

УДК 523.98—337

**Анализ измерений продольной
и поперечной составляющих магнитного поля
в полярных областях Солнца****В. М. Григорьев**

Показано, что в полярных областях Солнца средняя напряженность продольной составляющей магнитного поля равна $4.2 \cdot 10^{-4}$ Тл, а поперечной — $7.5 \cdot 10^{-3}$ Тл. Измерения выполнялись с пространственным разрешением $4 \times 2''$. Такое различие объясняется тем, что сигнал продольной составляющей формируется усреднением по апертуре магнитографа значения напряженности, а поперечной — квадрата напряженности магнитного поля элементов тонкой структуры. Из анализа измерений сделана оценка параметров тонкой структуры магнитного поля. Напряженность поля в магнитных волокнах составляет 0.1 Тл; они занимают 0.5 % солнечной поверхности.

Кроме того, большое значение напряженности поперечной составляющей по сравнению с продольной может быть обусловлено механизмом турбулентного усиления магнитного поля трубок потока.

MEASUREMENTS ANALYSIS OF LENGTHWISE AND CROSS FIELD COMPONENTS IN THE SUN POLAR AREAS, by Grigor'ev V. M.—The mean intensity for lengthwise field component is $4.2 \cdot 10^{-4}$ T and for cross component is $7.5 \cdot 10^{-3}$ T in the Sun polar areas. Measurements were taken with the space resolution $4 \times 2''$. The difference is explained by the fact that the lengthwise component signal is formed by the averaging of intensity and the cross component is formed by the averaging of the square intensity of the magnetic field of fine structure elements over the magnetograph aperture. Evaluation of fine structure of the magnetic field parameters is made. Field intensity in the magnetic filaments is 0.1 T. They occupy 0.5 % of the Sun surface.

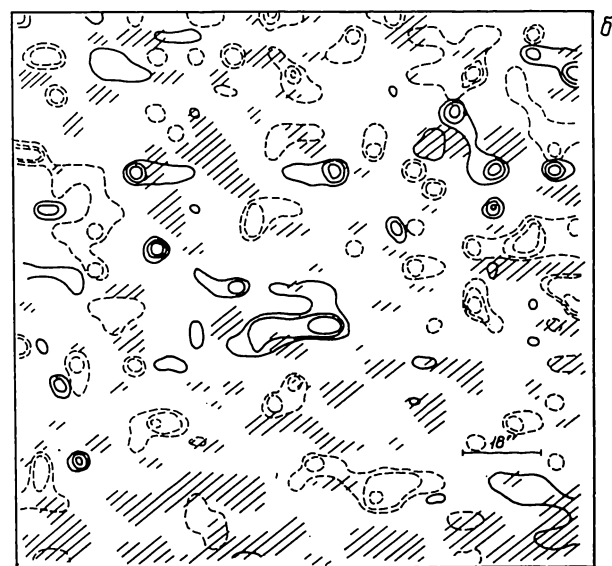
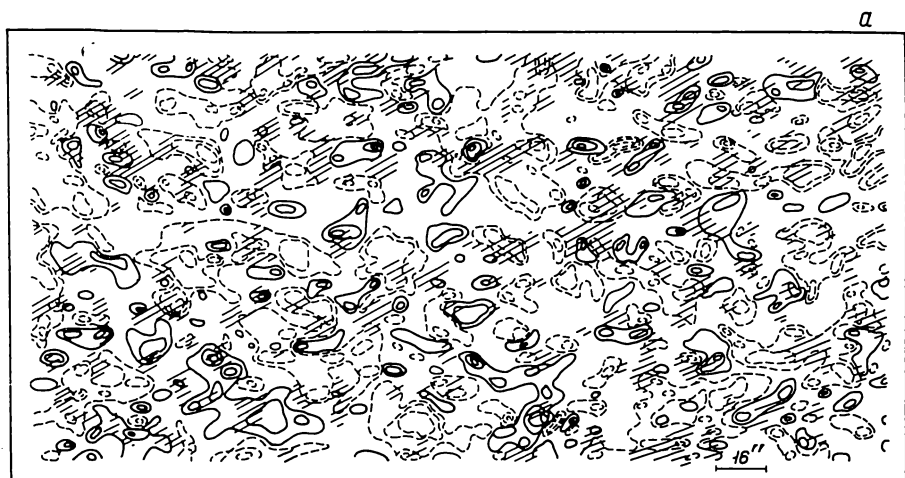
Besides, the higher value of cross component intensity is explained by turbulent amplification of the magnetic field of flux tubes.


Магнитное поле в полярных областях Солнца неоднородное [2, 4]. Структура поля представляет собой систему холмов обеих полярностей, но в каждой полярной шапке преобладают холмы одной полярности, соответствующей полярности среднего магнитного поля для данной фазы солнечного цикла. Результаты измерений магнитного поля существенно зависят от пространственного разрешения магнитографа [1, 5]. При измерениях с разрешением $1.2 \times 1.8''$ напряженность продольной составляющей магнитного поля в отдельных холмах достигает $3 \cdot 10^{-3}$ Тл. Обычно измеряется только продольная составляющая, а истинное направление вектора магнитного поля остается неизвестным. При оценке истинной напряженности предполагается почти радиальное направление вектора поля [7].

Холмы магнитного поля связаны с супергрануляционной сеткой, полярными факелами и эфемерными активными областями. Поэтому направление вектора магнитного поля в них может отличаться от радиального. Первые измерения вектора магнитного поля в полярных областях Солнца выполнены нами в 1968 г. Полученные результаты, на первый взгляд, были неожиданными: средняя напряженность продольной составляющей равна $5 \cdot 10^{-4}$ Тл, а поперечной — $9 \cdot 10^{-3}$ Тл. Наиболее естественное объяснение основано на различии формирования сигналов продольной и поперечной составляющих магнитных полей при усреднении элементов тонкой структуры поля по апертуре магнитографа. Эта особенность также отмечалась в работе [8], однако в то время оставались сомнения, поскольку не измерялась инстру-

ментальная матрица телескопа и трудно было оценить ее влияние на результаты измерений. После создания нового магнитографа и разработки метода измерения инструментальной матрицы телескопа [6] мы повторили измерения вектора магнитного поля в полярных областях Солнца.

В настоящей работе используются наблюдения 7 августа 1968 г., 15 и 16 августа 1986 г. Пространственное разрешение магнитографа —



— 1 - - - - 2  3

Магнитограммы северной полярной области 7 августа 1968 г. (а) и 15 августа 1986 г. (б). Изолинии соответствуют напряженности продольной составляющей поля $0.5 \cdot 10^{-3}$, $1.0 \cdot 10^{-3}$, $1.5 \cdot 10^{-3}$, $2.0 \cdot 10^{-3}$ Тл; 1 — N-полярность; 2 — S-полярность; 3 — области поперечной составляющей поля напряженностью более $7.5 \cdot 10^{-3}$ Тл (а) и более 1.5×10^{-2} Тл (б)

$4 \times 2''$. Измерения выполнялись в линии Fe I $\lambda 525.0$ нм. На рисунке показаны примеры магнитограмм в северной полярной области. По магнитограммам вычислены средние напряженности продольной \bar{H}_{\parallel} и поперечной \bar{H}_{\perp} составляющих поля. Результаты представлены в таблице. Средняя напряженность поперечной составляющей на порядок больше средней напряженности продольной. Почему столь велика поперечная составляющая поля?

Рассмотрим, как формируется средний по апертуре сигнал магнитографа от элементов тонкой структуры поля. Пусть H_f — напряженность поля в отдельных магнитных волокнах, которые занимают часть A_f солнечной поверхности. Магнитограф регистрирует средний по апертуре сигнал круговой и линейной поляризации. При этом в первом приближении степень круговой поляризации пропорциональна H_{\parallel} , а степень линейной поляризации пропорциональна H_{\perp}^2 . Представим, что в апертуру магнитографа попадает одно магнитное волокно напряженностью H_f и оно занимает часть апертуры A_f . Средняя напряженность поля по апертуре $H_{\text{ср}} = A_f H_f$. Если поле волокна чисто продольное, то измеренное значение поля составит

$$H_{\parallel, \text{изм}} \approx A_f H_f. \quad (1)$$

Это значение совпадает с истинной средней напряженностью поля $H_{\text{ср}}$. Если поле чисто поперечное, то измеренное значение поля составит

$$H_{\perp, \text{изм}} \approx \sqrt{A_f H_f^2} = \sqrt{A_f} H_f = H_{\text{ср}} / \sqrt{A_f}, \quad (2)$$

потому что по апертуре усредняется квадрат напряженности поля. Так как A_f всегда меньше 1, то измеренная поперечная составляющая поля будет в $A_f^{1/2}$ раз больше истинной средней по апертуре напряженности поля.

Параметры магнитного поля

Полярная область	Дата наблюдения	Средняя напряженность составляющей, Тл		A_f	H_f , Тл
		Продольной	Поперечной		
N	07.08.1968	$5.7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$	$1.15 \cdot 10^{-1}$
N	15.08.1986	$3.3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$	$7.7 \cdot 10^{-2}$
S	15.08.1986	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	$9.5 \cdot 10^{-2}$
N	16.08.1986	$3.8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$	$8.4 \cdot 10^{-2}$
Среднее		$4.2 \cdot 10^{-4}$	$7.5 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$	$9.3 \cdot 10^{-2}$

Используя выражения (1) и (2), а также наблюдения продольной и поперечной составляющих поля, можно сделать оценки параметров тонкой структуры магнитного поля A_f и H_f . Для этого по магнитограммам вычислены средние значения величин $A_f = [(H_{\parallel}/H_{\perp})]^2$ и $H_f = \bar{H}_{\parallel}/A_f$. Полученные оценки для каждой магнитограммы и среднее по всем магнитограммам приведены в таблице.

Таким образом, сравнительный анализ магнитограмм продольной и поперечной составляющих поля показывает, что измеренные сильные поперечные магнитные поля в полярных областях Солнца — следствие существования тонкой структуры магнитного поля с элементами поля напряженностью около 0.1 Тл, занимающими 0.5 % солнечной поверхности.

Свойство магнитографа регистрировать среднюю напряженность поля при измерении продольной составляющей и средний квадрат напряженности при измерении поперечной составляющей имеет значение и для выяснения физической природы тонкой структуры магнитного поля в солнечной атмосфере. В частности, одним из возможных механизмов усиления и концентрации магнитного поля является усиление поля силовой трубки внешней турбулентностью [3]. Турбулентные движения создают давление на трубку потока. Локальные давления вызывают локальные растяжения и сжатия трубки, которые сопровождаются возвратно-поступательными движениями жидкости вдоль силовой

трубки. Движения жидкости вследствие эффекта Бернулли приводят к уменьшению внутреннего давления в трубке и к ее сжатию внешним давлением. Турбулентное усиление становится более эффективным, если турбулентная жидкость обтекает силовую трубку вдоль. В [3] показано, что движение жидкости внутри трубки, вызванное внешней турбулентностью, увеличивает среднее поле \bar{H} до значения, составляющего только долю величины $(4\pi r v^2)^{1/2}$, соответствующей равномерному распределению кинетической энергии турбулентных движений и энергии магнитного поля. В то же время среднее значение квадрата поля ($\overline{H^2}$) возрастает до полной величины, соответствующей соображениям о равномерном распределении и равной в фотосфере $6 \cdot 10^{-2}$ Гл. Именно $\overline{H^2}$ и оценивается при измерениях поперечной составляющей поля. Таким образом, большое значение поперечной составляющей поля по сравнению со значением продольной может быть частично обусловлено механизмом турбулентного усиления магнитного поля трубки потока.

Автор благодарит В. Л. Селиванова и Б. Ф. Осака за участие в наблюдениях.

1. Григорьев В. М. Влияние разрешения на измерение характеристик общего магнитного поля Солнца // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца.— 1970.— Вып. 7.— С. 217—231.
2. Григорьев В. М., Степанов В. Е. Результаты первых наблюдений общего магнитного поля Солнца на Саянской обсерватории // Результаты наблюд. и исслед. в период МГСС.— 1967.— Вып. 4.— С. 61—66.
3. Паркер Е. Космические магнитные поля.— М.: Мир, 1982.— Ч. 1.— 608 с.
4. Северный А. Б. Исследование общего магнитного поля Солнца // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 1966.— 35.— С. 97—138.
5. Северный А. Б. Магнитная асимметрия и колебания общего магнитного поля Солнца // Там же.— 1967.— 38.— С. 3—51.
6. Grigoryev V. M., Kobanov N. I., Osak B. F. et al. The vector magnetograph of the Sayan Solar Observatory // Measurements of solar vector magnetic fields / Ed. by M. J. Hagyard.— Washington, 1985.— P. 231—256.— (NASA CP-2374).
7. Howard R. Studies of solar magnetic fields. V: The true average field strengths near the poles // Solar Phys.— 1977.— 52, N 2.— P. 243—248.
8. Stenflo J. O. The interpretation of magnetograph results: The formation of absorption lines in a magnetic field // Solar magnetic fields / Ed. by R. Howard.— Dordrecht: Reidel, 1971.— P. 101—129.

Сиб. ин-т зем. магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн
Сиб. отд-ния АН СССР, Иркутск

Поступила в редакцию
17.06.87