

УДК 523.942

## Характеристики солнечных магнитных полей разных напряженностей за последние три цикла солнечной активности

*Н.Н. Степанян, О.А. Андреева*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”

Поступила в редакцию 1 марта 2005 г.

### Аннотация.

Изучались особенности эволюции фоновых магнитных полей Солнца разных интервалов напряженности в пределах  $\pm 100$  Гс. На Солнце в пределах  $\pm 100$  Гс выделены две группы магнитных полей, отличающиеся по длине цикла и соотношению магнитных потоков N– и S– полярностей в северном и южном полушарии. Магнитные поля группы I наиболее четко проявляются при  $\pm(3 \div 10)$  Гс. Магнитные поля группы II начинаются с напряженности около  $\pm(15 \div 20)$  Гс и наиболее четко видны при напряженности  $\pm(75 \div 100)$  Гс. В интервале  $\pm(20 \div 100)$  Гс присутствуют поля обеих групп. Разбаланс суммарных магнитных потоков в пределах  $\pm 100$  Гс составляет 0.36% суммы потоков N– и S– полярностей. Исследование базировалось на измерениях магнитных полей магнитографом продольного поля обсерватории Китт Пик за последние три солнечных цикла.

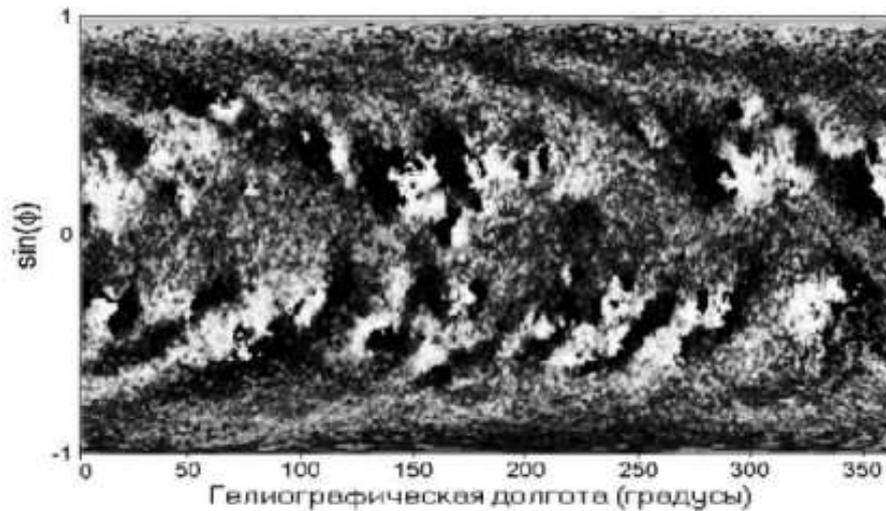
CHARACTERISTICS OF SOLAR MAGNETIC FIELDS OF THE DIFFERENT STRENGTH DURING LAST THREE CYCLES OF SOLAR ACTIVITY, by *N.N. Stepanian and O.A. Andryeyeva*. The features of evolutions of background magnetic fields of the Sun of different intervals of the strength within  $\pm 100$  Gs were studied. Two groups of magnetic fields differing on the length of cycle and correlation of magnetic flows N– and S– polarities in northern and southern hemisphere are allocated on the Sun. The magnetic fields of the first group are the most precisely shown at within  $\pm(3 \div 10)$  Gs. The magnetic fields of the second group appears when the strength becomes more then about  $\pm(15 \div 20)$  Gs and are the most clearly seen when the strength is equal to about  $\pm(75 \div 100)$  Gs. The both groups of fields are present in the interval  $\pm(20 \div 100)$  Gs. The imbalance of total magnetic fluxes within strength  $\pm 100$  Gs during three cycles is equal to  $\pm 0.36\%$  of the sum of N– and S– polarities fluxes. The research was based on observations carried out with the magnetograph for the longitudinal magnetic fields at the Kitt Peak Observatory during last three solar cycles.

**Ключевые слова:** Солнце, магнитное поле

---

## 1 Введение

Закономерности изменения солнечной активности в течение 22-летнего магнитного цикла и на более длинных временных интервалах изучены многими авторами и изложены в большом числе монографий. Сошлемся на книгу Витинского (1983). Большинство работ опирается на данные по относительным числам солнечных пятен. В последнее время исследования цикличности проводились по



**Рис. 1.** Синоптическая карта распределения относительного солнечного магнитного потока для кэррингтоновского оборота N 1678

$H_{\alpha}$  – наблюдениям и измерениям магнитных полей. Из этих работ стало ясно, что на Солнце магнитные поля разных напряженностей и пространственных масштабов существуют одновременно и по-разному развиваются с течением времени.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей эволюции магнитных полей разного знака и разных интервалов напряженности в пределах  $\pm 100$  Гс. Она основана на измерениях магнитных полей магнитографом продольного поля обсерватории Китт Пик за последние три солнечных цикла. Этот материал был любезно предоставлен нам доктором Харви.

## 2 Материал наблюдений

Наблюдения магнитного потока представлены в виде синоптических карт начиная с кэррингтоновского оборота N 1650 и кончая оборотом N 2006. Эти карты перекрывают временной интервал с января 1976 г. до конца сентября 2003г., т.е. охватывают полностью 21-й и 22-й солнечные циклы и почти полностью 23-й цикл. На картах по оси X отложена гелиографическая долгота от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ , а по оси Y отложен  $\sin\varphi$  от  $-1$  на южном полюсе Солнца до  $+1$  на северном, где  $\varphi$  – гелиографическая широта. Каждая карта представляет собой двумерный массив из 360 столбцов и 180 строк т.е. содержит 64800 элементов. На рис. 1 приведен пример такой карты.

## 3 Разделение материала по напряженности магнитных полей

Изучение синоптических карт проводилось отдельно для нескольких интервалов значений напряженности магнитного поля. Для дальнейшей раздельной обработки всего материала были выделены следующие интервалы напряженности магнитного поля:  $-0.5 \div +0.5$ ;  $0.5 \div 3$ ;  $3 \div 10$ ;  $10 \div 15$ ;  $15 \div 20$ ;  $20 \div 30$ ;  $30 \div 50$ ;  $50 \div 75$ ;  $75 \div 100$  Гс. Аналогично для S-полей:  $-0.5 \div -3$ ;  $-3 \div -10$ ;  $-10 \div -15$  и т.д.

В каждой широтной зоне карты (в строке массива) были просуммированы магнитные потоки отдельно для каждого из 17 выше названных интервалов напряженности. Поскольку элементы массива, относящиеся к разным широтам на карте, соответствуют неодинаковым площадям на поверхности Солнца, полученные магнитные потоки выражены в относительных единицах. В дальнейшем будем называть их относительными магнитными потоками.

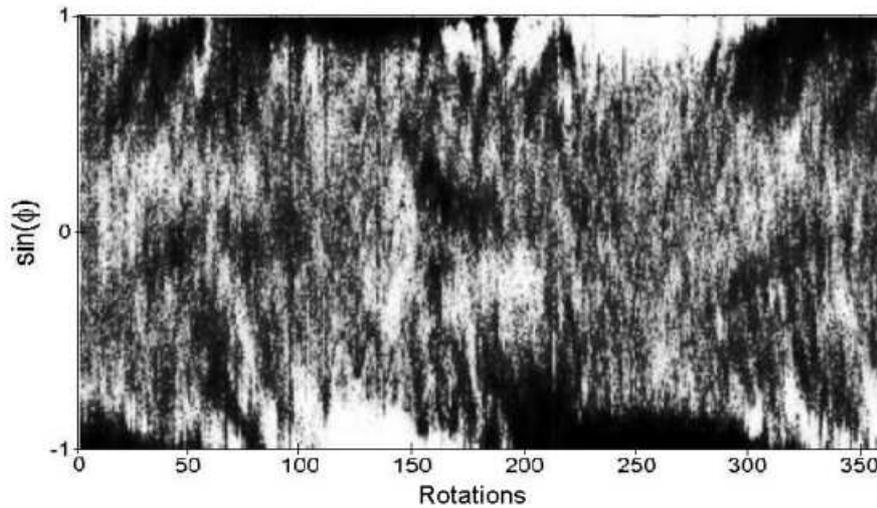


Рис. 2. Широтно-временная диаграмма для интервала напряженности S-полярности  $(-3 \div -10)$  Гс

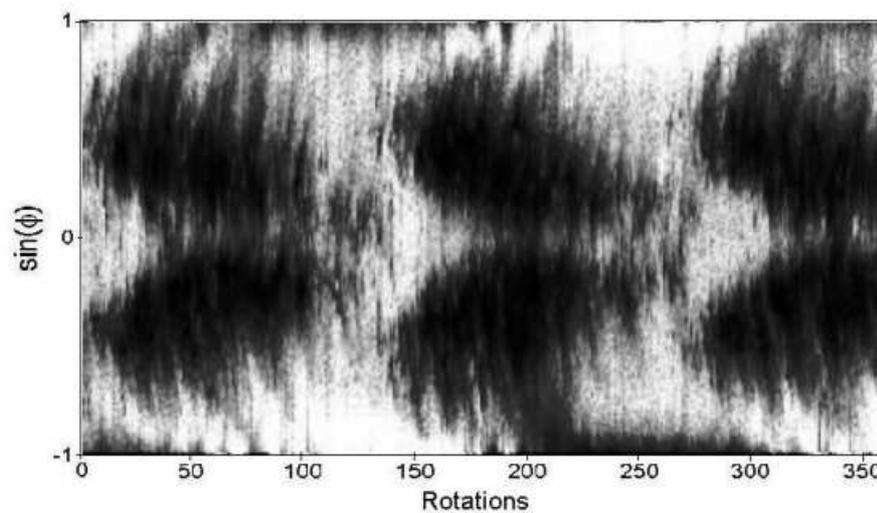
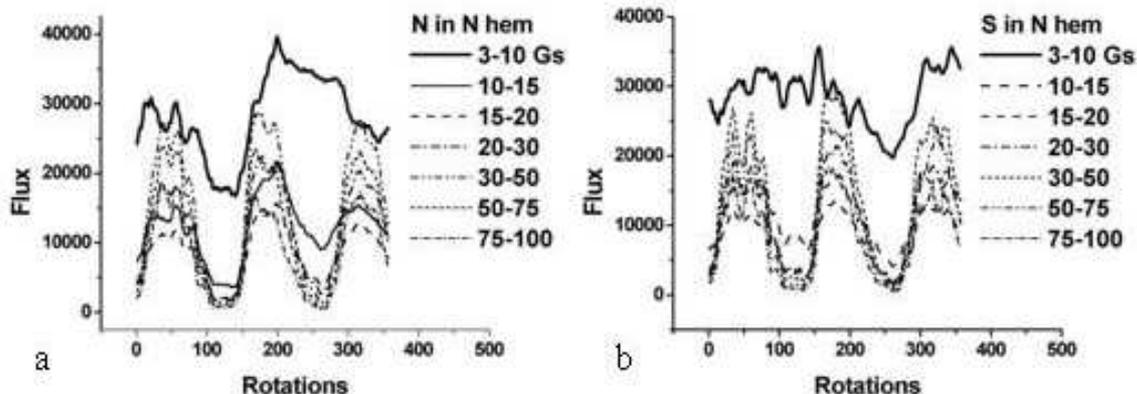


Рис. 3. Широтно-временная диаграмма для интервала напряженности S-полярности  $\leq -100$  Гс

#### 4 Широтно-временные диаграммы относительных потоков

По всему материалу было построено 17 широтно-временных диаграмм относительных потоков для всех интервалов напряженности. Два примера таких диаграмм даны на рисунках 2 и 3. По оси абсцисс на диаграммах отложено время в кэррингтоновских оборотах, а по оси ординат  $\sin\varphi$ . Относительный магнитный поток для каждого кэррингтоновского оборота и широтной зоны в выбранном интервале напряженности представлен на диаграмме в черно-белой палитре. Белый цвет соответствует минимальным потокам, а черный - максимальным. Диаграмма, полученная для сильных магнитных полей (рис. 3), мало отличается от диаграммы Маундера для относительных чисел солнечных пятен. Мы видим на ней характерные черты 11-летнего цикла: появление магнитных потоков на высоких широтах в начале цикла, постепенное смещение зоны больших потоков к экватору к концу цикла. Для слабых магнитных полей (рис. 2) вид диаграмм совершенно иной. 11-летний



**Рис. 4.** Изменение суммарных магнитных потоков N- и S- полей в N- полусфере. По оси абсцисс оборот №1 соответствует кэррингтоновскому обороту N 1650

цикл на ней не просматривается. Переполюсовки полярных магнитных полей выражены значительно резче, чем на диаграмме для сильных полей. Такое различие пространственно-временных диаграмм свидетельствует о том, что даже на шкале напряженностей в 100 Гс существуют значимые различия в характеристиках солнечных магнитных полей. Для повышения точности получаемых результатов будем в дальнейшем рассматривать суммарные магнитные потоки N- и S- полярностей, в избранных нами интервалах напряженностей в целом для каждой полусферы. Другими словами, мы просуммировали для каждой карты и каждого интервала напряженности относительные потоки по всем широтам отдельно для северной и южной полусфер. Ниже будут рассмотрены изменения со временем суммарных магнитных потоков N- и S- полярностей в северной и южной полусферах Солнца для разных интервалов напряженностей. Основное внимание будет обращено на проявление цикличности в разных видах суммарных магнитных потоков, на корреляцию изменений суммарных потоков в двух полусферах и на разбаланс потоков N- и S- полярностей на всем Солнце.

## 5 Корреляция суммарных магнитных потоков разного знака

На рис. 4, в качестве примера, представлены изменения со временем суммарных магнитных потоков N- и S- полярностей в северной полусфере Солнца. Первое, что бросается в глаза, это отсутствие в одной полусфере корреляции между потоками N- и S- полярностей для интервалов малой напряженности и высокая корреляция для интервалов с большими полями. Рассмотрим подробнее суммарные магнитные потоки N- и S- полярностей обеих полусфер для первых четырех интервалов напряженностей. Они представлены на рис. 5.

Из рисунка 5 видно, что слабые N- поля в северной полусфере коррелируют с S- полями в южной, и наоборот, слабые S-поля в северной полусфере коррелируют с N- полями в южной. Для сильных полей корреляция высока для всех вариантов знака поля и полусферы.

Для более четкого вывода нами были подсчитаны коэффициенты линейной корреляции разных комбинаций полей в разных полусферах. На рис. 6 представлено изменение коэффициентов корреляции R между суммарными потоками N- и S- поля в северной и южной полусферах для рассмотренных значений интервалов напряженностей.

Из рис. 6 можно сделать вывод, что элементы одного знака со слабыми магнитными полями ( $< |20|$  Гс) в одной полусфере связаны с элементами противоположного знака в другой полусфере. Элементы с большими напряженностями магнитных полей ( $> |20|$  Гс) теснее связаны с элементами в той же полусфере, напряженности которых имеют противоположный знак.

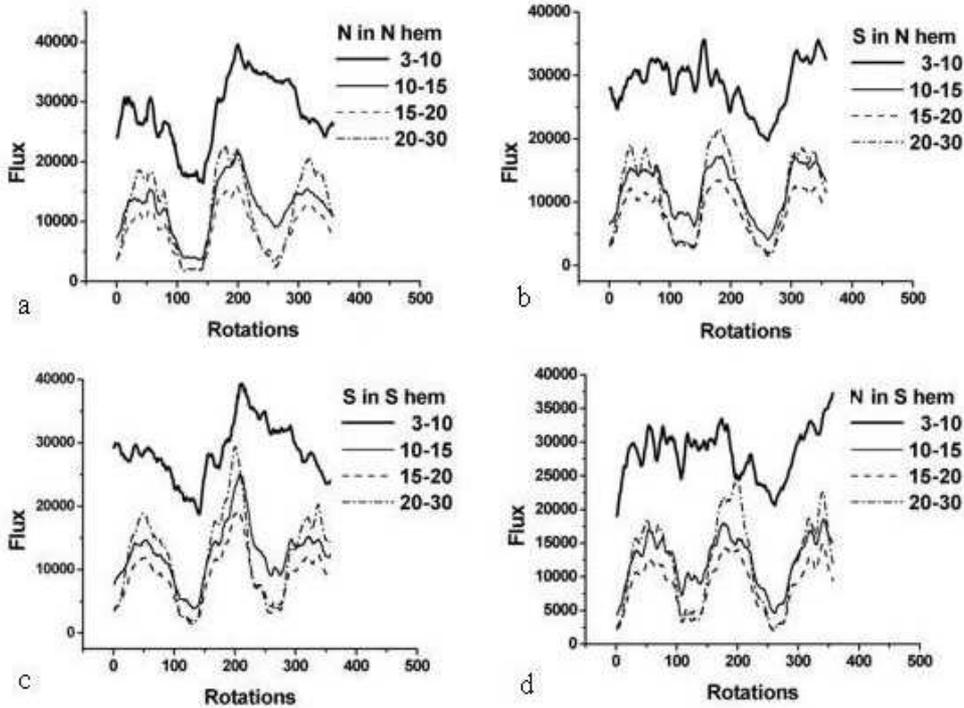


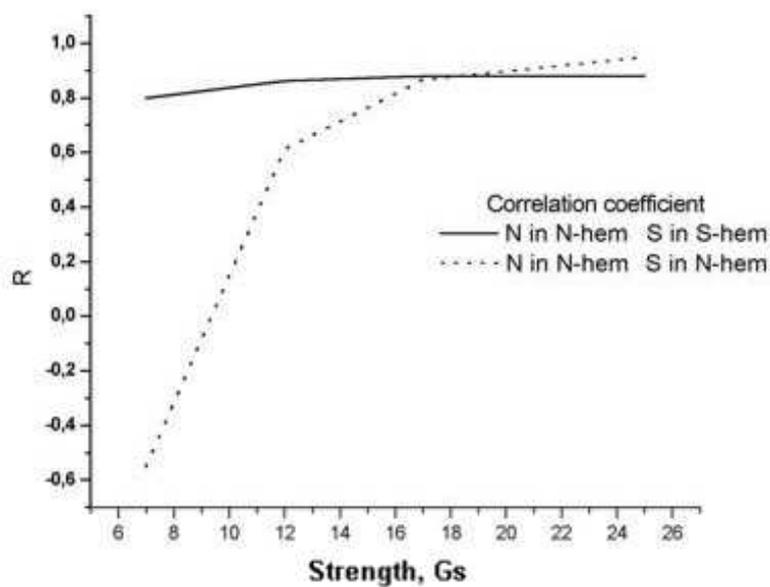
Рис. 5. Изменение суммарных магнитных потоков N- и S-полярностей в обеих полушарах для четырех интервалов напряженности от 3 до 30 Гс

## 6 Цикличность суммарных магнитных потоков разной напряженности

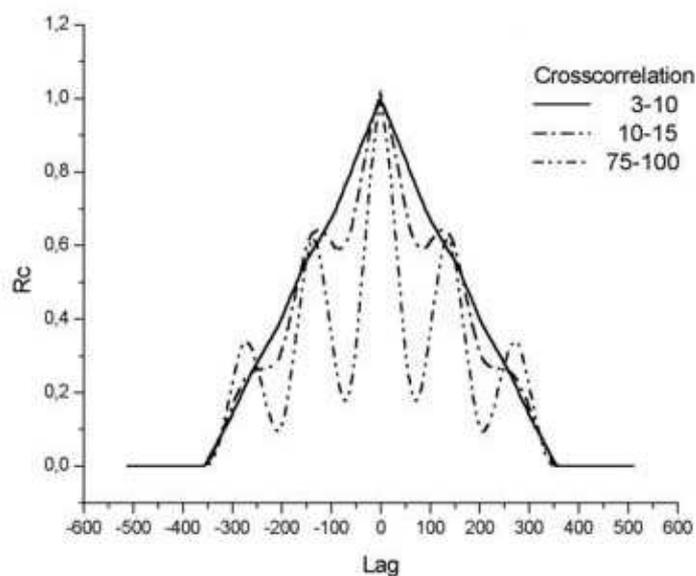
Вернемся к рис. 4 и рис. 5. Отметим, что минимум солнечной активности в конце 21 цикла приходится на 120 – 130 обороты, а минимум в конце 22 цикла приходится на 260 – 270 обороты на рис. 4 и рис. 5.

Минимум конца 21 цикла четко просматривается на кривых рис. 5а и 5с для всех интервалов значений напряженности N- потоков в северной полушере и S- потоков в южной полушере. Минимум после 22 цикла для интервала  $3 \div 10$  Гс на этих рисунках отсутствует. С ростом напряженности этот минимум проявляется все сильнее и для интервала  $20 \div 30$  Гс сравнивается с минимумом конца 21 цикла.

Для S- полей в северной полушере картина иная (см. рис. 5b и 5d). Для S- полей в северной полушере для интервала напряженности  $3 \div 10$  Гс четко виден минимум после 22 цикла и отсутствует минимум после 21 цикла. С ростом напряженности этот минимум проявляется все сильнее и для интервала  $20 \div 30$  Гс сравнивается с минимумом конца 22 цикла. Переход от отсутствия 11-летней цикличности к ее наличию хорошо виден и по результатам кросскорреляционного анализа, проведенного для наших временных рядов изменения суммарных потоков в обеих полушарах для 17 интервалов напряженности. На рис. 7 представлены кросскорреляционные кривые для N- полей в интервалах  $3 \div 10$ ,  $10 \div 15$  и  $75 \div 100$  Гс. Сдвиги lag по оси X даны в кэррингтоновских оборотах. На кривых рис. 7 видно, что магнитные потоки  $3 \div 10$  Гс не показывают долгопериодических изменений, потоки  $10 \div 15$  Гс имеют вторичные максимумы  $-126$  и  $+126$  кэррингтоновских оборотов (9.4 года). Максимумы около 300 оборотов слабо выражены. Для потоков  $75 \div 100$  Гс четко видно по 2 вторичных максимума на сдвигах 129 и 276 оборотов от основного максимума, что соответствует 9.6 и 20.6 годам.



**Рис. 6.** Коэффициент корреляции между N- и S- полями в одной и разных полусферах в зависимости от величины напряженности



**Рис. 7.** Кросскорреляционные кривые суммарных потоков для N- полей в интервалах 3 ÷ 10, 10 ÷ 15 и 75 ÷ 100 Гс

Из всего этого можно сделать вывод, что переход от отсутствия 11-летнего цикла к его существованию происходит при напряженности около 15 ÷ 20 Гс.

## 7 Разбаланс суммарных магнитных потоков разной напряженности

Обратимся теперь к количественным различиям суммарных магнитных потоков N- и S-полярности для рассматриваемых нами интервалов напряженности. Для всего материала суммарные магнитные потоки N- и S- полярностей для отдельных интервалов напряженности представлены в Таблице 1. Разбаланс суммарных магнитных потоков в пределах  $\pm 700$  Гс за 3 цикла составляет

**Таблица 1.** Суммарные магнитные потоки в разных интервалах напряженности магнитного поля

Интервал напряженности (Гс)	N-поле	S-поле	Сумма Потоков	Разность потоков	Разбаланс потоков
фон	284448.4	192984.8	568896.8	91463.6	0.16
0.5 ÷ 3	6.37444E6	6.26086E6	1.26353E7	113580	0.0089
3 ÷ 10	2.02332E7	2.0438E7	4.06712E7	-204814	-0.0050
10 ÷ 100	5.00636E7	4.94877E7	9.95518E7	575914	0.0057
100 ÷ 700	2.63481E7	2.62026E7	5.25507E7	145500	0.0027
Сумма	1.03303E8	1.02581E8	2.05978E8	711643	0.0034

0.34% суммы потоков N- и S-полярностей. В пределах напряженностей  $\pm 100$  Гс разбаланс чуть больше (0.36%). Изменение со временем разности  $F(N) - F(S)$  суммарных магнитных потоков для интервала напряженности 0.5 ÷ 10 Гс и с большей напряженностью различаются. На рис. 8 видно, что  $F(N) - F(S)$  для интервалов 0.5 ÷ 3 и 3 ÷ 10 Гс не показывает 11-летних циклов. В минимуме 21 цикла (обороты 100 – 150) разности минимальны, затем резко возрастают и постепенно убывают к минимуму 23 цикла. Для напряженностей (10 ÷ 15) Гс и выше не наблюдается резких изменений  $F(N) - F(S)$  со временем. Этот результат виден на рис. 9, где приведены средние значения убывания разбаланса потоков со временем для магнитных полей с напряженностью (0.5 ÷ 10) Гс и для (15 ÷ 100) Гс.

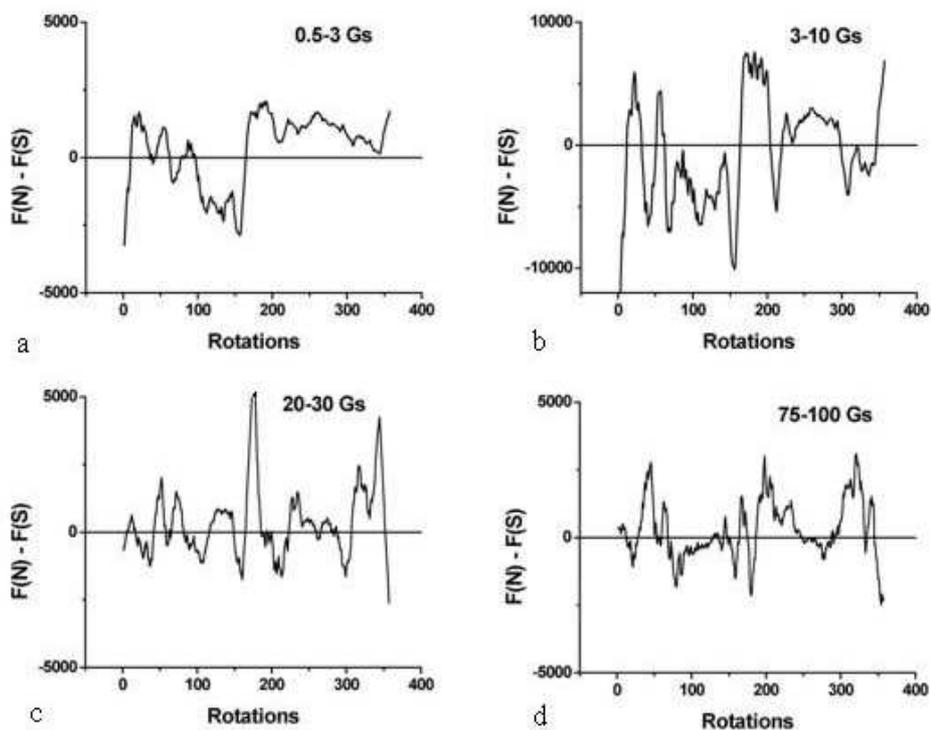
## 8 Два типа магнитных полей

Проведенный анализ показывает, что в пределах напряженностей 0 ÷  $\pm 100$  Гс имеются 2 типа магнитных полей с разными характеристиками. Первая группа – это поля с напряженностью от 0 и, по крайней мере, до  $\pm 100$  Гс. Наиболее четко характеристики этих полей видны в области напряженностей 3 ÷ 10 Гс. Характерным для магнитных полей первой группы является высокая корреляция между полями разного знака в противоположных полушариях, отсутствие 11-летнего цикла как по суммарным магнитным потокам разного знака, так и по разбалансу магнитного поля всего Солнца. По этим же данным можно заподозрить наличие 22-летнего цикла у магнитных полей I группы.

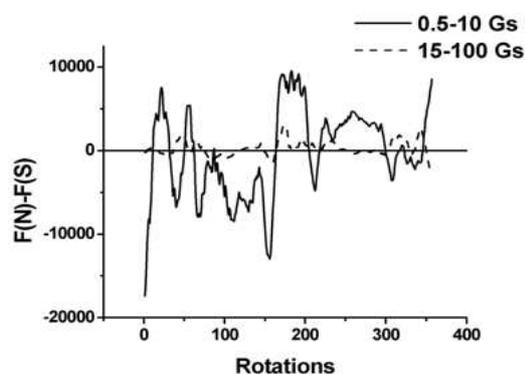
Вторая группа – поля с напряженностью от  $\pm 15$  Гс и выше. Для магнитных полей группы II корреляция выше для полей разного знака в одной полушарии. С ростом напряженности растет и корреляция между одноименными полями в разных полушариях. Магнитные поля II группы имеют четко выраженные циклы около 10 лет для суммарных потоков. В тоже время разбаланс магнитных потоков от всего Солнца для этой группы полей не имеет выраженных циклов.

По напряженностям две группы полей перекрываются. Область их перекрытия начинается от  $\pm 15$  Гс.

Напомним, что мы говорим о фоновых магнитных полях и полях слабых факелов. Это даже не факелы, окружающие активные области, напряженность магнитного поля в которых 300 ÷ 800 Гс, не говоря уже о магнитных полях пор и солнечных пятен с напряженностью более 1500 Гс.



**Рис. 8.** Изменение со временем результирующих магнитных потоков  $F(N) - F(S)$  для четырех интервалов напряженностей



**Рис. 9.** Средние результирующие магнитные потоки  $F(N) - F(S)$  для интервалов напряженностей (0.5 ÷ 10) Гс и (15 ÷ 100) Гс

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

## Литература

Витинский Ю.И. // Солнечная активность. М.: Наука. 1983.