

УДК 523.9-1/-8

ДОЛГОТНЫЕ ВАРИАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ НА СОЛНЦЕ В 23-м ЦИКЛЕ ПО ДАННЫМ SOHO/MDI

© 2011 г. В. Н. Обридко*, В. Е. Чертопруд

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк

Поступила в редакцию 18.06.2010 г.

По магнитограммам SOHO/MDI проанализировано долготное распределение квадрата магнитного поля Солнца (B^2) в 23-м солнечном цикле. Показано, что энергия магнитного поля (B^2) меняется с долготой. Однако структура этих вариаций, скорее всего, не укладывается в схему активных долгот. Во время высокой активности на всех широтах наблюдается явная связь между долготными вариациями для умеренно сильных ($|B| > 50$ Гс или $|B| > 100$ Гс) и относительно слабых ($|B| \leq 50$ Гс или $|B| \leq 100$ Гс) полей. Вне фазы сильной активности солнечного цикла также наблюдается связь между долготными вариациями для умеренно сильных и относительно слабых полей, но преимущественно на широтах, не превышающих $\approx 30^\circ$. Для фоновых полей на уровне $|B| \leq 25$ Гс также существуют долготные вариации, но они не связаны с вариациями для сильных полей. В связи с этим кажется справедливым заключение, что поля солнечной активности — лишь вкрапления в общее поле, а не его источник.

Ключевые слова: магнитные поля на Солнце.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о соотношении локальных и так называемых фоновых полей имеет большое значение для понимания природы и механизмов возникновения магнитного поля на Солнце. До настоящего времени конкурируют два основных направления в попытках ответить на этот вопрос. В первом случае фоновые поля считаются частью крупномасштабных глубоко укорененных магнитных полей. Эти глобальные поля возникают на уровне тахоклины на глубине 0.72 радиуса Солнца. Мощные локальные поля являются отражением того же механизма с возможным дополнительным усилением в приповерхностных слоях. Поэтому изменения сильных локальных полей с некоторым временным сдвигом повторяют изменения фоновых полей (Макаров, Михайлуца, 1992; Макаров, Тлатов, 1999, 2000; Макаров и др., 2001). В этом направлении исследований выделяются работы, в которых первичное крупномасштабное поле не предполагается глубинным (Жув и др., 2008; Лефебр, Косовичев, 2005), но все равно должен существовать сдвиг по времени между фоновыми и локальными полями и их общие структуры должны различаться. В работах второго направления фоновые поля считаются

продуктом распада локальных полей и строительным материалом для последующего цикла (Ванг и др., 2009). В этом случае можно было бы ожидать сдвига по времени в другую сторону и значительного сходства общих распределений на поверхности Солнца полей разной мощности.

Эта ситуация усугубляется еще и не всегда однозначным определением основных терминов. Традиционно под локальными полями понимают магнитные поля солнечных пятен. Их напряженность превышает 2000 Гс. Однако более логичным является определение локальных полей как полей активных областей. Эти поля (факелы, флоккулы, поры и микропоры) имеют напряженности от сотен до $(1-2) \times 10^3$ Гс. Вопрос о том, какова минимальная напряженность локальных полей, имеет большое значение для теории динамо. В ранних работах было показано, что на границе кальциевого флоккула поле составляет 25 Гс и быстро нарастает с перемещением внутрь флоккула в более яркие его места (Скуманич и др., 1975). Это было подтверждено по более современным данным с высоким разрешением (Рихокайнен и др., 2003), где минимальные значения поля составляют 25–50 Гс.

Отдельный вопрос представляет собой внутренняя структура локальных и фоновых полей.

* Электронный адрес: obridko@izmiran.ru

Таблица 1. Среднее по всем уровням напряженностей значение $\langle B^2 \rangle$ [Гс²] в указанных диапазонах широт

Параметр	$ B \leq 25$ Гс	$ B \leq 50$ Гс	$ B \leq 100$ Гс	$ B > 50$ Гс	$ B > 100$ Гс	B_{all}
NN1	178.6	396.6	492.2	7800	34442	818
N1	174.7	386.7	561.6	30437	64106	4693
C1	165.1	355.2	454.6	17101	43015	1673
S1	181.5	428.3	624.9	29448	67601	4586
SS1	192.6	506.6	721.9	6733	32485	1032
NN2	180.1	413.3	525.7	8824	32912	832
N2	178.5	422.8	710.7	53062	94629	9688
C2	172.3	402.8	651.3	58922	103194	9975
S2	185.8	473.1	800.8	50708	97176	10149
SS2	194.9	539.4	817.9	7407	30222	1237
NN3	178.5	397.1	479.7	5931	29172	577
N3	174.1	385.3	552.0	29987	62593	3793
C3	169.7	381.2	564.3	47598	87868	6467
S3	184.6	458.7	704.5	31137	68621	5468
SS3	195.6	541.4	809.0	5054	23373	919
NN4	177.1	383.5	448.9	4809	57233	475
N4	170.9	352.8	432.5	9434	29883	618
C4	165.2	350.9	446.0	17018	41484	1447
S4	182.8	431.2	574.0	8961	31616	930
SS4	195.0	524.3	752.8	4514	24827	802

Внутри теней пятен, где магнитное поле достигает максимальных значений, поле преимущественно радиально. Есть основания полагать, что в активных областях существуют “килогауссовые” трубки с преимущественным радиальным полем. Однако направление поля в окружающих пятна факелах, по существу, неизвестно. Прямые измерения поперечных полей в факелах пока ненадежны. В то же время, как оказалось, фоновые поля поле скорее поперечны (Гарви и др., 2007; Иошпа и др., 2009).

Наконец, еще одна остающаяся не решенной задача — это пространственная локализация локальных и фоновых полей. В основном локальные поля располагаются в центральной (“королевской”) зоне на широтах $\pm 30^\circ$. Имеются ли на этих широтах и фоновые поля или они наблюдаются только на высоких широтах, до сих пор не ясно.

ОТНОСИТЕЛЬНО СЛАБЫЕ И УМЕРЕННО СИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

По магнитограммам SOHO/MDI мы проанализировали долготное распределение квадрата магнитного поля Солнца $\langle B^2 \rangle$. Использован 14-летний (1996.05–2009.09) ряд ежедневных карт, на которых в качестве окна наблюдений выбрана идущая вдоль центрального меридиана полоса шириной 101 пиксель с центром в центре солнечного диска.

Вычисления проведены в пяти широтных диапазонах: $|\varphi| < 13^\circ$ (C), $\varphi \approx 13^\circ-32^\circ$ (N и S) и $\varphi \approx 32^\circ-64^\circ$ (NN и SS) в четырех последовательных временных интервалах:

- 1) фаза роста 23-го цикла (1996.05.01–1999.12.12);
- 2) максимум 23-го цикла (1999.12.13–2002.09.17);
- 3) фаза спада 23-го цикла (2002.09.18–2006.04.10);
- 4) минимум 23–24-го циклов (2006.04.11–2009.09.30).

Полученные для всех широтных интервалов отдельно для каждой магнитограммы оценки $\langle B^2 \rangle$ усреднялись по всем магнитограммам, относящимся к заданной долготе и интервалу времени. Рассматривалось 18 долготных интервалов, т.е. шаг по долготе составлял 20° . Использовалось три вида промежуточной информации: графики долготных вариаций $\langle B^2 \rangle$ для разных диапазонов напряженности магнитного поля, диаграммы широта–долгота $\langle B^2 \rangle$ для относительно слабых и умеренно сильных полей и корреляционные оценки.

Наиболее подробно мы проанализировали долготные вариации $\langle B^2 \rangle$ для шести уровней магнитного поля: $|B| \leq 25$ Гс, $|B| \leq 50$ Гс, $|B| \leq 100$ Гс, $|B| > 50$ Гс, $|B| > 100$ Гс, все B (B_{all}) (см. табл. 1).

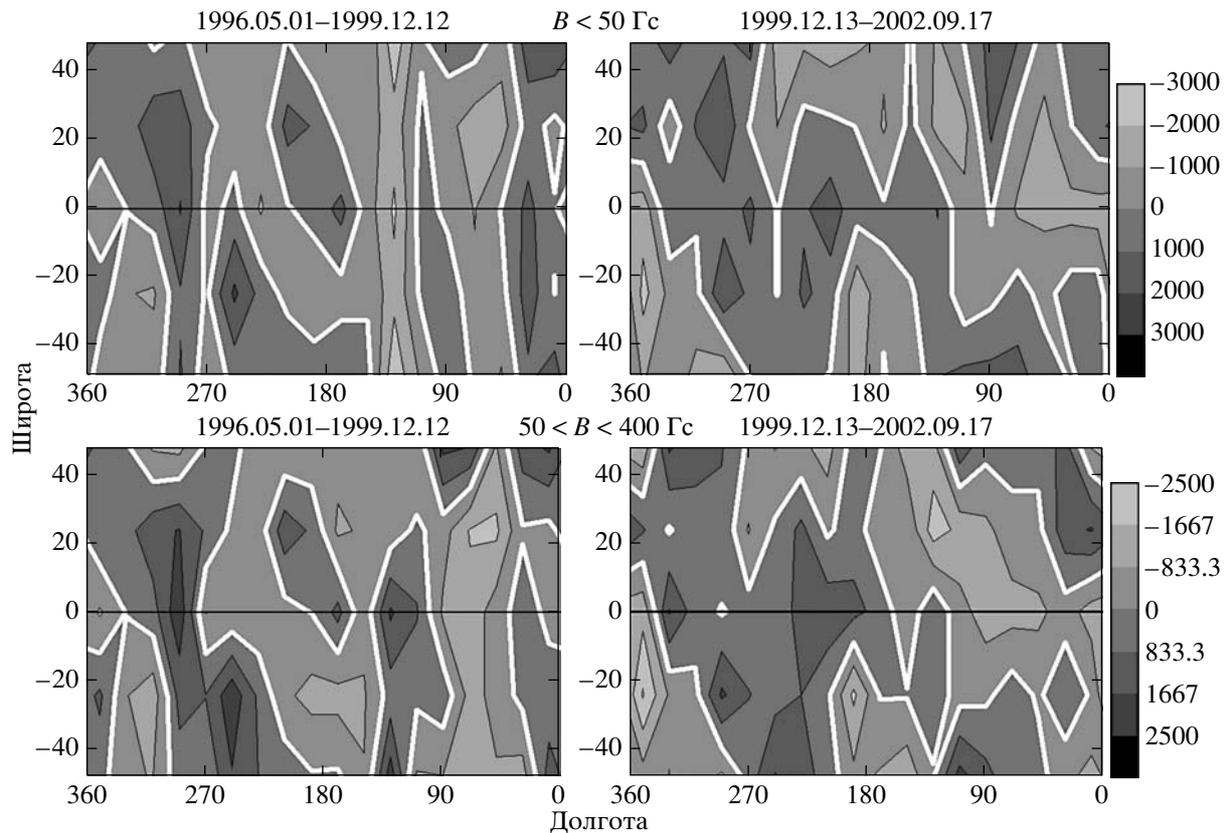


Рис. 1. Диаграммы широта–долгота для периодов нарастания солнечной активности (1996.05.01–1999.12.12) и фазы максимума 23-го цикла (1999.12.13–2002.09.17) для относительно слабых (верхняя панель) и умеренно сильных полей (нижняя панель).

Долготные вариации на рис. 1–6 для сопоставимости представлены в стандартизированном виде, т.е. после преобразования

$$X \rightarrow st = [X - m(X)]/s(X),$$

где $m(X)$ и $s(X)$ – среднее значение и стандартное отклонение величины X , определенные по данным 18 долгот.

На рис. 1, 2 приведены стандартизированные значения $\langle B^2 \rangle$, умноженные на 1000, для $|B| \leq 50$ Гс и $50 \text{ Гс} < |B| \leq 400$ Гс для четырех указанных выше интервалов времени. На рис. 1 показаны диаграммы широта–долгота для периодов нарастания солнечной активности (1996.05.01–1999.12.12) и фазы максимума 23-го цикла (1999.12.13–2002.09.17) для относительно слабых (верхняя панель) и умеренно сильных полей (нижняя панель). На рис. 2 показаны диаграммы широта–долгота для периодов спада 23-го цикла (2002.09.18–2006.04.10) и минимума 23–24-го циклов (2006.04.11–2009.09.30) для относительно слабых (верхняя панель) и умеренно сильных полей (нижняя панель).

Никаких устойчивых во времени выделенных долгот на диаграммах не наблюдается. В то же

время отчетливо видно сходство диаграмм для относительно слабых и умеренно сильных полей в периоды высокой солнечной активности (максимум, фаза спада и в какой-то мере фаза роста). В минимуме сходство падает, однако все-таки сохраняется связь между долготными вариациями для умеренно сильных ($|B| > 50$ Гс, $|B| > 100$ Гс) и относительно слабых ($|B| \leq 50$ Гс, $|B| \leq 100$ Гс) полей, но только на широтах, не превышающих $\approx 30^\circ$, $R(|B| \leq 50 \text{ Гс}, |B| > 50 \text{ Гс}) = 0.53 \pm 0.12$. На более высоких широтах в минимуме сходство исчезает, поскольку умеренно сильных полей там просто нет.

Количественно это подтверждается табл. 2, где приведены детальные коэффициенты корреляции между долготными вариациями слабых и умеренно сильных полей (см. столбцы 5–8). Жирным шрифтом выделены периоды 2 и 3 вблизи максимума 23-го цикла. В последней строке показаны средние коэффициенты корреляции для периодов высокой активности по 10 оценкам. Из табл. 2 видно, что значимая связь между долготными вариациями для сильных и слабых полей начинает наблюдаться примерно при 30 Гс, а введение ограничения на сильные поля ($|B| \leq 400$ Гс) усиливает эту связь.

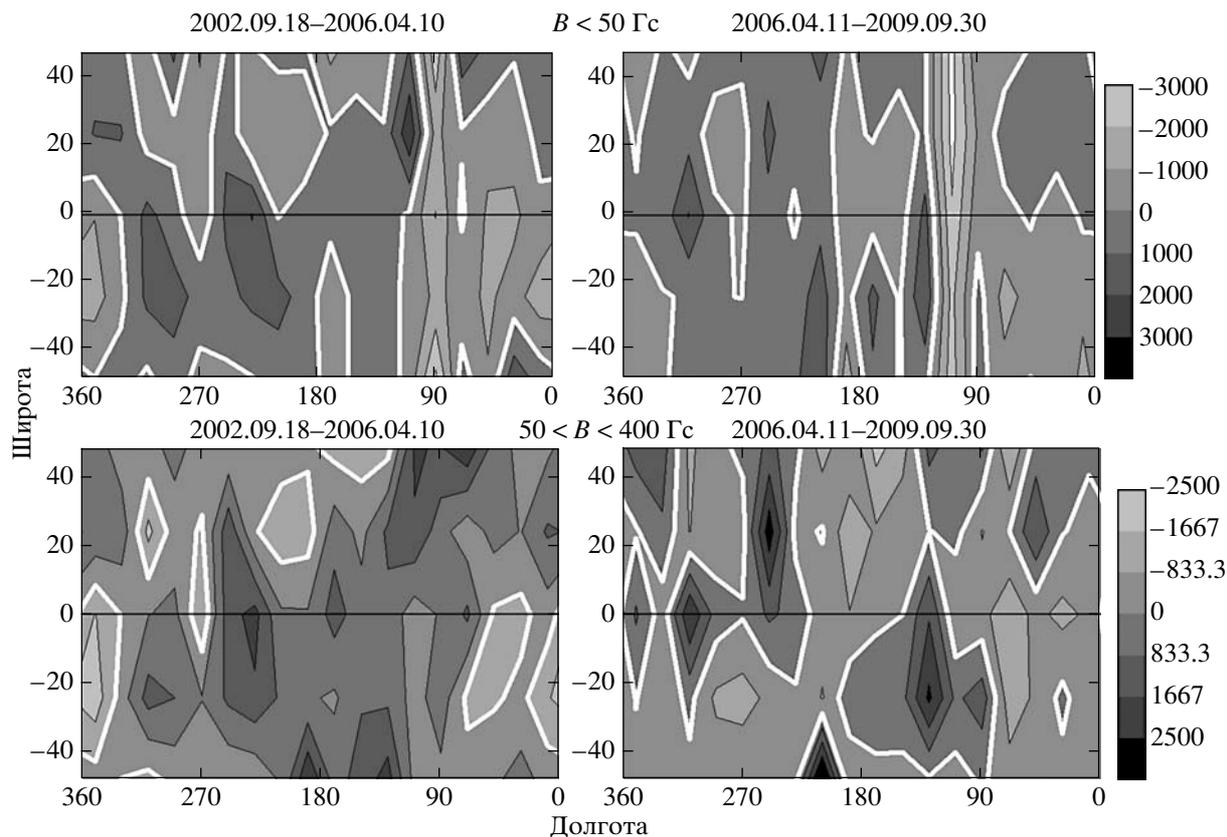


Рис. 2. Диаграммы широта–долгота для периодов спада 23-го цикла (2002.09.18–2006.04.10) и минимума 23–24-го циклов (2006.04.11–2009.09.30) для относительно слабых (верхняя панель) и умеренно сильных полей (нижняя панель).

Пропуск в таблице вызван отсутствием необходимой информации для вычисления коэффициента корреляции. На высоких широтах в минимуме солнечного цикла оказалось мало наблюдений магнитного поля в области $|B| > 100$ Гс.

Возвращаясь к диаграммам на рис. 1 и 2, отметим, что, хотя устойчивых долгот на них не наблюдается, в то же время существует долгота пониженной активности вблизи кэррингтоновской долготы 90° – 120° . Эта долгота особенно хорошо видна для слабых полей на фазе роста и в минимуме, но ее слабые следы можно заметить и на других диаграммах. Происхождение этой полосы неясно.

На уровне $|B| \leq 25$ Гс также существуют долготные вариации, но они не связаны с вариациями для сильных полей, $R(|B| \leq 25 \text{ Гс}, |B| > 50 \text{ Гс}) = 0.05 \pm 0.06$.

Некоторые из сотен проанализированных долготных зависимостей $\langle B^2 \rangle$ представлены в качестве примера на рис. 3–5. Приведенные зависимости относятся к максимуму 23-го солнечного цикла. Сравниваются зависимости для полей $|B| \leq 25$ Гс и $|B| > 50$ Гс (рис. 3) или для полей $|B| \leq 50$ Гс и $|B| > 50$ Гс (рис. 4, 5). Рассмотрение рисунков приводит к трем следующим выводам, которые

подтверждаются корреляционным анализом (см. табл. 2):

1. На всех представленных графиках долготные вариации $\langle B^2 \rangle$ не сводятся к эффекту ошибок наблюдений.

2. Структура этих вариаций не укладывается в схему активных долгот (не видно каких-либо четко выделенных долгот).

3. Во время высокой активности наблюдается явная связь между долготными вариациями для относительно слабых ($|B| \leq 50$ Гс) и умеренно сильных ($|B| > 50$ Гс) магнитных полей, а для полей $|B| \leq 25$ Гс и $|B| > 50$ Гс такой связи нет.

На рис. 3 показаны долготные вариации в максимуме в центральной широтной полосе (C2) для полей $|B| \leq 25$ Гс и $|B| > 50$ Гс. Коэффициент корреляции настолько низок (0.03), что можно говорить о полном отсутствии связи между этими полями.

Во Введении обсуждался вопрос о возможных сдвигах по времени структурных распределений для слабых и сильных полей. Некоторые ограничения на эти сдвиги следуют из оценок коэффициентов корреляции между долготными вариациями относительно слабых полей с напряжениями

Таблица 2. Коэффициент корреляции r между долготными вариациями $\langle B^2 \rangle$ для $|B| \leq b_0$ и $b_0 < |B| \leq 400$ Гс (столбцы 2–6) или для $|B| \leq B_0$ и $|B| > B_0$ (столбцы 7, 8)

Интервал	$b_0 = 25$	$b_0 = 30$	$b_0 = 35$	$b_0 = 40$	$b_0 = 50$	$B_0 = 50$	$B_0 = 100$
1	2	3	4	5	6	7	8
NN1	0.29	0.39	0.46	0.50	0.59	0.43	0.26
N1	0.67	0.57	0.81	0.90	0.93	0.88	0.88
C1	-0.09	-0.24	-0.03	0.22	0.43	0.65	0.60
S1	0.37	0.35	0.58	0.65	0.75	0.78	0.74
SS1	-0.67	-0.70	-0.53	-0.39	-0.10	-0.46	0.01
NN2	0.08	0.42	0.48	0.56	0.49	0.56	0.36
N2	0.15	0.14	0.26	0.36	0.57	0.28	0.34
C2	0.12	0.65	0.59	0.70	0.79	0.77	0.76
S2	0.54	0.55	0.67	0.86	0.95	0.59	0.42
SS2	0.13	0.59	0.54	0.49	0.64	0.50	0.58
NN3	-0.26	-0.13	0.05	0.17	0.26	0.42	0.43
N3	0.06	-0.02	0.24	0.45	0.69	0.35	0.42
C3	0.58	0.48	0.32	0.54	0.71	0.23	0.42
S3	0.52	0.51	0.64	0.71	0.83	0.67	0.61
SS3	-0.28	0.01	0.39	0.35	0.24	0.24	0.23
NN4	0.08	-0.16	-0.38	-0.41	-0.23	-0.13	-
N4	-0.14	-0.03	0.19	0.31	0.31	0.25	0.41
C4	0.23	0.29	0.25	0.35	0.66	0.44	0.46
S4	-0.01	0.08	0.07	0.20	0.30	0.17	0.46
SS4	0.18	0.40	0.50	0.51	0.50	0.26	-0.06
$\langle 2, 3 \rangle$	0.164 ± .09	0.320 ± .09	0.418 ± .06	0.519 ± .06	0.617 ± .06	0.461 ± .06	0.457 ± .05

$|B| \leq 50$ Гс и умеренно сильных полей с напряженностями $50 \text{ Гс} < |B| \leq 400$ Гс, относящимися к разным интервалам времени. При отсутствии временного сдвига между этими долготными вариациями средний коэффициент корреляции составляет 0.51 ± 0.07 . При сдвигах же интервалов на 3–9 лет корреляция между долготными вариациями этих полей незначима (при всех сдвигах максимальное значение коэффициента корреляции не превосходит 0.16). Вариации относительно слабых полей для разных интервалов времени (1, 2, 3, 4) не коррелированы. Также не коррелированы между собой долготные вариации умеренно сильных полей в разные исследованные интервалы (1, 2, 3, 4). Это означает, что общее распределение по поверхности полей разной мощности не сохраняется. Наши результаты, скорее, свидетельствуют о том,

что относительно слабые поля не являются просто продуктом распада сильных полей.

С другой стороны, очень слабые поля $|B| \leq 25$ Гс, возможно, образуют отдельную популяцию, не связанную непосредственно с более сильными полями.

СИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Проверим складывающееся представление о том, что долготные вариации солнечного магнитного поля (точнее $\langle B^2 \rangle$) у сильных и слабых полей почти одинаковы. При этом под сильными полями мы будем понимать поля солнечных пятен с напряженностями больше 1 кГс, а под слабыми локальными полями — поля факелов с напряженностями от 100 до 1000 Гс.

Методика выявления долготной структуры магнитных полей различается для сильных и слабых

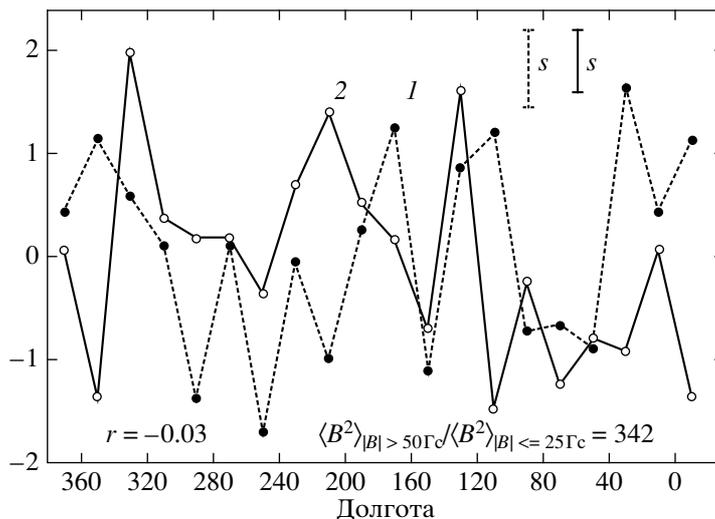


Рис. 3. Долготные вариации $\langle B^2 \rangle$ в максимуме 23-го цикла в центральной широтной полосе (C2) для полей $|B| \leq 25$ Гс (1) и $|B| > 50$ Гс (2). Вариации стандартизированы.

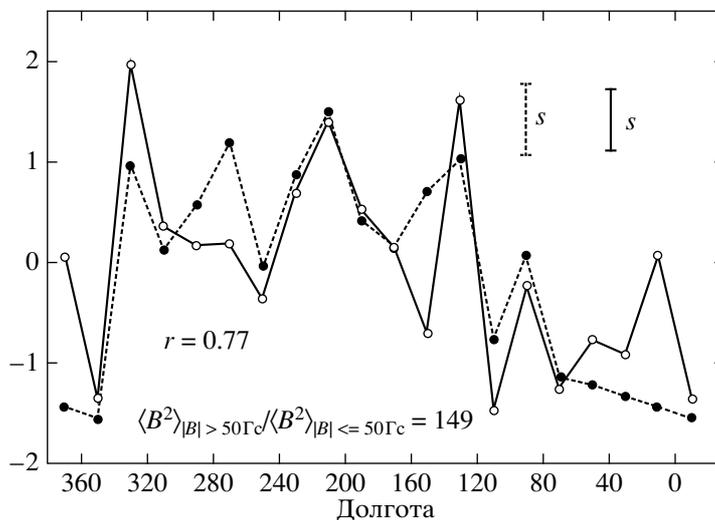


Рис. 4. То же, что на рис. 3, но для полей $|B| \leq 50$ Гс (1) и $|B| > 50$ Гс (2).

полей. Дело в том, что при исключении сильных полей посредством условия $|B| \leq b_0$ число точек N в окне наблюдений уменьшается несущественно, превышая несколько тысяч даже при $b_0 \sim 10$ Гс, а главное, оно практически не зависит от долготы. Напротив, при выделении сильных полей посредством условия $|B| > B_0$ число точек в окне наблюдений резко уменьшается (возможно, до нуля) и может существенно меняться с долготой. В первом случае величины $S = \sum B^2$ и $\langle B^2 \rangle = S/N$ практически пропорциональны друг другу и выбор индекса для выявления долготной структуры магнитных полей непринципиален. То же относится к результатам, полученным по всем данным, т.е. без ограничений $|B|$. Во втором случае

оценка $\langle B^2 \rangle$ (если она существует) не обязательно пропорциональна оценке S , более того, величины $\langle B^2 \rangle$ и S несут разную информацию об активности. Первая из них ($\langle B^2 \rangle$) пропорциональна магнитной энергии, приходящейся на единицу площади активных образований (определяемой по критерию $|B| > B_0$). Совсем не обязательны ее существенные изменения с долготой или фазой солнечного цикла (аналогия — средний размер больших солнечных пятен мало зависит от долготы и фазы солнечного цикла). Вторая величина (S) пропорциональна суммарной магнитной энергии сильных полей и, в какой-то мере, суммарной площади солнечных пятен в заданных интервалах широт, долгот и времени. При этом следует еще иметь в виду, что в

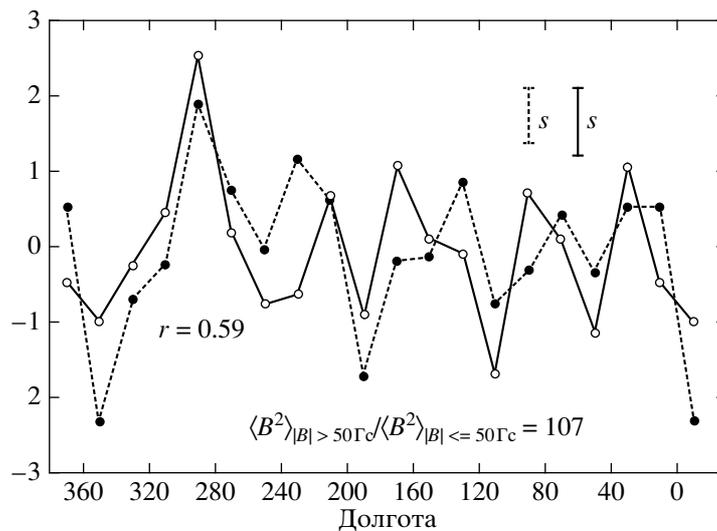


Рис. 5. То же, что на рис. 4, но на широтах $\varphi \approx 13\text{--}32^\circ \text{S}$ (S2).

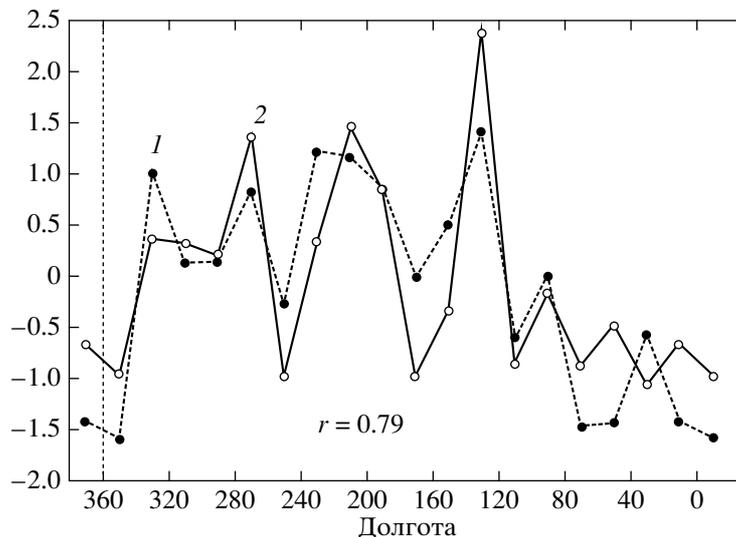


Рис. 6. Долготные вариации индекса $S = \sum B^2$ в максимуме 23-го цикла в центральной широтной полосе (C2) для полей $|B| \leq 100 \text{ Гс}$ (1) и $|B| > 2.8 \text{ кГс}$ (2). Вариации стандартизированы.

данных SOHO/MDI сильные килогауссовые поля занижаются.

С учетом вышесказанного для выявления долготной структуры сильных магнитных полей вычислялась сумма $S = \sum B^2$ в заданных интервалах широт, долгот и времени. Стоит отметить, что на разных долготах количество дней с наблюдениями может слегка различаться (из-за пропуска данных в SOHO/MDI), это учитывалось весовым множителем.

На рис. 6, 7 показаны долготные распределения S для $|\varphi| < 13^\circ$ и $t \approx 2000\text{--}2002 \text{ г.}$ в разных диапазонах напряженности магнитных полей.

Как показывает рис. 6, долготные вариации умеренно сильных ($|B| \leq 100 \text{ Гс}$) и очень сильных ($|B| > 2800 \text{ Гс}$) магнитных полей неплохо коррелируют ($r = 0.79$). Как видно из рис. 7, долготные вариации сильных полей при самых разных условиях на напряженности магнитного поля подобны.

Килогауссовые поля хорошо коррелированы на всех широтах и во всех временных интервалах. Несколько сложнее связь между сильными килогауссовыми полями и более слабыми полями факелов. На фазе роста солнечного цикла наблюдается хорошая корреляция на экваторе диска для всех полей. В максимуме и на фазе спада наблюдается низкая корреляция сильных и слабых полей на всех

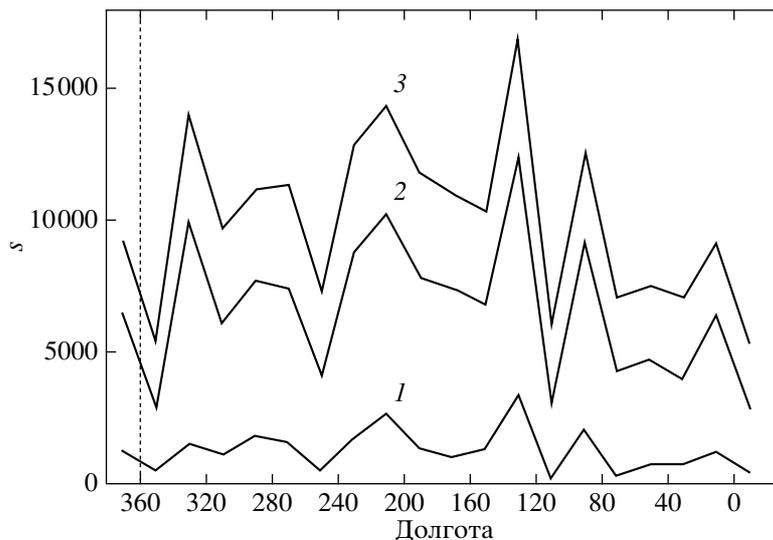


Рис. 7. То же, что на рис. 6, но для полей $|B| > 2$ кГс (1), $|B| > 0.5$ кГс (2) и любых полей (3).

широтах, особенно для весьма сильных и очень слабых полей.

ВЫВОДЫ

1. Энергия магнитного поля ($\langle B^2 \rangle$) меняется с долготой. Однако структура этих вариаций, скорее всего, не укладывается в схему активных долгот. Не видно каких-либо выделенных долгот, кроме, пожалуй, наличия неактивной узкой полосы $100^\circ - 120^\circ$ в начале и в конце цикла и некоторого сходства общей структуры для слабых полей. Долготная структура не сохраняется во времени.

2. Во время высокой активности солнечного цикла на всех широтах наблюдается явная связь между долготными вариациями для умеренно сильных ($|B| > 50$ Гс или $|B| > 100$ Гс) и относительно слабых ($|B| \leq 50$ Гс или $|B| \leq 100$ Гс) полей. Средние значения десяти коэффициентов корреляции в периоды высокой активности (выделены жирным шрифтом в табл. 2) составляют: $R(|B| \leq 50 \text{ Гс}, |B| > 50 \text{ Гс}) = 0.46 \pm 0.06$, $R(|B| \leq 100 \text{ Гс}, |B| > 100 \text{ Гс}) = 0.46 \pm 0.05$. В максимуме цикла корреляция несколько уменьшается с уходом из экваториальной зоны, в особенности для северного полушария, а выделенности долгот почти нет. На фазе роста корреляция высокая на всех широтах до 35° , можно усмотреть некоторую выделенность в окрестностях $240^\circ - 300^\circ$. На фазе спада наблюдается низкая корреляция в центральной зоне и высокая в средних широтах, можно усмотреть выделенность в северном полушарии в окрестностях 100° , в южном в окрестностях $240^\circ - 300^\circ$.

3. Вне фазы сильной активности также наблюдается связь между долготными вариациями для умеренно сильных и относительно слабых полей,

но преимущественно на широтах, не превышающих $\approx 30^\circ$, $R(|B| \leq 50 \text{ Гс}, |B| > 50 \text{ Гс}) = 0.53 \pm 0.12$.

4. Из табл. 2 видно, что значимая связь между долготными вариациями для сильных и слабых полей начинает наблюдаться примерно при 30 Гс, а введение ограничения на сильные поля ($|B| \leq 400$ Гс) усиливает эту связь. На уровне $|B| \leq 25$ Гс также существуют долготные вариации, но они не связаны с вариациями для сильных полей, $R(|B| \leq 25 \text{ Гс}, |B| > 50 \text{ Гс}) = 0.05 \pm 0.06$.

Принципиальным для построения моделей структуры и эволюции полей разных масштабов на Солнце является вывод о почти синхронной долготной вариации индекса S , вычисленного при самых разных условиях для напряженности магнитного поля ($|B| \leq 100$ Гс и $|B| > B_0$, где $B_0 = 0 - 2800$ Гс). С учетом результатов предыдущего раздела можно говорить о подобии изменений энергии полей разной напряженности (от 50 до 3000 Гс). В связи с этим кажется справедливым заключение, что поля солнечной активности — лишь вкрапления в общее поле, а не его источник.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 08-02-00070). Авторы признательны коллективу сотрудников SOHO/MDI за предоставленные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ванг и др. (Y.-M. Wang, E. Robbrecht, and N.R. Sheeley), *Astrophys. J.* **707**, 1372 (2009).
2. Гарви и др. (J.W. Harvey, D. Branston, C.J. Henney, C.U. Keller, SOLIS and GONG Teams), *Astrophys. J.* **659**, L177 (2007).
3. Жув и др. (L. Jouve, A.S. Brun, R. Arlt, et al.), *Astron. Astrophys.* **483**, 949 (2008).

4. Иошпа Б.А., Обридко В.Н., Чертопруд В.Е., Письма в Астрон. журн. **36**, 472 (2009).
5. Лефевр, Косовичев (S. Lefebvre and A.G. Kosovichev), *Astrophys. J.* **633**, L149 (2005).
6. Макаров, Михайлуца (V.I. Makarov and V.P. Mikhallutsa), *ASP Conf. Ser.* **27**, 404 (1992).
7. Макаров, Тлатов (V.I. Makarov and A.G. Tlatov), *The 9th European Meeting on Solar Physics* (12–18 September, 1999, in Florence, Italy, Ed. A. Wilson, Noordwijk: ESA SP-448, 1999), p. 125.
8. Макаров, Тлатов (V.I. Makarov and A.G. Tlatov), *J. Astrophys. Astron.* **21**, 161 (2000).
9. Макаров и др. (V.I. Makarov, A.G. Tlatov, D.K. Callebaut, et al.), *Solar Phys.* **198**, 409 (2001).
10. Рихокайнен и др. (A. Riehoainen, E. Valtaoja, and S. Pohjolainen), *Astron. Astrophys.* **402**, 1103 (2003).
11. Скуманич и др. (A. Skumanich, C. Smythe, and E.N. Frazier), *Astrophys. J.* **200**, 747 (1975).

Сдано в набор 29.12.2010 г.	Подписано к печати 14.03.2011 г.	Формат бумаги $60 \times 88^{1/8}$		
Цифровая печать	Усл. печ. л. 10.0	Усл. кр.-отт. 1.0 тыс.	Уч.-изд. л. 10.1	Бум. л. 5.0
	Тираж 99 экз.	Зак. 1299		

Учредители: Российская академия наук, Институт космических исследований РАН

Издатель: Российская академия наук. Издательство "Наука", 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Оригинал-макет подготовлен МАИК "Наука/Интерпериодика"

Отпечатано в ППП "Типография "Наука", 121099 Москва, Шубинский пер., 6