

*Л.Ф. Лазарева*

## **СВОДКА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СПЕКТРОГРАММ И МЕТОДИКА ИХ ОБРАБОТКИ**

В работе представлен наблюдательный материал – сводка ортогонально-поляризованных спектрограмм, полученных на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 УАФО ДВО РАН по программе «Исследование магнитных полей солнечных пятен». Активные области (АО) с крупными пятнами наблюдались в августе–октябре 1989 г. в хороших атмосферных условиях. Подробно излагается методика расчета I- и V-параметров Стокса. Дан список магнитоактивных линий, для которых определялись эти параметры. Описаны особенности расщепления линий, вычислены и приведены условия выбора наиболее подходящих линий для исследования магнитного поля в АО. Кратко перечислены результаты исследования и список опубликованных работ, в которых были использованы профили параметров интенсивности ( $i$ ) и круговой поляризации ( $rv$ ).

### *ВВЕДЕНИЕ*

В конце 1980-х гг. на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН проводились фотографические наблюдения, которые регистрировались в четвертом порядке спектрографа АСП-20 при обратной дисперсии  $2,57 \text{ мм}/\text{Å}$ . Были получены качественные спектрограммы солнечных пятен с использованием призмы Волластона и поляроидной пластинки  $\lambda/4$ , в результате чего каждый фотоснимок был представлен в виде двух ортогонально-поляризованных спектров круговой поляризации. Использовалась пленка Тип-17, на которой экспозиция фотоснимков определялась в пределах от 2 до 6 с. Пространственное разрешение полученных спектрограмм было порядка  $1''$ . Во время съемки перед щелью спектрографа в горизонтальном направлении размещались

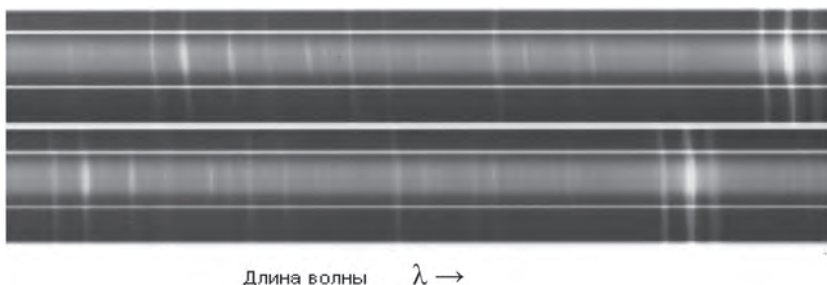


Рис. 1. Фрагмент ортогонально-поляризованной спектрограммы (негатив)

две тонкие нити, которые должны были служить реперами на спектрограммах. На рис. 1 показан фрагмент негатива спектрограммы протяженностью 100 Å. Реперы представлены в виде светлых горизонтальных полос. Обязательно на каждую пленку впечатывался 9-ступенчатый ослабитель, чтобы при обработке можно было перевести исследуемые участки плотностей почернения на спектрограммах в единицы интенсивности.

Цель настоящей работы – отобрать наблюдательный материал, который был снят по специальной программе «Исследование магнитоактивных линий в солнечных пятнах», и подготовить его к анализу.

### НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В настоящей сводке представлены спектрограммы солнечных пятен в диапазонах длин волн  $\lambda\lambda$  6058–6173 и  $\lambda\lambda$  6213–6336 Å. Выбранные диапазоны содержали значительное количество магнитоактивных линий различных химических элементов. В табл. 1 представлен материал, полученный при использовании поляризационной оптики: приведена дата съемки, номер активной области (АО) по бюллетеню «Солнечные данные», площадь наблюдаемого наибольшего пятна в миллионных долях полусферы (м.д.п.),  $r/R$  – положение группы пятен на диске Солнца, где  $r$  – расстояние пятна от центра солнечного диска,  $R$  – диаметр Солнца. В третьем и четвертом столбцах – общее число полученных спектрограмм и выбранный диапазон длин волн (Å).

Таблица 1

## Сводка наблюдательного материала

Дата	N группы Площадь S R/г	Общее число спектров за день	Диапазон $\lambda$ ( $\text{\AA}$ )	Отобранные химические элементы (количество)	Общее число профилей $\gamma_1$ - и $\gamma_V$ -параметров
01.08.1989	289 (СД)	15	6213–6336	Fel(6), Cal(1)	2×26
	824 м.д.п.		6058–6173	Til(3), VI(1)	
	0,57				
02 авг.	289 (СД)	21	6213–6336	Fel(10), Cal(2)	2×40
	580 м.д.п.		6058–6173	Til(3), VI(1)	
	0,46				
03 авг.	289 (СД)	21	6213–6336	Fel(35), Cal(3)	2×363
	578 м.д.п.		6058–6173	Til(10), VI(3)	
	0,43			Si(1), Ni(1), Cr(1)	
04 авг.	289 (СД)	16	6127–6150	Fel(1)	2×6
	528 м.д.п.			Til(2)	
	0,5				
06 авг.	289 (СД)	21	6058–6173	Fel(5), Cal(2)	2×11
	677 м.д.п.		5025–6075	Til(3), VI(1)	
	0,77				
09 авг.	301 (СД)	13	6058–6173	Fel(1)	2×1
	121 м.д.п.		6213–6336		
	0,46				
22 авг.	320 (СД)	17	6058–6173	Fel(1), Cal(1)	2×4
	445 м.д.п.		6213–6336	Til(2)	
	0,74		5590–5713		
05 сен.	338 (СД)	16	6058–6173	Fel(4), Cal(2)	2×9
	1358 м.д.п.		6213–6336	Til(2), VI(1)	
	0,42				
09 сен.	346 (СД)	22	6058–6173	Fel(5), Cal(2)	2×11
	392 м.д.п.		6213–6336	Til(3), VI(1)	
	0,60				
01 окт.	375 (СД)	28	6058–6173	Fel(5), Cal(2)	2×11
	347 м.д.п.			Til(3), VI(1)	
	0,68				

Дата	N группы Площадь S R/г	Общее число спектров за день	Диапазон $\lambda$ ( $\text{\AA}$ )	Отобранные химические элементы (количество)	Общее чис- ло профи- лей $r_1$ - и $r_v$ - параметров
03 окт.	375 (СД)	64	6058–6173	FeI(4), CaI(2)	2×7
	400 м.д.п.			VI(1)	
	0,45				
05 окт.	375 (СД)	25	6058–6173	FeI(5), CaI(2)	2×11
	352 м.д.п.			TiI(3), VI(1)	
	0,51				

### ОТОБРАННЫЙ МАТЕРИАЛ

Из полученного наблюдательного материала были выбраны пятна, имеющие наибольшую площадь на данный день. В основу анализа ортогонально-поляризованных спектрограмм взята группа пятен № 289 (СД), которая проходила по диску Солнца в южном полушарии в начале августа 1989 г.

Спектрограммы большого пятна этой группы отбирались с 1 по 9 августа (кроме дней 5, 7 и 8 августа). В течение этой декады было хорошее качество изображения, дрожание на лучших снимках не превышало 1–2", практически полностью отсутствовал ореол. За

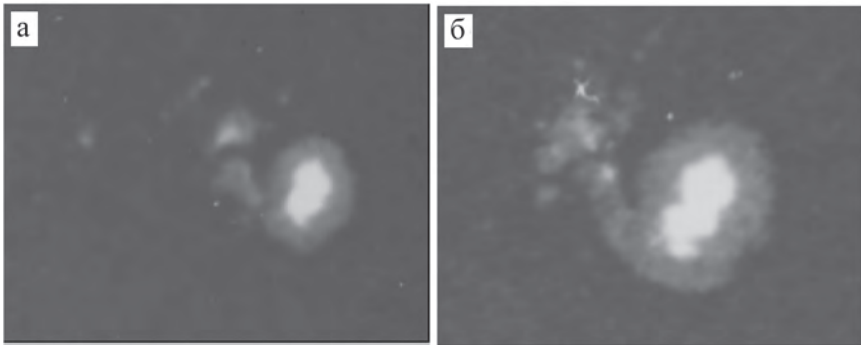


Рис. 2. Группа № 289: а – 2 августа 1989 г., б – 3 августа 1989 г. (негатив)

основу исследования был взят именно этот временной интервал, который дополняли спектрограммы тоже высокого качества, полученные в другое время. При этом дополнительным критерием отбора была отчетливая видимость на протяжении всего спектрального диапазона молекулярных линий в спектре пятна. Третьего августа пятно приближалось к центральному меридиану. Его широта  $\omega = -19^\circ$ . Фото этой группы за два наблюдательных дня представлены на рис. 2.

### *ОТБОР МАГНИТОАКТИВНЫХ ЛИНИЙ*

С помощью магнитоактивных линий изучаются магнитные поля на Солнце и, в частности, в солнечных пятнах. При выборе линий, пригодных для измерения магнитных полей, обычно руководствуются следующими принципами:

а) линия не должна быть блендирована соседними линиями или молекулярными полосами. Нами были проанализированы контуры линий по атласу фраунгоферова спектра. По оригинальным спектрограммам отдавалось предпочтение неблендированным линиям, хотя такие линии встречаются относительно редко;

б) линия должна иметь значительное расщепление в магнитном поле. Это определялось по эффективному фактору Ланде;

в) линия должна иметь простую структуру расщепления или, имея сложную структуру, образовывать компактные группы из  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент;

г) для того чтобы узнать пространственную конфигурацию поля в пятне, необходимо было использовать линии, имеющие различные эффективные высоты образования.

В табл. 2 представлены особенности магнитного расщепления линий, взятых для исследования. Использование поляризационной оптики позволяло разделить компоненты линий, расщепленных в магнитном поле. В столбцах приведены длина волны магнитоактивной линии (в  $\text{\AA}$ ), число  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент в ней (третий и пятый столбцы), компактность групп (четвертый и шестой столбцы) для  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент, определяемая как сумма произведений значений относительной интенсивности компоненты на величину ее магнитного расщепления, рассчитанная автором для каждой компоненты в

отдельности. В последнем столбце дан эффективный фактор Ланде линии. Из этой таблицы видно, какие линии могут быть выбраны для исследования. Были взяты линии железа, титана, ванадия, кальция, хрома, никеля, кремния и другие, у которых компактность групп для  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент была близка к нулю.

Таблица 2

**Расщепление  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент магнитоактивных линий**

№	Линия	Число и компактность				G_eff
		$\pi$ -компонента		$\sigma$ -компонента		
1	TiI6064	1	0,498	1	0	1,99
2	Fel6082	1	0,249	2	0,125	0,9975
3	Fel6089	4	0,264	7	0,017	1,1325
4	TiI6091	1	0,255	1	0	1,02
5	TiI6092	1	0,298	1	0	1,19
6	Fel6094	2	0,171	3	0,006	0,7075
7	TiI6098	4	0,213	7	0,013	0,91
8	CaI6102	1	0,501	1	0	2,002
9	VI6111	1	0	1	0	1,27
10	CaI6122	1	0,313	2	0,188	1,7515
11	Fel6137	2	0,447	3	0,049	1,984
12	Fel6151	3	0,414	5	0,036	1,837
13	Fel6173	1	0,625	1	0	2,499
14	Fel6213	1	0,247	2	0,126	1,9955
15	Fel6219	2	0,268	4	0,073	1,6575
16	TiI6220	1	0,278	1	0	1,11
17	TiI6221	3	0,104	5	0,017	0,83
18	Fel6229	1	0,123	1	0	0,493
19	Fel6230,7	4	0,300	8	0,005	1,2405
20	Fel6232	2	0,451	3	0,048	1,9935
21	SiI6237	2	0,163	3	0,025	0,7505
22	Fel6240	1	0,129	1	0	1,493
23	VI6242	1	0,153	2	0,144	1,3775
24	VI6243	5	0,357	9	0,014	1,535
25	Fel6246	1	0,377	1	0	1,508
26	Fel6256	4	0,051	8	0,121	0,955
27	TiI6258	1	0,263	1	0	1,05

№	Линия	Число и компактность				G_eff
		π-компонента		σ-компонента		
28	TiI6261	1	0,188	1	0	0,75
29	FeI6265	3	0,283	6	0,056	1,579
30	FeI6270	1	0,123	1	0	0,493
31	FeI6271	5	0,184	10	0,094	1,492
32	FeI6280	5	0,268	10	0,047	1,451
33	FeI6290	3	0,080	5	0,033	1,481
34	VI6296	4	0,384	8	0,001	1,549
35	FeI6297	2	0,101	3	0,151	0,993
36	FeI6301	2	0,268	4	0,075	1,669
37	FeI6302	1	0,622	1	0	2,487
38	TiI6303	1	0,188	1	0	0,75
39	NiI6314	4	0,169	7	0,067	1,258
40	FeI6315,3	3	0,215	6	0,032	1,1155
41	FeI6315,8	4	0,123	8	0,084	1,1635
42	FeI6318	4	0,147	7	0,024	0,697
43	FeI6322	4	0,315	7	0,054	1,5055
44	NiI6327	3	0,242	5	0,012	1,029
45	CrI6330	3	0,435	5	0,018	1,834
46	FeI6336	1	0,258	2	0,121	2,0025
47	FeI6338	1	0,255	1	0	1,019

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ I- И V-ПАРАМЕТРОВ

При исследовании магнитных полей удобно анализировать параметры Стокса, которые классически описываются так: I – параметр интенсивности, Q – параметр преимущественной линейной поляризации, U – параметр преимущественной поляризации большой оси эллипса под углом  $+45^\circ$ , V – параметр преимущественной круговой поляризации.

Параметры Стокса однозначно определяют интенсивность и характер поляризации излучения. I- и V-параметры не зависят от системы координат, в которой они рассчитываются, а Q- и U-параметры меняются в зависимости от начала отсчета угла. В случае эффекта

Зеемана V-параметр является нечетной функцией частоты внутри линии. Это связано с противоположным направлением вращения циркулярно-поляризованных компонент. Описание поляризации при помощи параметров Стокса наиболее удобно, поскольку через них легко определяются непосредственно измеряемые величины. Выражаются эти параметры в единицах интенсивности [9, 12].

Напряженность магнитного поля можно было бы просто измерить по расстоянию между  $\sigma$ -компонентами. В большинстве случаев это невозможно сделать из-за малости расщепления по сравнению с шириной линии. Установление перед щелью спектрографа призмы Волластона и поляроидной пластинки  $\lambda/4$  позволяло разделить эти компоненты. Для нас представляют интерес I- и V-параметры, поскольку они, как было замечено выше, не зависят от системы координат.

Определение I- и V-параметров Стокса проводилось следующим образом. Изображение с негатива (см. рис. 1) вводилось в компьютер с помощью сканера Epson Perfection 1650. Достоинством этой модели сканера является то, что у нее есть возможность работы на пропускание. Обычные сканеры, предназначенные для сканирования текстов и графики с листа, работают в режиме отражения, что не подходит для обработки негативов и пленок.

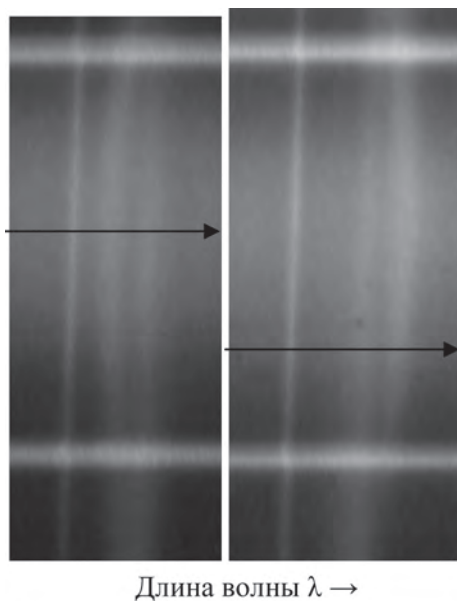
Для работы с пленками в данной модели есть специальное устройство – держатель фотопленки. С его помощью можно сканировать прозрачные оригиналы, как в нашем случае 35-мм негатив. Далее, когда пленка уложена, необходимо непосредственно ее отсканировать. Для этого использовалось программное обеспечение – драйвер Epson Twain, с помощью которого можно просмотреть изображение перед сканированием и затем в ручном режиме откорректировать его. Недостатком программного обеспечения прибора является то, что в режиме предварительного просмотра невозможно выделить нужную область сканирования. Поэтому в дальнейшем приходилось оцифровывать все изображение целиком, что занимало довольно много времени.

Качество изображения, которое получалось после сканирования, зависело от выбранного разрешения. В нашей работе этот параметр является одним из важных. Мы использовали пленку с разрешением



100 линий на 1 мм, или 2500 линий на дюйм. Эта величина является тем порогом, ниже которого может потеряться информация при вводе негатива в сканер. Такое разрешение нужно для того, чтобы затем четко определить границы выделяемого кадра с отобранной для дальнейшей обработки данной линией. Возможности сканера позволяют сканировать с разрешением 3200 dpi, но не более, так как это не дало бы улучшения качества. Для дальнейшей обработки ортогонально-поляризованных спектрограмм использовался графический редактор PhotoShop, с помощью которого в каждом из поляризованных спектров вырезались кадры с линией и реперами для их дальнейшего со-вмещения. Иногда в кадр включались теллурические линии кислорода, если они отстояли недалеко от исследуемой линии. Они располагались вертикально, имели узкий профиль и служили очень хорошим репером при наложении. Если же кислородных линий поблизости не было, то за вертикальный репер принимался профиль самой линии в невозмущенной фотосфере, в которой магнитное поле практически отсутствовало. На рис. 3 в качестве примера представлены оба вырезанных ортогонально-поляризованных кадра.

При оцифровке плотностей почернения кадров мы воспользовались программой Winspec-32. Эта программа, разработанная в Принстонском университе-



*Рис. 3.* Образец ортогонально-поляризованных кадров с включением только одной исследуемой линии Fe I 6302 Å (негатив). Реперы: вдоль дисперсии – вверху и внизу две светлые горизонтальные полосы; слева – четко видна узкая теллурическая линия. Черная стрелка слева – разрез в центре ядра пятна, справа – разрез в полутени пятна

те, написана специально для обработки и анализа спектров, полученных в цифровом виде с фотокамер. Работает она под операционной системой Microsoft Windows с файлами формата \*.tif. Разрешающая способность для двумерного цифрового массива выбиралась так, чтобы на профилях параметров Стокса не просматривалась зернистость пленки. С этой целью изображение, полученное в графическом редакторе PhotoShop, затем незначительно загрублялось и переносилось в программу Winspec-32. При открытии файла на экране компьютера отображалось его содержимое (кадр) и курсор, указывающий место, откуда снимались показания плотности почернения и координаты, которые были представлены цифрами в нижней части окна. Опция «График» программы Winspec-32 сразу показывала профиль линии с оцифрованными значениями по вертикальной и горизонтальной осям. Это позволяло предварительно оценить результат промежуточной обработки кадров.

Для перевода плотностей почернения в интенсивности использовалась характеристическая кривая. Аналитический вид ее (уравнение) затем вводился в программу расчета. Она строилась по нескольким ослабителям, которые впечатывались на эту же пленку с разной экспозицией. Вдоль всей высоты щели спектрографа освещение пленки не было строго одинаковым, а щели щели были не идеально параллельны между собой. Чтобы устранить ошибку из-за неоднородности ее освещения, в расчетах использовалась не абсолютная, а относительная интенсивность  $r = I_{\lambda}/I_{\lambda,0}$ , то есть интенсивность по отношению к интенсивности рядом расположенной невозмущенной области, или так называемая остаточная интенсивность.

Программа автоматически выводила информацию об относительных интенсивностях всего кадра в виде двумерной таблицы данных. Ее очень удобно использовать при обработке спектров. Сделав один раз такую таблицу-массив для отдельно взятой линии, ее можно применять в разного рода исследованиях. При анализе магнитного поля и поля скоростей в центре пятна мы ограничивались одним разрезом, а при исследовании областей полутени пятна брали 8–16 разрезов.

I-параметр в любой точке пятна определялся как **полусумма** относительных интенсивностей, рассчитанных для точек на обоих кадрах, находящихся в одном и том же месте активной области. Что-

бы определить их местоположение и надежно совместить оба кадра, использовались вышеупомянутые реперы, для которых по этой программе легко определялись координаты. Так осуществлялось наложение друг на друга обеих таблиц-массивов. V-параметр определялся как **полуразность** относительных интенсивностей соответственно.

В проводимых исследованиях можно было легко выделить не только отдельную точку в активной области, но и произвести, как указывалось выше, разрез вдоль дисперсии (влево и вправо от центра выбранной линии) в любом районе АО и получить профили  $r_i$ - и  $r_v$ -параметров Стокса в ядре пятна и в его полутени.

В табл. 1 в предпоследнем столбце представлены линии химических элементов, которые были отобраны при расчете I- и V-параметров. В последнем столбце указано число построенных  $r_i$ - и  $r_v$ -профилей на день получения спектрограммы.

### *ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ $r_i$ - И $r_v$ -ПАРАМЕТРОВ СТОКСА*

Итак, программа обработки данных была составлена таким образом, чтобы можно было рассчитать I- и V-параметры и построить профили остаточной интенсивности ( $r_i$ ) и профили остаточной круговой поляризации ( $r_v$ ) параметров Стокса. На рис. 4 в качестве примера представлены профили  $r_i$ - и  $r_v$ -параметров, вычисленные для центра наибольшего пятна в группе № 289 за 2 августа 1989 г. На рис. 5 представлены профили  $r_i$ - и  $r_v$ -параметров, полученные для линии FeI 6302 Å за 2 августа 1989 г. в разные моменты времени, отличающиеся на 9 минут.

По отобранным ортогонально-поляризационным спектрограммам были рассмотрены линии с простым и сложным расщеплением на разных уровнях солнечной атмосферы в указанных выше диапазонах. Определены градиенты магнитного поля ( $dH/dz$ ) и доплеровские скорости ( $V_d$ ) в ядре и полутени пятна. Исследована асимметрия профилей  $r_i$ -параметра интенсивности и  $r_v$ -параметра круговой поляризации линий. Проведено сравнение  $r_i$ - и  $r_v$ -параметров в ядре и полутени пятна с теоретическими расчетами для этих линий. Выявлена тонкая

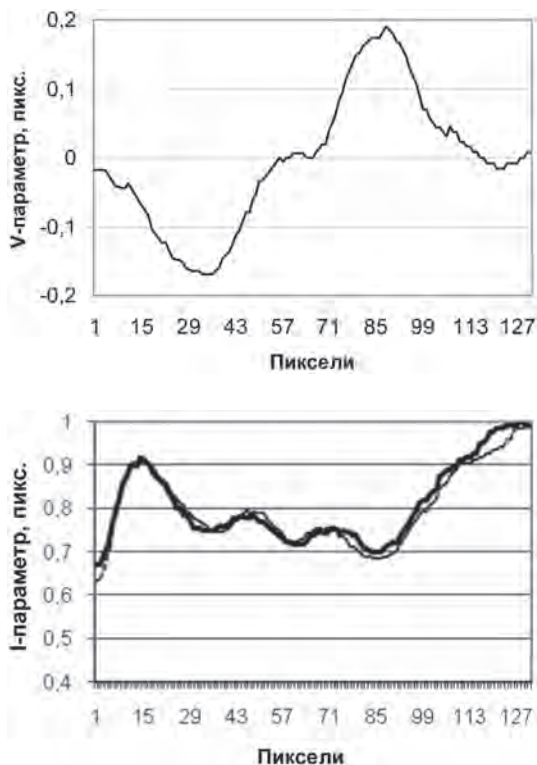


Рис. 4. Профили  $v_{\tau}$ - и  $i_{\tau}$ -параметров, рассчитанные для линии FeI 6302 Å за 2 августа 1989 г. (03h14m UT), разрез в центре пятна

структура в ядре пятна. Ниже кратко приводятся результаты исследования.

При измерении магнитных полей ( $H$ ) солнечных пятен по различным линиям поглощения преследуются в основном две цели: определение вертикального градиента магнитного поля ( $dH/dz$ ) и изучение неоднородностей в горизонтальной плоскости. В большинстве работ, посвященных этим вопросам [10, 11], исследователи отдают предпочтение магнитоактивным линиям с простой триплетной структурой и большим фактором Ланде, хотя иногда используются линии с многокомпонентным магнитным расщеплением [13]. В последнем случае всегда есть сложности в определении  $H$  как при теоретических расчетах параметров Стокса исследуемых линий, так и с прямыми измерениями положения  $\sigma$ -компонент. Мы показали [1], что измерение  $H$  у линии со сложным расщеплением имеет ряд особенностей, которые необходимо знать для получения правильных значений поля. После их учета в диапазоне эффективного образования линий изменение  $H$  с высотой минимально и хорошо согласуется с градиентами поля, полученными из уравнения  $\text{div } \mathbf{H} = 0$ . По нашим расчетам, величина  $dH/dz$  в среднем по всему диапазону высот составляет 0,4 Э/км [1].

Были исследованы аномалии профилей круговой поляризации  $\gamma_v$  и интенсивности  $\gamma_i$  в ядре и полутени солнечного пятна. При этом использовались два подхода [2, 3]. Первый – выбор линий с максимальным видимым расщеплением, который дает возможность детального анализа профилей  $\gamma_v$  и  $\gamma_i$ , и, насколько нам известно, ранее не применялся для изучения доплеровских смещений в пятнах. Второй – использование линий, находящихся в непосредственной близости от теллурических линий, что заметно повышает точность совмещения профилей линий в паре ортогонально-поляризационных спектров и увеличивает надежность определения лучевых скоростей  $V_d$ . Асимметрия параметров  $\gamma_v$  и  $\gamma_i$  может быть объяснена предположением наличия в верхних слоях потоков вещества с характерными скоростями.

В процессе анализа было обнаружено [4], что в полутени пятна  $\gamma_i$ - и  $\gamma_v$ -профили показывают картину, не соответствующую симметрии  $\gamma_i$ - и антисимметрии  $\gamma_v$ -профилей по теории образования линий. Наблюдательные данные позволяют предположить, что в полутени пятна присутствует компонент с небольшим магнитным полем и значительными лучевыми скоростями. В полутени  $V_d \sim 2$  км/с, типичные

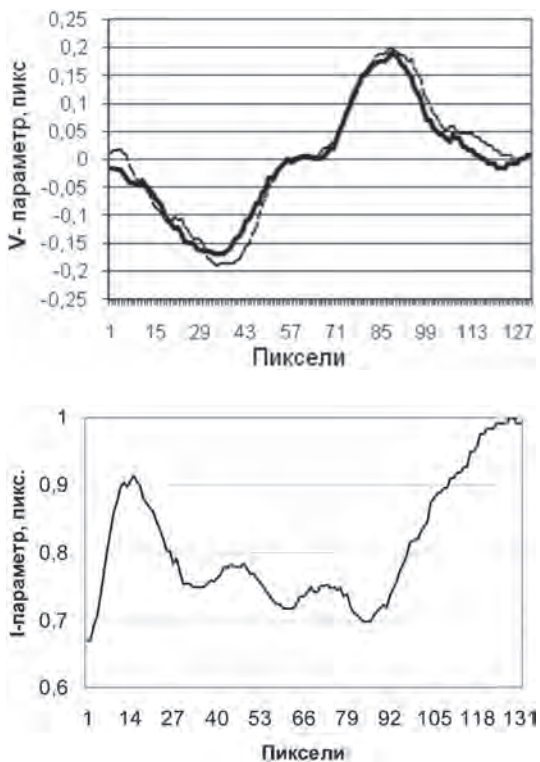


Рис. 5. Сравнение профилей  $\gamma_i$ - и  $\gamma_v$ -параметров для двух моментов времени. Разрез в центре пятна за 2 августа 1989 г.: сплошная линия для момента времени – 03<sup>h</sup>14<sup>m</sup> (UT), пунктирная – 03<sup>h</sup>05<sup>m</sup> (UT)

для эффекта Эвершеда значения. Наиболее надежная линия FeI 6302 Å уверенно показывает значения  $V_d = 2,5\text{--}2,9$  км/с. Общая картина – это явная связь найденных потоков вещества, кроссовер-эффекта и эффекта Эвершеда, то есть существует наложение и, возможно, взаимодействие трех типов вещества с разными  $H$  и  $V_d$ .

При исследовании профилей  $r_v$  и  $r_i$  другой линии FeI 6270 Å в спектре солнечного пятна обнаружено несколько потоков. Первый поток в полутени характеризуется скоростями подъема около 1 км/с. Второй имеет особенности, близкие к классическому эффекту Эвершеда со скоростями 2,0–3,7 км/с. Третий поток направлен в противоположную сторону и имеет характерные скорости движения от 4,4 до 5,5 км/с. И, наконец, есть указания на поток того же знака, что и эвершедовские движения, но имеющий скорости 6,5–7 км/с. В пятне также обнаружены области с малым магнитным полем  $H$  и большими скоростями  $V_d$  [5].

Как указывалось выше, при измерении  $H$  и  $V_d$  большинство исследователей физических условий в солнечной атмосфере предпочитают брать спектральные линии с большим фактором Ланде. Однако подобный выбор является не всегда оптимальным. Так, для широко используемых линий FeI 5250 Å и FeI 6302,5 Å в магнитографических измерениях  $H$  возникают определенные сложности использования калибровочной кривой из-за смещения точки максимальной крутизны профиля линии по отношению к щели магнитографа. По той же причине возникают неопределенности измерения  $V_d$ . В ряде случаев предпочтительнее использовать линии с малым фактором Ланде ( $\lambda$  6093,65 Å и  $\lambda$  6094,67 Å). Они принадлежат одному мультиплету и имеют самые маленькие факторы Ланде. Мы провели сравнение экспериментальных и теоретических  $r_v$ -профилей для тени солнечных пятен. Было выполнено численное интегрирование системы уравнений переноса излучения в линиях с учетом аномальной дисперсии для моделей пятен Книра, Мое-Малтби и Стельмаха-Вира. Несмотря на заметные различия факторов Ланде, расстояние максимума  $r_v$ -профиля от центра линии примерно одинаково. При малых расщеплениях спектральной линии в условиях солнечной атмосферы положение максимума  $r_v$ -профиля слабо зависит от напряженности и угла наклона силовых линий магнитного поля и в основном определяется значением доплеровской полуширины линии [6].

Для четырех спектральных линий железа, двух линий кальция, одной линии титана и одной линии ванадия в диапазоне длин волн  $\lambda\lambda$  6050–6180 были выполнены решения системы уравнений переноса излучения с учетом аномальной дисперсии [7]. Использовалась модель солнечного пятна Книра [13]. Расчет велся для значений напряженности магнитного поля от 2500 до 3500 Э. Углы наклона силовых линий полагались равными 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°. Проведенные расчеты показали, что  $r_v$ -профили круговой поляризации триплетных и квазитриплетных линий со значительными эффективными факторами Ланде ( $g \sim 2$ ) и компактными группами  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент имеют дисперсии вблизи центров линий, независимо от того, какому элементу с каким атомным весом они принадлежат. Было установлено, что инверсия  $r_v$ -профиля есть у всех линий и, возможно, амплитуда ее связана не только с величиной  $H$ , углом наклона к лучу зрения и структурами расщепления, но и с эквивалентной шириной линии. И если для линий с умеренной эквивалентной шириной мы провели достаточно полные оценки инверсий  $r_v$ -профилей, то для сильных линий, на наш взгляд, необходимы дополнительные исследования [8]. Обнаружена особенность формы  $r_v$ -профилей линий, не имеющих центральных  $\pi$ -компонент, которая, несомненно, нуждается в отдельном анализе. Она может оказаться полезной в изучении действия аномальной дисперсии на линии, поскольку проявляется в части профилей спектральных линий, менее подверженных искажениям формы из-за действия рассеянного из фотосферы света, чем их центры.

Нами была отобрана только малая часть фотографического материала, который получен на АЦУ-5 горизонтального солнечного телескопа УАФО ДВО РАН. Большая часть ортогонально-поляризованных спектрограмм ждет дальнейших исследований.

Выражаю искреннюю благодарность С.Г. Можаровскому за полезные советы при прочтении рукописи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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, вып. 9).

2. Баранов А.В., Баранова Н.Н., Лазарева Л.Ф. Особенности кроссовер-эффекта в полутени солнечного пятна // XII Пулковская международная конференция по физике Солнца. СПб. 7–12 июля 2008 г. Труды. 2008. С. 27–31.

3. Баранов А.В., Баранова Н.Н., Лазарева Л.Ф. Особенности кроссовер-эффекта в полутени солнечного пятна. Результаты наблюдений // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 13–23. (Тр. УАФО, вып. 11).

4. Баранов А., Баранова Н.Н., Лазарева Л.Ф. Анализ асимметрии профилей магнитоактивных линий в спектре солнечного пятна // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 24–35 (Тр. УАФО, вып. 12).

5. Баранов А.В., Лазарева Л.Ф. Лучевые скорости, найденные по магнитоактивным линиям в спектре солнечного пятна // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 11–20. (Тр. УАФО, вып. 12).

6. Баранов А.В., Лазарева Л.Ф. Анализ профилей круговой поляризации линий Fe I  $\lambda\lambda$  609,37 и 609,42 нм в спектрах солнечных пятен // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 17–29. (Тр. УАФО, вып. 13).

7. Баранов А.В., Лазарева Л.Ф., Можаровский С.Г. Инверсия наблюдаемых профилей круговой поляризации в спектральных магнитоактивных линиях различных элементов // Всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика-2011». СПб, 2–8 октября 2011 г. Труды. 2011. С. 109–113.

8. Баранов А.В., Лазарева Л.Ф., Можаровский С.Г. Инверсии профилей круговой поляризации в спектральных магнитоактивных линиях различных элементов // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 30–43. (Тр. УАФО, вып. 14).

9. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна. М.: Мир, 1967. С. 221.

10. Гусейнов М.Дж. Определение напряженности магнитного поля по разным линиям поглощения // Изв. КрАО. 1969. Т. 39. С. 253–264.

11. Обридко В.Н. Солнечные пятна и комплексы активности. М.: Наука. 1985. С. 256.

12. Шерклифф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965. С. 34–35.

13. Kneer F. Profiles of Magnetically Split Lines in Sunspots // Astron. and Astrophys. 1972. Vol. 18. № 2. P. 47–50.