В работе 2005 г. исследовалось изменение со временем дисбаланса магнитных полей двух полушарий Солнца.

Целью данной работы является определение характеристик дисбаланса солнечных магнитных полей “+” и “-” полярности отдельно для 5-градусных широтных зон и семи интервалов модуля напряженности от 0 до 1500 Гс. Будет рассмотрено изменение этих характеристик со временем в течение 26 лет.

Предполагается также сравнить прямые измерения общего магнитного поля Солнца как звезды (ОМП) с аналогичным магнитным потоком, полученным из наблюдений с пространственным разрешением.

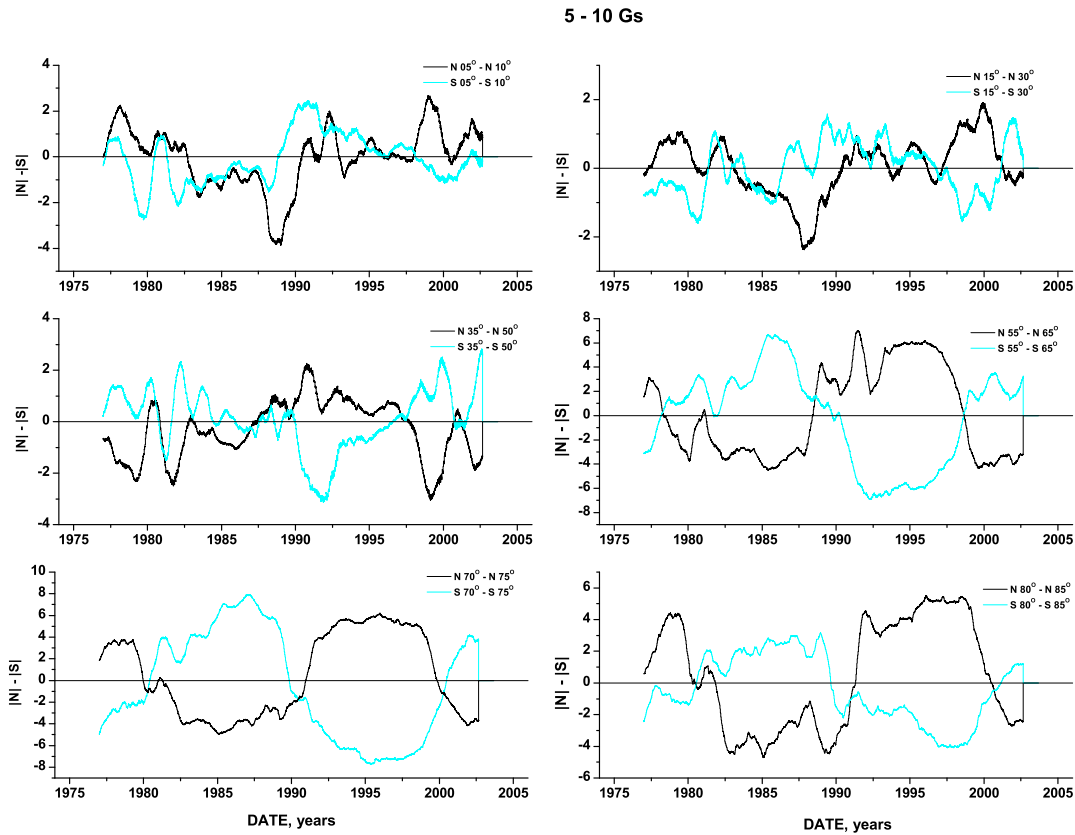


Рис. 1. Изменение дисбаланса ($|N| - |S|$) полей с напряженностью 5–10 Гс, усредненных для нескольких соседних широтных зон, отдельно в северной и южной полусферах Солнца

2 Исходный материал

В работе использованы синоптические карты напряженности продольного вектора магнитного поля Солнца, полученные в обсерватории Китт Пик (США) с 1 января 1977 г. по 30 сентября 2003 г. Этот материал был любезно предоставлен нам доктором Харви.

Из синоптических карт нами были построены временные ряды. Каждый член ряда представляет относительный суммарный магнитный поток на центральном меридиане для магнитных полей каждого из 14 интервалов напряженности $P_{\pm k}$ от 0 до ± 1500 Гс и каждой пятиградусной широтной зоны от -90° до $+90^\circ$. Поток определялся для площадки шириной 1° долготы и длиной 5° широты. Интервал времени между соседними членами ряда 0.0757 суток. Ряды, содержащие положительные члены, назовем N-рядами, а ряды с отрицательными членами – S-рядами. В таблице 1 приведены значения напряженности продольного магнитного поля для каждого интервала B_k .

Для исследования различий между полями “+” и “–” полярности (иначе N- и S-полей, или полей, направленных от Солнца и к Солнцу) анализировались ряды, представляющие собой суммы рядов N и S для одинаковой по модулю напряженности и одних и тех же широтных зон. Запишем их как разность модулей N- и S-рядов, т. е. $(N + S)(B_k, \varphi_n, t) = (|N| - |S|)(B_k, \varphi_n, t)$. Каждый член такого

Таблица 1. Принятые интервалы модуля напряженности

№ интервала, k	Граничные напряженности по модулю, Гс
1	0 – <5
2	5 – <10
3	10 – <20
4	20 – <50
5	50 – <200
6	200 – <700
7	700 – <1500

ряда представляет собой результирующий поток магнитных полей напряженности P_k от площадки φ_n в момент t . Здесь $k = 1, 2 \dots 7$, $n = 0, \pm 5, \pm 10, \pm 15 \dots \pm 90$. Результирующий магнитный поток, по сути, является мерой дисбаланса магнитных полей разного знака, но одной напряженности по модулю. Это оправдывает употребление термина “дисбаланс” для таких рядов в тексте данной статьи.

Суммарным потоком назовем поток $(|N| + |S|)(P_k, \varphi_n, t)$.

Для рядов $(|N| - |S|)(P_k, \varphi_n, t)$ и $(|N| + |S|)(P_k, \varphi_n, t)$ были построены скользящие средние ряды. Осреднялись интервалы в 1 год (4820° по шкале долгот) со сдвигом на 1 градус.

Подчеркнем, что в данной работе определялись только относительные потоки магнитных полей.

3 Цикличность дисбаланса “+” и “-” магнитных полей разной напряженности

Полученные ряды $(|N| - |S|)(B_k, \varphi_n, t)$ позволяют выделить для дальнейшего анализа вопрос об изменении дисбаланса полей разной напряженности с широтой и временем. Особое внимание было обращено на цикличность дисбаланса и представление Солнца в виде диполя. Ниже рассмотрено изменение со временем и широтой этих двух характеристик для полей разной напряженности.

Этот вопрос с большей или меньшей тщательностью рассматривался ранее многими авторами. Использование нами разрешения по широте в 5° и разделения потоков по напряженности на 14 интервалов оправдывает нашу работу и дает надежду на получение новых результатов в этой области.

На рис. 1 в качестве примера представлены изменения со временем относительных потоков $(|N| - |S|)$ для магнитных полей $B_2(5-10 \text{ Гс})$. Для соседних широтных зон, мало отличающихся по изменению $(|N| - |S|)$ со временем, на рис. 1 построены средние кривые.

На рисунке 1 видно, что для некоторых интервалов времени потоки дисбаланса $(|N| - |S|)$ на одноименных широтах в двух полушариях грубо совпадают по модулю и противоположны по знаку. Такое “зеркальное отражение”, или дипольный характер, четко проявляется на многих, но не на всех широтах для магнитных полей разной напряженности и не все время.

Анализ всех рядов $(|N| - |S|)$ привел нас к следующим выводам.

Для магнитных полей с напряженностью 0–10 Гс в первые годы рассматриваемого временного интервала четкое различие в знаке дисбаланса в двух полушариях видно лишь на широтах выше 55° , где поток в одной полушарии является “зеркальным отражением” потока противоположного знака во второй полушарии. Со временем эта “граница четкости” опускается на более низкие широты. И к 1997 году знаки дисбаланса северной и южной полушарий противоположны на всех широтах выше 10° .

Для полей 10–20 Гс четкое различие в знаке дисбаланса начинается с широт 45° и к 2003 году зона “зеркального отражения” потоков занимает все широты. “Граница четкости” для полей 20–50 Гс с 1977 по 1995 гг. опускается с 35° до 0° . Т. е. по полям с напряженностью 0–50 Гс Солнце постепенно становится все более выраженным магнитным диполем.

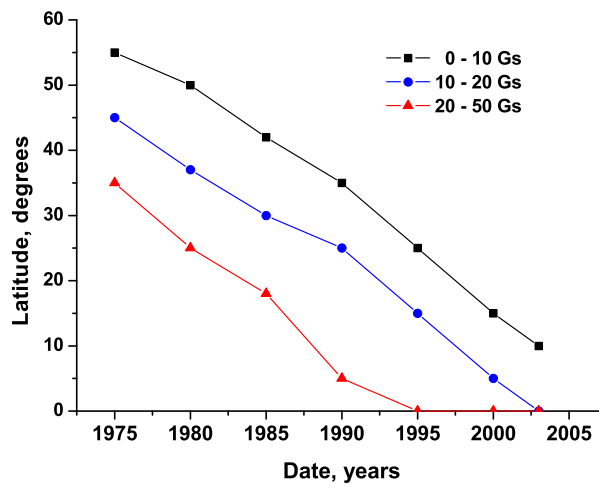


Рис. 2. Границы, выше которых для полей 0–10, 10–20 и 20–50 Гс в обеих полусферах наблюдается “зеркальное отражение” дисбаланса противоположных знаков

На рис. 2 показан этот эффект сдвига со временем граничной широты, выше которой наблюдается “зеркальное отражение” потоков разного знака в противоположных полусферах. В зонах выше граничной широты знак дисбаланса резко меняется в обеих полусферах через интервал времени от 5 лет на низких широтах до 10 лет на высоких широтах.

Таблица 2. Знак дисбаланса на широтах северной полусферы в течение трех циклов

Интервал напряженности, Гс	Интервал широт	N цикла		
		21	22	23
50–200	0–30°	+	-	+
	35–60°	-	+	-
	Выше 60°	Смешанная полярность	Смешанная полярность	Смешанная полярность
200–700	0–20°	+	-	+
	25–35°	Смешанная полярность	Смешанная полярность	Смешанная полярность
700–1500	0–35°	+	-	+

Для магнитных полей от 50 и до 1500 Гс картина изменения знака дисбаланса со временем в обеих полусферах иная (см. рис. 3). На всех широтах видны отдельные распределения дисбаланса для каждого из трех солнечных циклов. В минимуме циклов потоки практически равны нулю.

На низких и средних широтах в течение цикла знак дисбаланса остается постоянным. В северной и южной полусферах знаки противоположны. С наступлением нового цикла знаки дисбаланса каждой полусферы меняются на обратные по отношению к прошлому циклу.

На высоких широтах дисбаланс меняется и в течение цикла как по знаку, так и по общему потоку, по-разному для обеих полусфер.

Более подробно это показано в таблице 2 для северной полусферы. Для южной полусферы подобная таблица выглядит аналогично, но с обратными знаками.

Таблица 3. Отношения $(|N| - |S|)/(|N| + |S|)$ в процентах для магнитных полей разной напряженности в отдельных интервалах широт

Напряженность, Гс	Интервалы широт в обеих полусферах, градусы				
	0–15	20–35	40–50	55–60	65–80
0–5	20	20	20	30	80
5–10	20	20	20	40–80	80–90
10–20	20	20	30–50	80–90	90–100
20–50	20	20	40	80–90	90–100
50–200	20 (выбросы 40–60)	20 (выбросы 40–60)	60–70	–	–
200–700	10 (выбросы 50–60)	50	–	–	–

4 Соотношение дисбаланса и суммарного потока

Наша следующая задача определить соотношение $(|N| - |S|)/(|N| + |S|)$ с разрешением по широте, времени и напряженности магнитного поля. На рис. 4 дан пример суммарного потока $(|N| + |S|)$ для двух широтных зон для интервала напряженности 5–10 Гс.

Как видно из этого рисунка, изменение суммарного потока со временем достигает двух-трех раз и оно различно на разных широтах.

Для всех рассматриваемых нами рядов были найдены отношения $(|N| - |S|)/(|N| + |S|)$.

В таблице 3 приведены средние для отдельных широт значения дисбаланса в процентах от полного потока. Интервалы времени взяты вне периодов изменения знака дисбаланса.

Как видно из таблицы 3, дисбаланс полей с напряженностью 0–200 Гс на широтах 0–30° не превышает 20 % суммарного потока полей данной напряженности. Только на высоких широтах практически все время, за исключением трех периодов по два года во время смены знака полярных полей, дисбаланс увеличивается до 60–90 %.

Таким образом, для широт 0–35° дисбаланс магнитных полей напряженностью (0–200) Гс составляет около 20 % полного потока.

5 Результирующий магнитный поток от всего Солнца

Мы попытались определить из рассматриваемых нами наблюдений относительный вклад магнитных полей разных напряженностей и с разных широт в результирующий магнитный поток от всего Солнца.

До сих пор каждый член временного ряда для полей с напряженностью B представлял собой произведение напряженности B на долю площадки размером 1° по долготе на 5° по широте, занятую этим полем. При этом для всех широт линейное значение 1° по долготе принималось равным его величине на экваторе, как это дается на синоптических картах. Для перехода к единым линейным единицам для всех широтных интервалов все значения элементов временных рядов умножались на $\cos\varphi_k$, где φ_k – средняя широта широтной зоны k , $k = 5, 10, 15, 20, 25 \dots 90^\circ$.

Затем временные ряды $(|N| - |S|)$ для отдельных широтных зон k суммировались последовательно, начиная с зоны $\Delta\varphi = \pm 5^\circ$. Т. е. для полей каждой напряженности B находились суммы

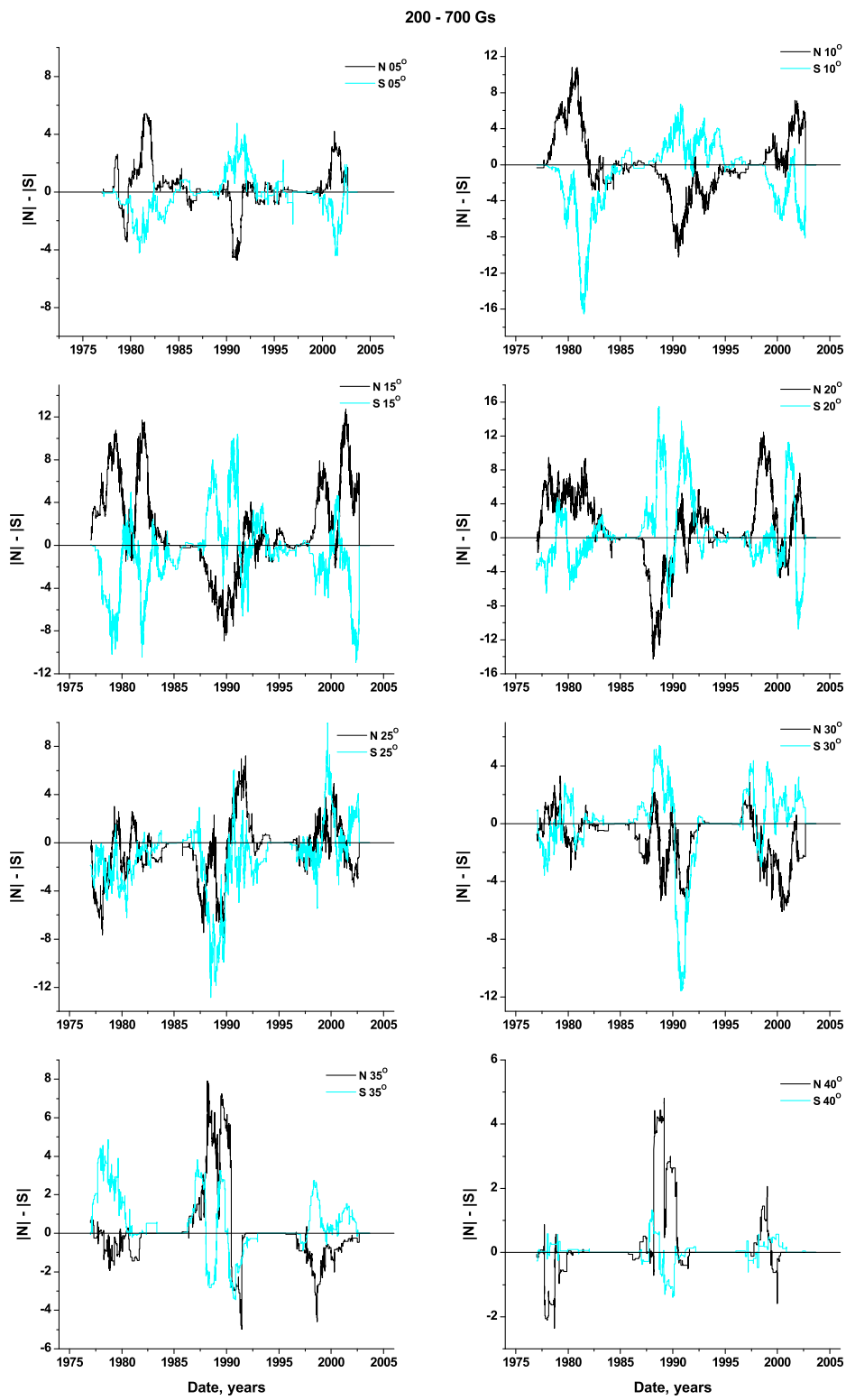


Рис. 3. Изменение ($|N| - |S|$) для полей с напряженностью 200–700 Гс отдельно в северной и южной полушарах

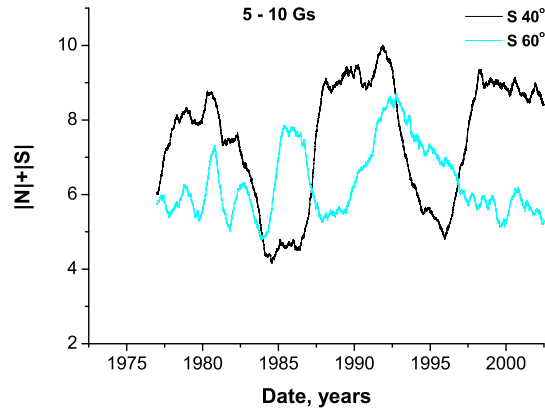


Рис. 4. Суммарный поток магнитных полей ($|N| + |S|$) с напряженностью 5–10 Гс в пятиградусных широтных зонах 40° и 60° южной полусферы Солнца

$$\sum_{\varphi=-k}^{\varphi=+k} (|N| - |S|)_{B\varphi}(T),$$

где $k = 5, 10, 15, 20, 25 \dots 90^\circ$.

В результате получились зависимости результирующих потоков магнитного поля разной напряженности от времени для отдельных широтных зон $\pm\Delta\varphi$, включающих 5-градусные широтные зоны от $-\varphi$ до $+\varphi$.

Затем было проведено суммирование полученных рядов последовательно для разных напряженностей по их возрастанию.

$$\sum_{B=0}^{B=n} \sum_{\varphi=-k}^{\varphi=+k} (|N| - |S|)_{B\varphi}(T),$$

где $k = 5, 10, 15, 20, 25 \dots 90^\circ$, $n = 1 \dots 7$.

Примеры таких зависимостей даны на рисунке 5. На нем показано изменение со временем суммарного магнитного потока от широтной зоны $\Delta\varphi = \pm 25^\circ$ для полей 5–10 Гс (пунктирная кривая) и 50–200 Гс (сплошная кривая). На рис. 6 дана аналогичная кривая для $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$ и дисбаланса магнитных полей с напряженностью от 0 до 1500 Гс.

Чтобы судить о вкладе дисбаланса полей разной напряженности в потоки от отдельных широтных зон за весь рассматриваемый интервал времени, мы осреднили каждый полученный ряд за 26 лет. Изменение полученных средних потоков с ростом широтной зоны $\pm\Delta\varphi$ представлено на рис. 7. Из графиков рис. 7 можно сделать следующие выводы о средних за 26 лет потоках дисбаланса полей разной напряженности от отдельных широтных зон:

- из рассмотренных нами интервалов напряженности поток дисбаланса полей 50–200 Гс остается максимальным для всех широтных зон, начиная с $\Delta\varphi = \pm 15^\circ$;
- максимальные потоки дисбаланса полей всех интервалов напряженности, начиная с 10–20 Гс, наблюдается в зонах широт $\pm(20-25^\circ)$;

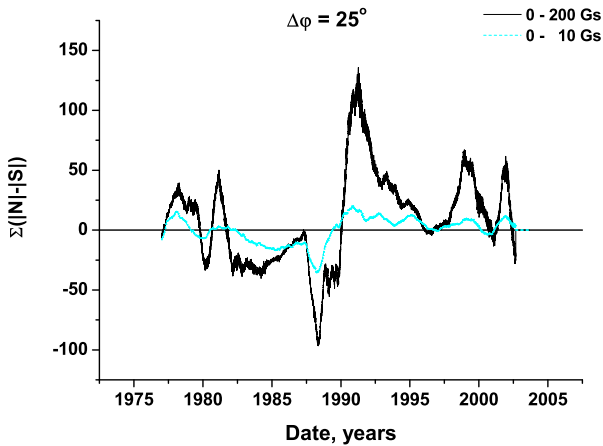


Рис. 5. Изменение суммарного потока дисбаланса потоков магнитных полей напряженности 0–5 Гс и 50–200 Гс от широтной зоны $\Delta\varphi = \pm 25^\circ$

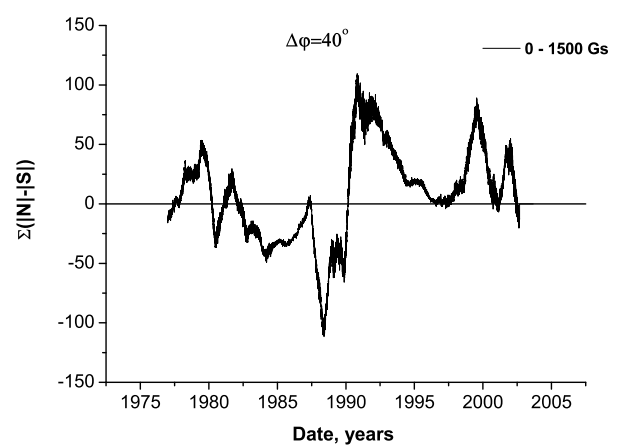


Рис. 6. То же, что и на рис. 5, для суммы полей всех напряженностей 0–1500 Гс и широтного интервала $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$

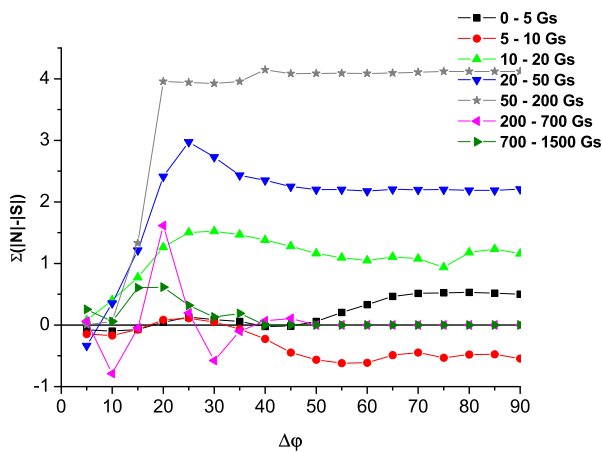


Рис. 7. Зависимости среднего за 26 лет дисбаланса потоков магнитных полей отдельных интервалов напряженностей от величины широтной зоны $\pm\Delta\varphi$

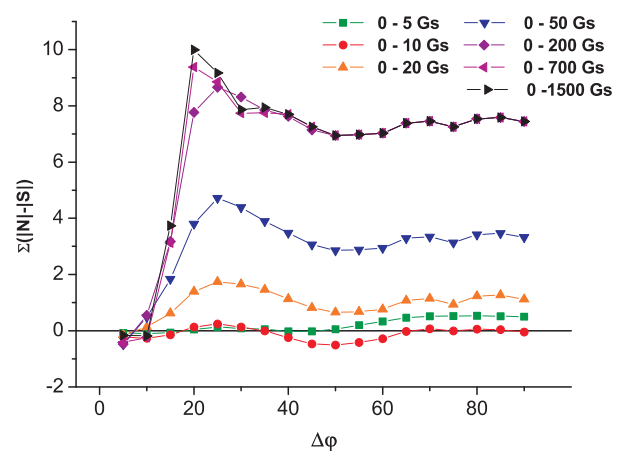


Рис. 8. Средний за 26 лет поток дисбаланса магнитных полей интервалов напряженностей от нуля до цифр, указанных на графике, в зависимости от широтной зоны $\pm\Delta\varphi$

– отрицательные значения потоков, т. е. S-полярности, наблюдаются только в нескольких центральных широтных зонах для полей 0–5 Гс и 200–700 Гс и почти во всех зонах широт для полей 5–10 Гс.

Следующий шаг – суммирование средних потоков дисбаланса всех напряженностей в каждой широтной зоне.

Зависимость таких суммарных потоков от величины широтной зоны $\pm\Delta\varphi$ показана на рис. 8.

Анализ графиков, представленных на рис. 8, приводит к следующим выводам о среднем за 26 лет потоке дисбаланса от каждой широтной зоны $\Delta\varphi$.

– для широтной зоны $\pm 20^\circ$ магнитные поля с напряженностью 200–700 Гс дают вклад в общий поток 13%, а вклад полей 700–1500 Гс составляет 7%;

- начиная с широтной зоны $\pm 25^\circ$, суммарный магнитный поток определяется полями с напряженностью 0–200 Гс;
- магнитные поля всех напряженностей в широтных зонах выше $\pm 40^\circ$ не дают заметного вклада в результирующий магнитный поток от Солнца;
- только для напряженностей 0–10 Гс суммарный поток от широтных зон от $\pm 40^\circ$ до $\pm 60^\circ$ отрицателен. Во всех остальных случаях поток положителен.

Таким образом, кривую для широтной зоны $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$, приведенную на рис. 6, можно считать изменением дисбаланса магнитного поля Солнца в течение 26 лет, как оно определяется из наблюдений Солнца с разрешением по широте и по напряженности магнитного поля.

6 Сравнение измерений ОМП Солнца как звезды с расчетами из рассматриваемых нами наблюдений

Повторим, что ОМП – это напряженность продольного магнитного поля Солнца, наблюдаемого как звезда, т. е. без разрешения по диску. Сравнение ОМП с фоновыми магнитными полями, определенными по H-альфа наблюдениям для четырех месяцев 1974 г. (Котов и др., 1977), показало, что ОМП определяется центральной зоной Солнца ($\pm 40^\circ$ по широте и долготе). Относительно вклада полей разной напряженности в этой работе было показано, что магнитные поля солнечных пятен дают незначительный вклад в ОМП.

Изменение ОМП со временем за длительный период времени (1968–2000 гг.) приведено в работе Котова и др. (2002). Среднее значение потока равно -1.9 ± 1.1 мкТл. В течение времени поток меняется в пределах 15 мкТл. Сами авторы не были уверены в солнечном происхождении такого дисбаланса. Для времени 1977–1990 гг. кривая изменения ОМП из этой работы качественно совпадает с полученной нами кривой, представленной на рис. 6. Для более поздних лет наблюдается различие двух кривых.

В статье Котова (2008) приводится изменение модуля ОМП со временем для периода 1967–2005 гг. Сравнение с аналогично построенным графиком по нашим данным показал хорошее совпадение обоих графиков за исключением периода около 1990 года.

В работе Котова (2009) приведены изменения ОМП с 1968 по 2007 гг. Эти данные были любезно предоставлены нам автором до выхода его статьи из печати. График построен с осреднением в 1 год. Сравнение наблюдений ОМП (Котов, 2009а) и наших данных о потоке дисбаланса магнитных полей напряженностей 0–1500 Гс для широтной зоны $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$ приведено на рис. 9.

С целью численного сравнения наших данных с данными ОМП были найдены коэффициенты корреляции кривой из работы Котова (2009) и наших кривых изменения потока дисбаланса полей всех напряженностей (0–1500 Гс) в отдельных широтных зонах $\Delta\varphi$ от $\pm 5^\circ$ до $\pm 60^\circ$. Коэффициент корреляции $R_{\text{corr}} \geq 0.5$ наблюдается для зон $\Delta\varphi \geq 25^\circ$. Максимальный коэффициент корреляции равен 0.6 для зоны $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$.

Этот результат свидетельствует о солнечной природе ОМП.

7 Заключение

Нами получены некоторые количественные характеристики дисбаланса положительных и отрицательных солнечных магнитных полей напряженности от 0 Гс до ± 1500 Гс с пространственным разрешением 1° по долготе, 5° по широте и их изменение со временем в течение 26 лет.

Определены особенности цикличности дисбаланса магнитных полей, отклонения от дипольной структуры магнитного поля Солнца; определен вклад широтных зон и полей разной напряженности в общий магнитный поток от Солнца. Последняя характеристика сравнена со значениями ОМП, полученными из наблюдений Солнца как звезды (Котов и др., 2002; Котов, 2008).

Перечислим более подробно полученные результаты.

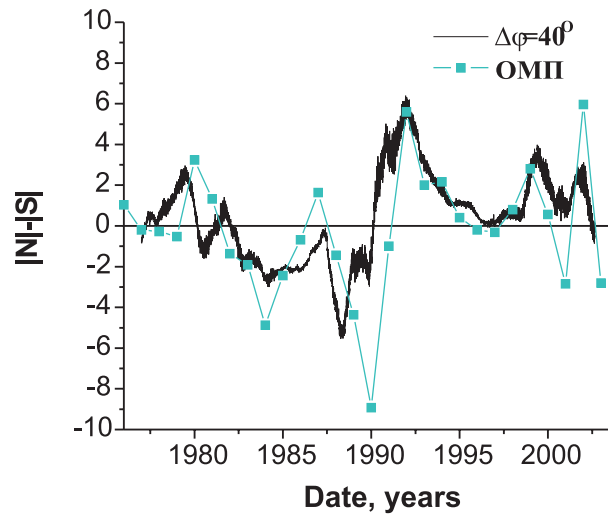


Рис. 9. Изменение со временем ОМИ и потока солнечных магнитных полей напряженностью 0–1500 Гс от центральной зоны Солнца $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$

1. Дисбаланс магнитных полей с напряженностью 0–200 Гс на широтах $0-35^\circ$ не превышает 20 % суммарного потока полей данной напряженности. На высоких широтах практически все время, за исключением трех периодов по два года во время смены знака полярных полей, дисбаланс увеличивается до 60–90 %.
2. Для дисбаланса полей напряженности 0–20 Гс связь с 11-летним солнечным циклом отсутствует. Изменение дисбаланса полей 50–1500 Гс следует 11-летним циклам. Поля с напряженностью 20–50 Гс являются промежуточными между полями, показывающими и не показывающими 11-летний цикл.
3. Количество одноименных широтных зон в двух полушариях, для которых модули дисбалансов потоков разного знака сопоставимы, может характеризовать близость магнитной структуры Солнца к диполю. Выше мы условно назвали эту характеристику “зеркальным отражением” дисбалансов. Для полей 0–20 Гс в начале рассматриваемого периода эта характеристика хорошо выражена на широтах выше $35-55^\circ$. Со временем дипольная структура определяется все большими областями Солнца, вплоть до экватора. Для полей 50–700 Гс “зеркальное отражение” хорошо выражено на низких и средних широтах.
4. Найдены следующие особенности дисбаланса магнитных полей разной напряженности от центральных зон Солнца, ограниченных широтами от $\pm 5^\circ$ до $\pm 60^\circ$:
 - поток дисбаланса полей 50–200 Гс остается максимальным для всех широтных зон, начиная с $\Delta\varphi = \pm 15^\circ$;
 - для широтной зоны $\pm 20^\circ$ магнитные поля с напряженностью 200–700 Гс дают вклад в общий поток 13 %, а вклад полей 700–1500 Гс составляет 7 %;
 - начиная с широтной зоны $\pm 25^\circ$, суммарный магнитный поток дисбаланса определяется полями с напряженностью 0–200 Гс;
 - магнитные поля всех напряженностей в широтных зонах выше $\pm 40^\circ$ не дают заметного вклада в результирующий магнитный поток от Солнца.

Таким образом, кривую для широтной зоны $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$, приведенную на рис. 6, можно считать изменением дисбаланса магнитного поля Солнца за 26 лет, как оно определяется из наблюдений магнитного поля Солнца с разрешением по широте и по напряженности.

5. Сравнение наших данных с данными ОМП из наблюдений Солнца как звезды Котова (2008) показало, что максимальный коэффициент корреляции $R_{\text{corr}} = 0.6$ наблюдается для зоны $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$. $R_{\text{corr}} \geq 0.5$ наблюдается для зон $\Delta\varphi \geq (\pm 30^\circ)$.

Количественные характеристики дисбаланса солнечных магнитных полей, полученные нами с разрешением по напряженности, широте и времени, свидетельствуют о том, что дисбаланс – одна из физических характеристик Солнца.

В работе Котова и Левицкого (1985) говорилось, что дисбаланс характерен для ОМП и межпланетного поля. Наши результаты свидетельствуют, что дисбаланс магнитных полей всего Солнца полностью определяет ОМП и, следовательно, в значительной степени межпланетное магнитное поле и всю солнечно-земную физику.

Подтверждением такого вывода являются:

- *Строгие закономерности изменения дипольной структуры Солнца.*

Наши результаты свидетельствуют об изменении со временем степени приближения Солнца к состоянию магнитного диполя. Этот процесс имеет свои закономерности для полей разной напряженности.

- *Сложный характер цикличности – множественность циклов.*

Для Солнца как целого известна целая иерархия циклов разной длительности. Нами показано, что различная цикличность характерна не только для всего Солнца, но и для отдельных его структур (полей разной напряженности) и отдельных широт.

- *Солнечная природа изменения ОМП.*

Качественное совпадение кривых изменения за 26 лет ОМП и дисбаланса магнитных полей, определенных из наблюдений Солнца с разрешением по диску, а также достаточно высокий коэффициент корреляции этих кривых уверенно свидетельствуют о солнечной природе ОМП. Достоверность этого результата повышается его совпадением с полученным ранее выводом в работе Котова и Степанян (1977). Из сравнения ОМП с фоновыми магнитными полями, полученными по H-альфа наблюдениям, было найдено, что ОМП определяется центральной зоной Солнца $\pm 40^\circ$, и что магнитные поля солнечных пятен, как правило, не дают заметного вклада в ОМП. Максимальное различие кривых на рис. 9 относится к 1990 году – времени максимально высокого уровня солнечной активности за весь 26-летний период. В этом случае магнитные поля солнечных пятен дали заметный вклад в ОМП. В рассматриваемые нами данные они не входили.

- *Различие двух классов магнитных полей по характеристикам дисбаланса.*

В предыдущих работах, выполненных по тому же материалу (Степанян, Андреева, 2005; Андреева и др., 2007), было показано, что фоновые магнитные поля делятся на два класса по своим характеристикам. К этим характеристикам относились: напряженность (0–20 Гс и 50–700 Гс), характер цикличности (наличие или отсутствие 11-летнего цикла), различия в дифференциальном вращении. В данной работе получено различие характеристик дисбаланса для этих двух классов фоновых полей. Характеристики цикличности дополнены сведениями об изменении циклов с широтой и временем. Для этих двух классов получено разное изменение со временем степени приближения Солнца к состоянию магнитного диполя.

Использованные в настоящей работе данные NSO/Kitt Peak получены при кооперации NSF/NOAO, NASA/GSFC и NOAA/SEL.

Литература

- Андреева О.А., Зелык Я.И., Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 104. №. 1. С. 5.
- Бабкок (Babcock H.D., Babcock H.W.) // Astrophys. J. 1955. V. 121. P. 349.
- Котов В.А., Левицкий Л.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 71. С. 32.
- Котов В.А., Степанян Н.Н., Щербакова З.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1977. Т. 56. С. 75.

- Котов В.А., Ханейчук В.И., Цап Т.Т. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2002. Т. 18. №. 3. С. 205.
- Котов В.А. // Астрон. журн. 2008. Т. 85. №. 5. (в печати).
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2009а. Т. 105. (в печати).
- Северный (Severny A.) // Space Sci. Rev. 1964. V. 3. P. 451.
- Северный (Severny A.) // XII General Assembly IAU. Hamburg. Aug. 26. 1964a.
- Северный А.Б. // Астрон. журн. 1965. Т. 42. №. 2. С. 217.
- Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1966. Т. 35. С. 97.
- Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1968. Т. 38. С. 3.
- Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1982. Т. 65. С. 43.
- Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 71. С. 62.
- Степанян Н.Н. Андреева О.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2005. Т. 101. С. 120.