

2. Баранов А.В. О природе расщепления π -компонента магнитоактивных линий в спектрах солнечных пятен // Солнечные данные. 1974. № 7. С. 100–105.
3. Баранов А.В. Поведение экстремумов профилей Стокса магнитоактивных линий в спокойной солнечной фотосфере. // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 3–14. (Тр. УАФО; т.8, вып.8).
4. Баранов А.В., Лазарева Л.Ф. Анализ профилей Стокса спектральных линий со сложной структурой расщепления и проблема измерения магнитного поля в солнечном пятне // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 20–33 (Тр. УАФО; т. 9, вып. 9).
5. Лоцицкий В.Г., Коломиец Д.Г. Особенности расщепления зеемановской π -компоненты линии FeI λ 630.25 нм в спектрах солнечных пятен и вспышек // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 79–96 (Тр. УАФО; т. 9, вып. 9).
6. Могилевский Э.И., Демкина Л.Б., Иошина Б.А., Обридко В.Н. // Structure and Development of Solar Active Region. IAU Sump. No. 35. Budapest. 1967. Dordrecht/Ed. By K.O.Kiepenheuer. P.215.
7. Обридко В.Н. Солнечные пятна и комплексы активности. М: Наука. 1985. С. 256.
8. Рачковский Д.Н. Эффекты магнитного вращения в спектральной линии // Известия Крым. астрофиз. обсерватории. 1962. Т.28. С.259–270.
9. Северный А.Б. // Астрон. Ж. 1959. т. 36. с. 126.
10. Beckers J.M., Schröter E.H. // Solar Phys. 1969. v.7. P.22. (v.10. P.384.)
11. Kunzel H., Staude J. The anomalous splitting of the π -component of a Zeeman triplet in sunspot umbrae and suggestions for its interpretation // Astron. Nachrichten. 1975. V.296. N 4. P.171–176.

УДК 523.98

А.В. Баранов, С.Г. Можаровский

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТА ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОСФЕРЫ, ПОСТРОЕННОЙ ПО СВЯЗИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Есть модель элемента тонкой структуры факела, которая описывает связь магнитного поля H и эквивалентной ширины спектральных линий. Здесь для решения этой задачи использован расчет спектральных линий с учётом аномальной дисперсии.

Для 28 спектральных линий выполнен анализ k_1 -площади r_v -профилей, нормированных на площадь r_v -профиля линии Fe I λ 525.35 нм; k_1 сравнивались с теоретическими для $H = 624 \text{ Э}$, $\gamma = 45^\circ$. Рассмотрены параметры связи величин: S_1 – отношения рассчитанных и наблюдаемых k_1 и коэффициенты их корреляции S_2 . При использовании теории Унно среднее значение $S_1 = 1.001$, а величина $S_2 = 0.988$. При учете аномальной дисперсии $S_1 = 0.902$, а $S_2 = 0.975$. Есть заметное различие S_1 при близких коэффициентах корреляции. Вероятно, это следствие инверсий r_v -профиля, наблюдаемых у центров магнитоактивных линий. Учет этого предполагает коррекцию модели в сторону уменьшения температуры.

Известно, что профили Стокса многих фраунгоферовых линий сильно зависят от физических условий в солнечной атмосфере. Так, из наблюдений следуют факты усиления и ослабления линий в спектре солнечного пятна (см., например, [14]), ослабления линий во флоккулах (сводку ссылок см. в [15]), изменения профилей линий во время вспышек [1,2]. В [2] получено, что характер изменения профилей магнитоактивных линий во время вспышек в значительной мере определяется изменениями температуры, плотности и поля скоростей в фотосфере. Изменение температурного распределения с высотой во вспышке (согласно построенным полуэмпирическим моделям) отмечено в [12].

Естественно предположить, что и в других активных образованиях на измеряемую по спектральной линии напряженность магнитного поля H влияют физические условия.

М. Семелем [23] была найдена связь величины H и эквивалентной ширины линий W в факеле. В работах [8-11,21] также найдена тесная связь H и W в невозмущенных областях Солнца, которая в [9-10,21] интерпретируется как рост H с высотой.

В.Г. Лозицким и Т.Т. Цапом [11] по результатам изучения связи H и W по 6 линиям в спокойных областях атмосферы Солнца отмечено, что предложенная ими модель элемента тонкой структуры фотосферы хорошо объясняет совокупность наблюдаемых данных без каких-либо особых предположений о зависимости H от высоты.

Анализ работ [8-11,21] показывает, что при наблюдениях в основном использовались линии Fe, среди которых наиболее полно представлены линии мультиплета № 553. По этой причине при анализе наблюдений и теоретических расчетах сведения о физических условиях в первом приближении получались путем сравнения других линий FeI с линиями данного мультиплета.

В работах [4-5] нами была предпринята попытка объяснить существующую связь H и W . Были выполнены расчеты зависимости величины магнитографического сигнала I_i от силы осцилляторов gf_i линий с триплетным расщеплением и потенциалом возбуждения нижнего уровня ϵ_i , равным 3.28 эВ, для длины волны λ 525.3 нм. Величина I_i нормировалась на величину магнитографического сигнала I_0 линии FeI λ 525.347 нм. Результаты расчетов I_i/I_0 для различных комбинаций моделей (модели фотосферы HOLMU [22], факела Кэкина и Северино [16], Чепмена [17], Келлера и др. [18]) и параметров поля ($H=100, 300$ и 1000 Э, $\gamma=0^\circ$ и 45°) очень близки между собой, а рассчитанные кривые близки по форме к приведенной в [10,21] зависимости $k_i = H_i/H_0$ (отношения напряженности магнитного поля, измеренной по данной линии, к напряженности магнитного поля, измеренной по линии 525.3 нм) от величины $\lg W_i$ и имеют тот же физический смысл. Действительно, для линий с близкими ϵ_i будет наблюдаться рост W_i с ростом $(gf)_i$ и, если зависи-

мость k_i от W_i имеет максимум, максимум будут иметь и кривые зависимости k_i от $(gf)_i$ и, соответственно, I_i/I_0 от $(gf)_i$.

Следующим шагом являлось выяснение возможной роли физических условий в наблюдаемой связи H и W и попытка определения общих требований к модели активного образования, которая при обычных предложениях об изменении H с высотой может объяснить наблюдаемый эффект [3,4]. Нами была построена модель элемента тонкой структуры факела (ТС-элемента), которая вполне удовлетворительно описывает наблюдаемую связь магнитного поля H и эквивалентной ширины спектральных линий W в солнечной фотосфере [5,6]. Работа [6] выполнена с использованием расчетов профилей Стокса линий для системы уравнений переноса излучения Унно и меняющихся с глубиной параметров атмосферы.

В данной работе для решения такой задачи использован расчет спектральных линий с помощью системы уравнений переноса излучения, учитывающей аномальную дисперсию.

Параметры линий взяты из работ [7, 13] и дополнены данными баз атомных параметров линий [14-15].

При расчетах использованы опубликованные в [6, 8-11, 21] данные измерений. Выбрано 30 спектральных линий, данные о которых приведены в таблице. Для них выполнен анализ расчетной площади W_{vi} их профилей круговой поляризации, нормированных на площадь r_v –профиля линии Fe I λ 525.35 нм. Площади профилей сравнивались с аналогичными величинами тех же линий, теоретически рассчитанными для модели [5,6] и модели фотосферы [22]. Принималось $H = 624$ Э, угол наклона силовых линий к лучу зрения $\gamma = 45^\circ$, микротурбулентная скорость 1 км/сек, постоянная Ван-дер-Ваальса использовалась с множителем 2.

Для определения степени соответствия расчетных и измеряемых по спектральным линиям значений магнитного поля использовалась следующая методика.

Рассмотрены параметры связи наблюдаемых и теоретически рассчитанных величин и модель образования, для которой выполняется условие

$$S_1 = \frac{1}{n} \sqrt{\sum (K_{in} - K_{ip})^2} = \min, \quad (1)$$

где k_{in} – наблюдаемое, а k_{ip} – рассчитанное для данной модели значение k_i . Выражение (1) аналогично соответствующему критерию, который используется во многих работах (см., например, [18]) для согласования экспериментальных и теоретических профилей линии. Кроме того, вычислялись параметры S_2 – среднее по всем линиям отношение рассчитанных и наблюдаемых k_i , и S_3 – коэффициенты их корреляции.

Напомним, что в [6] при построении температурной модели предпочтение отдавалось тому ее варианту, при котором величина S_1 была меньше, чем в предыдущем, а хотя бы один из двух других параметров был ближе к 1.

При использовании системы уравнений переноса излучения Унно по 21 линии было найдено температурное распределение по высоте [6], при котором

$$S_1 = 0.185, \quad S_2 = 1.001, \quad S_3 = 0.988. \quad (2)$$

При учете в системе уравнений переноса излучения аномальной дисперсии для той же модели были получены следующие результаты.

Число используемых линий $N=28$, поскольку для двух линий – Fe II 523.46 и Cr II 523.73 нм (в таблице приведены под №№ 11 и 12) – данные наблюдений отсутствуют. Параметры связи в этом случае

$$S_1 = 0.188, \quad S_2 = 0.924, \quad S_3 = 0.968, \quad N = 28. \quad (3)$$

Мы видим, что при одинаковых S_1 и несколько меньшем коэффициенте корреляции S_3 среднее по всем линиям отношение рассчитанных и наблюдаемых k_i при учете аномальной дисперсии заметно ниже.

Таблица

	Эл.	M	λ , нм	E_i , эв	$\lg(GF)$	W_{ϕ} , мА	$g_{эфф}$	K_{ϕ}	$K_{\phi m}$	K_{λ}	$K_{\lambda m}$	K_{η}
1	FeI	2	448.97	0.12	-4.30	81.0	1.549	1.15	1.60	1.32	1.93	0.91
2	SrI	2	460.73	0.00	-0.06	36.0	1.000	0.89	1.66	0.43	0.66	0.54
3	TiI	6	465.65	0.00	-1.60	55.0	0.840	1.03	1.84	0.51	0.78	0.61
4	FeI	66	514.5,1	2.20	-3.22	44.0	1.828	0.91	1.48	0.54	0.75	0.69
5	FeI	1089	516.23	4.18	-0.10	154.0	1.408	1.02	0.51	1.47	1.27	1.49
6	FeI	1	516.63	0.00	-4.20	115.0	1.799	1.08	0.84	1.29	1.64	1.22
7	TiI	4	519.30	0.02	-1.04	80.0	1.075	1.06	1.31	0.87	1.16	1.03
8	FeI	553	521.74	3.21	-1.07	102.0	1.493	1.04	0.59	1.42	1.29	1.35
9	TiI	4	521.91	0.02	-2.23	24.7	1.490	0.53	0.97	0.12	0.18	0.58
10	FeI	553	522.99	3.28	-1.10	124.0	1.500	1.03	0.64	1.34	1.20	1.41
11	Fe2	49	523.46	3.22	-2.38	88.5	0.869	1.02	0.99	1.88	1.72	
12	Cr2	43	523.73	4.07	-1.50	49.0	1.333	0.68	1.09	1.25	1.45	
13	FeI	1	524.71	0.09	-4.95	60.4	1.998	1.00	1.51	0.53	0.76	0.63
14	FeI	1	525.02	0.12	-4.91	64.9	2.999	0.95	1.29	0.51	0.70	0.55
15	FeI	553	525.35	0.12	-1.57	81.0	1.507	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
16	FeI	15	526.95	0.86	-1.32	478.0	1.208	0.64	0.30	2.02	1.33	1.96
17	FeI	553	530.23	3.28	-0.89	157.0	1.500	1.03	0.52	1.50	1.38	1.50
18	FeI	553	532.42	3.21	-0.32	334.0	1.502	0.98	0.38	1.96	1.97	1.88
19	FeI	1146	536.75	4.41	0.23	157.0	0.920	0.98	0.45	1.51	1.38	1.81
20	FeI	15	539.71	0.92	-1.99	239.0	1.426	0.99	0.34	2.12	1.94	2.20
21	FeI	1	522.55	0.11	-4.79	71.3	2.249	0.94	1.22	0.63	0.88	0.71
22	FeI	383	522.69	3.04	-0.77		2.171	1.00	0.37	1.76	1.66	2.09
23	FeI	843	524.25	3.63	-1.00		1.004	1.03	0.79	1.18	1.05	1.21
24	FeI	1089	524.38	4.26	-1.25	63.5	1.509	0.843	1.16	0.70	0.77	0.74
25	FeI	66	525.06	2.20	-2.19	103.5	1.502	1.046	0.76	1.26	1.29	1.42
26	FeI	383	523.29	2.94	-0.10		1.261	0.870	0.34	2.04	1.99	2.25
27	FeI	1258	6291.0	4.71	-0.69	66.1	1.481	0.78	0.73	0.62	0.49	0.85
28	FeI	62	629.78	2.21	-2.74	76.4	0.993	0.92	0.78	0.69	0.70	1.02
29	FeI	816	630.15	3.65	-0.57	136.8	1.669	0.89	0.33	1.26	1.10	1.2
30	FeI	816	630.25	3.69	-1.15	90.8	2.487	0.84	0.47	0.78	0.57	1.04

Примечание. В таблице обозначено: М – номер мультиплета. k_{ϕ} – отношение эквивалентной ширины профиля круговой поляризации данной линии к эквивалентной ширине профиля круговой поляризации линии FeI λ 525.35 нм для фотосферы, k_{λ} – то же для модели тонкоструктурного элемента, $k_{\text{фм}}$ – отношение эквивалентной ширины профиля круговой поляризации данной линии к эквивалентной ширине профиля круговой поляризации линии FeI λ 525.35 нм для фотосферы для щели магнитографа, расположенной на расстоянии 21-56.5 мÅ от центра линии, $k_{\text{лм}}$ – то же для модели тонкоструктурного элемента. Остальные обозначения приведены в тексте.

Здесь следует отметить, что сводка наблюдательных данных приведена для всей совокупности измерений вне пятен. В работах [9-10,21] данные приведены для магнитного поля в невозмущенной атмосфере Солнца, работы [8,23] приводят данные измерений H в факелах, а нами по 4 линиям были получены k_i в активной области вблизи нейтральной линии магнитного поля. Тем не менее, в каждой из этих работ получен рост H с увеличением W, что свидетельствует о схожести физической ситуации в указанных областях атмосферы.

В рамках существующих теорий [24], элементы тонкой структуры в этих образованиях, имея близкие физические параметры, имеют разную концентрацию. Тем не менее, представляет интерес проанализировать зависимость с учетом высказанных замечаний. В том случае, если из рассмотрения исключены данные об измерениях вблизи нейтральной линии поля, параметры связи имеют следующие значения:

$$S_1=0.170, \quad S_2= 0.902, \quad S_3= 0.975, \quad N=24.$$

Налицо некоторое уменьшение разброса значений k_i , небольшой рост коэффициента корреляции и явное уменьшение среднего значения отношения рассчитанных и наблюдаемых k_i . Если использовать только данные [10,21] и ограничиться спектральным диапазоном $514 < \lambda < 540$ нм, то

$$S_1=0.159, \quad S_2= 0.919, \quad S_3= 0.984, \quad N=20.$$

Мы опять таки видим существенно меньшие значения S_2 при очень близких коэффициентах корреляции. При этом, в соотношениях (2-3) только 3 линии дают $k_i > 1$. Вероятно это следствие наблюдаемых у центров магнитоактивных линий инверсий r_v -профиля, которые уменьшают площади их профилей круговой поляризации. Учет этого эффекта предполагает коррекцию рассмотренной модели в сторону увеличения величины

$$\Theta(\tau) = \Theta_p(\tau) + \Delta\Theta, \quad \Theta(\tau) = 5040/ T(\tau),$$

Где $T(\tau)$ – температурное распределение с оптической глубиной τ , $\Delta\Theta(\tau)$ – поправка к модели, $\Theta_p(\tau)$ – зависимость модельного параметра от оптической глубины для модели [6].

Для нашей модели отмечена тесная связь наблюдаемых и рассчитанных коэффициентов k_i . Расчет для модели фотосферы HOLMU для тех же параметров магнитного поля показывает значения

$$S_1=0.586, \quad S_2= 0.780, \quad S_3= 0.118, \quad N= 28,$$

то есть, какая-либо связь наблюдаемых и расчетных коэффициентов k_i практически отсутствует. Рассмотрение данных показывает, что для линий, имеющих эквивалентную ширину меньше, чем линия Fe I λ 525.35 нм, то есть для относительно слабых линий, связь H и W отмечается достаточно уверенно. Но для остальных случаев разброс значений очень большой. Более того, с ростом W этих линий для фотосферной модели наблюдается достаточно явное уменьшение значений k_i .

Выше была рассмотрена связь наблюдаемых и расчетных значений k_i для случая, когда сигнал от спектральной линии был пропорционален эквивалентной ширине параметра круговой поляризации W_v , что соответствует сигналу в схеме лямбдаметра. Нами рассчитаны сигналы магнитографа для случая, когда расстояние центров щелей фотометра от центра линий составляло 38.75 миллиангстрема (21–56.5 миллиангстрема от центра линии), как это было

выбрано в [10]. Расчет для нашей модели в этом случае показывает значения

$$S_1=0.361, \quad S_2=0.937, \quad S_3=0.586, \quad N=28,$$

т. е., связь наблюдаемых и расчетных величин есть, но она явно слабее, чем для W_v . Если же рассматривать аналогичные величины k_i для модели фотосферы HOLMU, для параметров связи имеем

$$S_1=1.042 \quad S_2=0.864 \quad S_3=-0.827 \quad N=28.$$

Налицо достаточно тесная связь, однако она показывает не соответствие наблюдений и расчетов а, наоборот, уменьшение расчетных значений k_i с увеличением их наблюдаемых значений. На наш взгляд, этому есть вполне разумное объяснение. Указанное положение щели фотометра достаточно близко к той части спектральной линии, где максимальным образом проявляется инверсия профиля круговой поляризации r_v . При прочих равных условиях (факторы Ланде большинства используемых в работах линий достаточно близки), глубина и размер области инверсии больше у линии большим отношением коэффициента поглощения в центре линии к коэффициенту поглощения в непрерывном спектре, т. е. как правило, у более сильной линии. Соответственно, и сигнал магнитографа у них будет ближе к нулю, а, в определенных случаях, будет принимать отрицательные значения. Это как раз и будет соответствовать отрицательному коэффициенту корреляции.

В заключение отметим, что рассмотренные особенности связи N и W позволяют определить направление, в котором нужно провести определенную (сравнительно небольшую) коррекцию нашей модели элемента тонкой структуры фотосферы.

Авторы благодарны Н.Н.Барановой за помощь в расчетах и в подготовке рукописи работы.

Работа выполнена при поддержке Программы N 16 Президиума РАН и грантов ДВО РАН 09-I-P7-01, 09-II-CO_02-002, 09-III-A-02-49.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аликаева К.В., Ганджа С.И., Кондрашова Н.Н. и др. Об изменениях фраунгоферовых линий нескольких активных областей в связи со вспышками в период ГСМ // Год солнечного максимума. М., 1981. Ч.2. С. 53-58.
2. Аликаева К.В., Полупан П.Н., Ганджа С.И. и др. К вопросу о фотосферных магнитных полях в области вспышек // Вестн. Киев. ун-та. Астрономия. 1985. №27. С.3-7.
3. Баранов А.В. К вопросу о зависимости наблюдаемой напряженности магнитного поля от эквивалентной ширины линий в солнечной атмосфере // Глобальные вариации Солнца и физика активных областей. Владивосток: Дальнаука, 1993. С. 14-29.
4. Баранов А.В., Баранова Н.Н. О влиянии температурного распределения в солнечной атмосфере на зависимость измеряемой напряженности магнитного поля и эквивалентной ширины спектральных линий // там же. С. 30-54.
5. Баранов А.В., Баранова Н.Н. Зависимость измеряемой напряженности магнитного поля от эквивалентной ширины спектральных линий и ее связь с температурным распределением в солнечной атмосфере // Магнитные поля и активные процессы на Солнце. Владивосток: Дальнаука, 1995. С. 3-15.
6. Баранов А.В., Баранова Н.Н. Особенности модели магнитного поля элемента тонкой структуры солнечной фотосферы, найденные по зависимости магнитного поля от эквивалентной ширины линий. // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 3-14.
7. Боярчук А.А., Саванов И.С. Силы осцилляторов для нейтрального железа и его содержание в атмосфере Солнца // Изв. Крым. Астрофиз. Обсерватории. 1985. Т.70. С.57-128.
8. Ганджа С.И. Измерение солнечных магнитных полей во флоккуле по линиям железа разной силы // Солнечные магнитные поля и корона: Тр.ХIII консультат. совещ. по физике Солнца. Новосибирск: Наука, 1989, С.99-104.
9. Гонасюк С.И., Северный А.Б. Некоторые общие особенности солнечных и звездных магнитных полей // Письма в Астрон. журн. 1983. 9, №2. С.120-124.
10. Гонасюк С.И. Измерения солнечных магнитных полей вне пятен по линиям разной силы // Изв. Крым. астрофиз.обсерватории. 1985. Т.72. С.159-171.
11. Лозицкий В.Г., Цап Т.Т. Эмпирическая модель мелкомасштабного магнитного элемента спокойной области Солнца // Кинематика и физика небесных тел. 1989. 5, №1. С.50-58.
12. Лозицкий В.Г., Барановский Э. А., Осыка О. Б. Магнитные поля в солнечных вспышках: Данные спектрально-поляризационных измерений и полуэмпирические модели // Изв. Крым. астрофиз.обсерватории. 2007. Т.103, №4. С. 167-172.
13. Гуртовенко Э.А., Костык Р.И. Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов. Киев: Наук. думка, 1989. 200 с.
14. Обридко В.Н. Солнечные пятна и комплексы активности. М.: Наука, 1985. 256 с.

15. *Стенфло Я.О.* Мелкомасштабные магнитные поля на Солнце // Проблемы солнечной активности. М.: Мир, 1979. С.73-120.
16. *Caccin B., Severino G.* On the continuum diagnostics of photospheric faculae // *Astrophys. J.* 1979. V. 232, №1. P. 297-304.
17. *Chapman G.A.* New models of solar faculae // *Astrophys. J.* 1979. V.232, №3. P. 923-928.
18. *Keller C.U., Solanki S.K., Steiner O., Stenflo J.O.* Structure of solar magnetic flux-tubes from the inversion of Stokes spectra at disk center // *Astron. and Astrophys.* 1990. V. 233, N2. P.583-597.
19. <http://kurucz.harvard.edu/lineslists.html>
20. <http://ams.astro.univie.ac.at/>
21. *Gopasyuk S.I.* Changes with height of longitudinal magnetic field in active regions // *The Magnetic and Velocity Fields of Solar Active Regions.* ASP conf. Series. 1993. Vol.46. P.24-31.
22. *Holweger H., Muller E.* The photospheric barium spectrum: solar abundance and collision of Ba II lines by hydrogen // *Iyid.* 1974. V.39, N1. P.19-30.
23. *Semel M.* Magnetic fields observed in a sunspot and faculae using 12 lines simultaneously // *Astron. And Astrophysics.* 1981. V.97, N1. P.75-78.
24. *Solanki S.K.* Small-scale solar magnetic fields: an overview // *Space Sci. Rev.* 1993. Vol.31. P.1. 188 p.

УДК 523.62-726

Д.В. Ерофеев

ВАРИАЦИИ ФОРМЫ И СИММЕТРИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ММП В ХОДЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Форма и тип симметрии пространственного распределения мощности низкочастотных флуктуаций ММП изменяются в ходе солнечного цикла. Хотя распределение почти всегда остается существенно трехмерным, вблизи экстремумов цикла степень его симметрии повышается. При высокой активности распределение принимает дискообразную форму, приблизительно симметричную относительно направления минимума дисперсии флуктуаций, причем последнее в это время близко к направлению скорости СВ. В минимумах солнечной активности распределение имеет вытянутую форму, приблизительно симметричную относительно направления максимума дисперсии флуктуаций.

Как хорошо известно, межпланетное магнитное поле (ММП), наряду с регулярной составляющей, содержит сильные флуктуации с широким спектром временных и пространственных масштабов [2,3]. Эффективным инструментом исследования флуктуаций является анализ их ковариационной матрицы. Приведение этой матрицы к главным осям позволяет найти три ортонормированных собственных вектора (СВ), которые дают направления, вариации вдоль которых взаимно не коррелированы. Собственные значения (СЗ) матрицы дают мощность флуктуаций вдоль каждого из этих направлений. СЗ, расположенные в порядке убывания, обозначим L_{MAX} , L_{int} , L_{min} , а соответствующие СВ (главные оси) - \mathbf{E}_{MAX} , \mathbf{E}_{int} , \mathbf{E}_{min} . Долговременные вариации направлений главных осей для флуктуаций ММП низкочастотного диапазона рассматривались нами ранее, и было найдено, что эти направления изменяются в ходе 22-летнего