

УДК 523.98

И. П. Турова

Колебания в быстроразвивающемся солнечном пятне по измерениям линий H и K Ca II

Колебания скорости и яркости в тени пятна измерены по хромосферным линиям H и K Ca II. Спектры мощности, полученные в девяти точках вдоль тени пятна, показывают преобладание колебаний с периодом 5 мин в одной части тени и наличие колебаний с периодами около 3 мин и 80 с в другой. Изучаемое явление, вероятно, представляет собой промежуточный процесс между «вспышками в тени» и хромосферными колебаниями скорости.

OSCILLATIONS IN THE RAPIDLY DEVELOPING SUNSPOT FROM MEASUREMENTS OF H AND K Ca II LINES, by Turova I. P.—Velocity and intensity oscillations in the sunspot umbra were measured in the Ca II H and K chromospheric lines. Power spectra calculated for nine spatial locations along the umbra show the predominance of 5-minute oscillations in one part of umbra and the presence of oscillations with periods around 3 min and 80 s in the other part of umbra. The studied phenomenon seems to represent an intermediate process between umbral flashes and chromospheric velocity oscillations.

Введение. Колебания в пятнах изучаются уже в течение почти 20 лет, начиная с пионерской работы [9], в которой авторы анализировали поведение во времени явления, названного ими «вспышками в тени» (*Umbral Flashes*, далее *UF*). С тех пор исследования колебаний ряда параметров — интенсивности, скорости, магнитного поля — проводятся разными методами и на различных высотах в атмосфере Солнца, начиная с фотосферы и кончая переходной областью между хромосферой и короной. Диапазон анализируемых частот колебаний в основном сводится к двум полосам — вблизи 3 и 5 мГц, хотя в нескольких работах найдены и другие периоды колебаний. Например, авторы [21] обнаружили периоды колебаний скорости на уровне фотосферы около 100 и 65 с, а в [22] найдены периоды приблизительно 450, 300, 180, 65 с. Колебания с периодом около 3 мин скорости в фотосфере пятна рассматривались во многих работах (например, [8, 22]). Колебания с периодом около 5 мин в тени пятна на уровне фотосферы обнаружены в [8], но существовала вероятность искажения данных рассеянным светом спокойной фотосферы. При использовании методов, исключающих влияние колебаний фотосферы (например, при выборе температурно-чувствительных линий, как в [10]), достоверно установлено, что колебания с периодом около 5 мин реально существуют в фотосфере пятен [20]. По результатам некоторых авторов [24, 25], колебания с периодами 5 и 3 мин одновременно существуют в тени, а в работе [21] наблюдалось попеременное появление периодов около 180 и 300 с. По наблюдениям [7], имеются локальные максимумы колебаний в пределах тени, причем обнаружены колебания только с периодом около 5 мин.

Хромосферные колебания тени исследовались в работах [8, 31 и др.]. Среди колебательных явлений, изучаемых в хромосфере пятна, выделяются несколько типов: колебания скорости, *UF*, «вспышки в светлом мосте», «клубы дыма». Согласно [19], *UF* и колебания скорости — это разные проявления одного и того же процесса, различаемые по мощности. Спектры мощности, по данным [15, 25], имеют сходную форму для индивидуальных точек внутри тени, в то время как в работах [16, 28] авторы наблюдали отдельные колеблющиеся элементы с различными периодами колебаний. Колебания с периодом около 5 мин скорости на уровне хромосферы, значительно ослабленные по сравнению с фотосферными, найдены в [5], колебания яркости — в [17]. В переходной области между хромосферой и короной изучались [13] колебания с периодом 3 мин скорости и яркости по линии C IV λ 154.819 нм. В [14] найдены колебания скорости и интенсивности с периодами около 3 мин только в пределах тени пятна. Одновременные наблюдения на нескольких высотах в атмосфере Солнца, по-

звolyающие по фазовым и амплитудным соотношениям исследовать вертикальную структуру колебаний, выполнены в [26, 29]. Две основные теории колебаний в пятнах развиваются в [23, 27], с одной стороны, и в [12, 32] — с другой.

Наша задача — исследовать колебания в хромосфере над тенью пятна в различных положениях на диске Солнца (от центра к краю) с тем, чтобы рассмотреть изме-

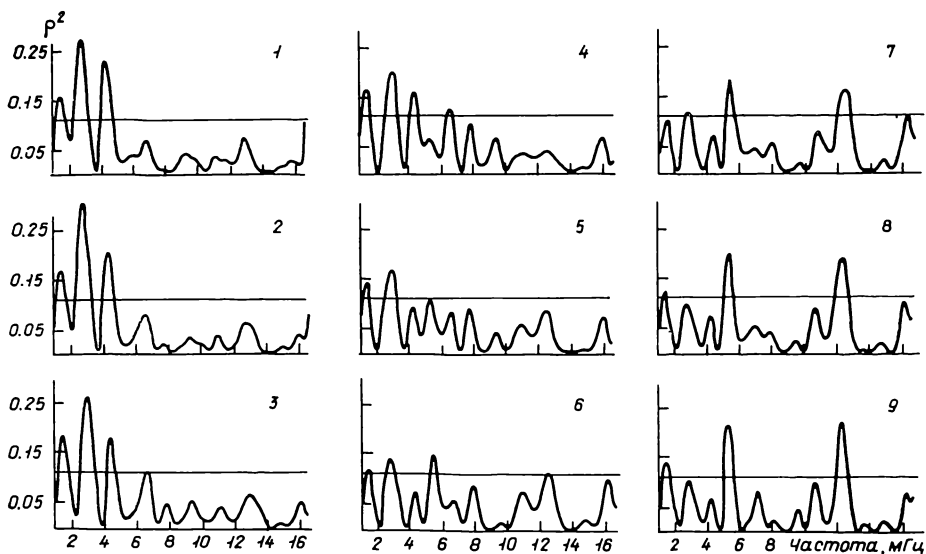


Рис. 1. Спектры мощности параметра $\Delta\lambda_m$ для девяти точек вдоль тени пятна. Горизонтальная линия проведена на уровне $P \geq 0.9$ (P — вероятность неслучайного отличия амплитуды колебаний от нуля)

нения характера колебаний, значений амплитуд, фазовых соотношений между скоростью и яркостью по линиям H и K Ca II. Это продолжение наших исследований, начатых в [28].

Материал наблюдений. Пятно — лидер группы № 182 по бюллетеню «Солнечные данные» — фотографировалось 28 мая 1982 г. на автоматизированном солнечном горизонтальном телескопе Саянской обсерватории. Диаметр изображения Солнца на щели спектрографа 180 мм, дисперсия в VI порядке 36.8 мм/нм. Применялась эмульсия ORWO WU-2. Координаты пятна S 04 E 36 ($\sin \vartheta = 0.59$), время наблюдений UT 9^h11^m — 9^h31^m. Временная серия состояла из 42 спектрограмм в области линий H и K . Время экспозиции 7.5 с, интервал между экспозициями 30 с, но было два небольших сбоя в этом интервале, обусловленных техническими причинами. Во время наблюдений осуществлялись гидирование и компенсация за вращение Солнца. Качество изображения было не очень хорошее ($\approx 3''$), но визуальный просмотр пластинок показал их пригодность для фотометрической обработки. Кроме того, в синем крыле линий H и K встречались локальные поярчения, напоминающие UF . Поскольку внешний вид UF вдали от центрального меридиана может быть не такой, как в центре диска, было интересно изучить особенности данного явления и попытаться отождествить его. Другая причина выбора спектрограмм состояла в том, что группа № 182 появилась на диске за два дня до наблюдений (26 мая 1982 г.) и быстро эволюционировала. В день наблюдений это была развитая группа цюрихского класса E, хотя фотографируемое пятно имело все же довольно правильную форму. В этот день (UT 1^h11^m) в группе произошла вспышка мощностью 2B.

На щель спектрографа процировалось пятно (участок тени составлял примерно 12'') и окружающие его области солнечной атмосферы. Фотометрирование тени пятна выполнялось с помощью микроденситометра АМД-1 при размерах щели 1.6 × 0.1 мм и увеличении 16. В каждой линии (H и K) отдельной спектрограммы выполнены 11 разрезов в тени пятна вдоль дисперсии. Расстояние между разрезами около 1''. Привязка положения разреза в тени пятна осуществлялась по волосистой полоске, впечатанной в спектрограмму. Наши разрезы 4—6 захватывали наиболее темную часть пятна в хромосфере.

В качестве эталонов длин волн использовались фотосферные линии поглощения (Fe I $\lambda\lambda$ 393.263 54, 393.531 33, 393.582 13, 396.742 95, 396.926 48, 397.039 58 нм; Co I λ 393.597 58 нм; Cr I λ 396.975 00 нм). Так как в тени пятна эти фотосферные линии недодержаны, то для определения центров исследуемых линий выполнены разрезы в «спокойной» области, окружающей пятно (по три разреза с каждой стороны

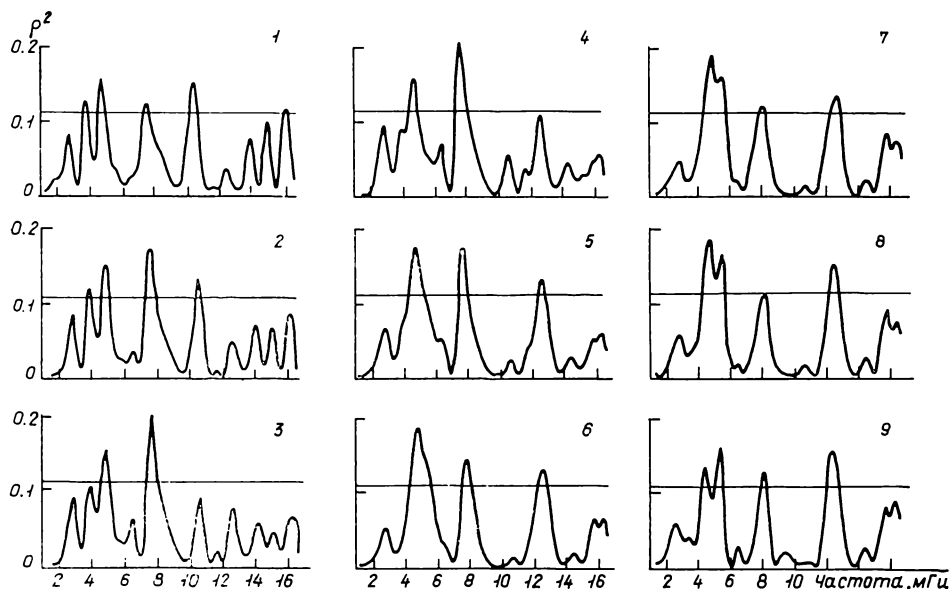


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для параметра I_m для тех же точек в тени

пятна), которые включают исследуемую и реперные линии. Расстояние между разрезами в «спокойной» области — около $2''$. При последующей обработке вычисленные центры исследуемой линии усреднялись в каждой из «спокойных» областей для того, чтобы свести к минимуму возможные вариации поля скорости в невозмущенной фотосфере. Центр исследуемой линии для каждого разреза в тени пятна определялся путем интерполяции. Полученные контуры линии сглаживались и переводились в интенсивности по характеристическим кривым. Привязка интенсивностей линий H и K в тени в единую систему проводилась по центральным интенсивностям этих линий в наиболее спокойном участке соседней с пятном области.

Статистическая обработка. В качестве аппарата спектрального анализа использовался коррелоопериодограммный анализ [1]. Для статистического анализа колебаний выбраны два параметра контура линии — доплеровское смещение $\Delta\lambda_m$ ядра линий H и K и вариации центральной остаточной интенсивности I_m . Поскольку оказалось, что изменения от разреза к разрезу для обоих параметров весьма плавные и очень близки для линий H и K , то данные были сглажены скользящим средним по три разреза, а затем взяты средние значения данных по линиям H и K . Это соответствует реальному разрешению снимков. В результате выполненных операций по сглаживанию анализировались временные изменения параметров контура в девяти точках вдоль тени пятна. В исходных данных для доплеровских смещений предварительно устранялся параболический тренд. Что касается данных по центральной остаточной интенсивности, то там имеется скорее гармоническая низкочастотная составляющая, значительно более мощная, чем высокочастотные колебания, которая дает пик мощности в спектре с периодом примерно 1360 с. Причина ее появления не совсем ясна. Возможно, это какие-то изменения в фотометрической системе в процессе работы. Гармонический компонент из исходных данных исключался.

Результаты. На рисунках 1, 2 представлены коррелоопериодограммы (аналоги спектров мощности), полученные для девяти точек в тени пятна, соответственно для параметров $\Delta\lambda_m$ и I_m . Обращает на себя внимание то, что колебания вдоль тени пятна неоднородны. На рис. 1 видно, что в точках тени 1—4 преобладают пики в полосе около 5 мин, постепенно уменьшающиеся от точки к точке, и на разрезах 6—9 более мощные пики уже находятся в полосе 3 мин. Кроме того, в последних точках

наблюдается значительный пик с периодом $T \approx 80$ с. Спектры мощности для центральной остаточной интенсивности имеют некоторые отличия, но характер изменений вдоль тени для T , равного 300, 180 и 80 с, один и тот же.

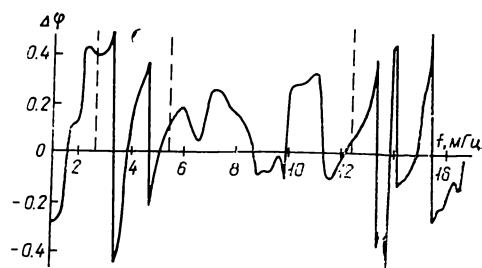
В таблице для параметров $\Delta\lambda_m$, I_m приведены значения периодов, для которых вероятность неслучайного отличия амплитуды колебаний от нуля $P \geq 0.9$ (горизонтальная линия на рисунках 1, 2). Здесь T — период колебаний; A — средняя квадратичная амплитуда колебаний; φ — фаза колебаний, отнесенная к моменту времени

Результаты статистического анализа

Номер точки	Скорость $\Delta\lambda_m$				Интенсивность I_m			
	T , с	P	A , км/с	φ	T , с	P	A	φ
1					62	0.907	0.072	-0.18
					94	0.960	0.087	0.20
					130	0.924	0.081	0.22
	221	0.994	0.43	-0.41	200	0.965	0.090	0.16
	328	0.998	0.48	0.23	256	0.930	0.081	-0.09
				(341)	0.811	0.066	-0.19	
2					94	0.942	0.094	0.18
					130	0.977	0.105	0.24
	228	0.930	0.42	0.48	205	0.964	0.098	0.12
	341	0.999	0.51	0.14	256	0.921	0.087	-0.09
	683	0.976	0.41	-0.11	(341)	0.836	0.075	-0.20
3					130	0.988	0.127	0.26
	152	0.907	0.31	0.21	205	0.965	0.110	0.13
	228	0.982	0.39	0.48	(341)	0.845	0.084	-0.21
	328	0.998	0.47	0.20				
	683	0.983	0.42	-0.13				
4	(128)	0.860	0.29	-0.50	130	0.989	0.144	0.27
	152	0.924	0.34	0.17				
	228	0.967	0.38	0.45	205	0.966	0.125	0.14
	328	0.988	0.43	0.18	(356)	0.855	0.097	-0.28
	683	0.973	0.41	-0.15				
5					80	0.936	0.131	0.40
	(128)	0.848	0.28	0.50	130	0.977	0.151	0.27
	186	0.900	0.32	0.41	210	0.978	0.150	0.09
	341	0.974	0.39	0.12				
	745	0.952	0.38	-0.25				
6	80	0.906	0.35	0.38	80	0.941	0.145	0.40
	(128)	0.838	0.30	0.48	128	0.959	0.153	0.33
	186	0.961	0.41	0.38	210	0.984	0.170	0.09
	372	0.950	0.39	0.02				
	745	0.914	0.37	-0.25				
7	80	0.971	0.43	0.40	80	0.948	0.148	0.36
					126	0.921	0.139	0.38
	186	0.981	0.47	0.36	186	0.968	0.160	0.25
					216	0.984	0.170	0.05
	372	0.917	0.37	0.02				
8	81	0.985	0.48	0.36	81	0.962	0.146	0.33
					124	0.900	0.124	0.42
	186	0.988	0.50	0.34	186	0.971	0.153	0.24
					221	0.982	0.158	0.02
	683	0.928	0.41	-0.11				
9	81	0.993	0.55	0.39	80	0.971	0.140	0.41
					124	0.939	0.127	0.42
	186	0.992	0.57	0.31	186	0.971	0.143	0.23
					228	0.944	0.128	0.01
	683	0.953	0.47	-0.09				

$t=0$ (выраженная в долях пробного периода $-0.5 T < \varphi < +0.5 T$). В одной и той же строке таблицы для скорости и интенсивности помещены значения периодов, которые в пределах частотного разрешения совпадают друг с другом. Например, пики в полосе 5 мин (328 и 341 с) в первом разрезе относятся к одному и тому же периоду (в этой области частот разрешение составляет ± 30 с). Заключенные в скобках значения периодов относятся к пикам, хотя и присутствующим в спектре, но вероятность которых ниже принятого уровня значимости ($0.8 < P < 0.9$). В спектрах мощности для скорости имеется пик около 700 с. Возможно, он вызван неустраненным

Рис. 3. Разность фаз между скоростью и интенсивностью в зависимости от частоты, выраженная в долях пробного периода. Вертикальными штриховыми линиями показаны частоты, на которых в спектрах мощности имеются пики как для скорости, так и для интенсивности



трендом в данных. Параметр I_m показывает дополнительно пики с периодами примерно 90, 130 ± 5 и 205 ± 15 с. Колебания с периодом около 130 с видны во всех выбранных точках тени, в то время как колебания с периодами примерно 90 и 200 с существуют в различных частях тени. Средние квадратичные амплитуды колебаний параметра $\Delta \lambda_m$ невелики (0,42 км/с), хотя отдельные смещения $\Delta \lambda_m$ достигают 1,5 км/с.

На рис. 3 показаны разности фаз между параметрами $\Delta \lambda_m$ и I_m (в долях пробного периода) в зависимости от частоты. Можно отметить, что в областях 180 и 80 с разность фаз мала и положительна, а в области 300 с разность фаз достигает примерно 0,35 T .

Обсуждение и выводы. Линии H и K — оптически толстые, и вопрос об интерпретации доплеровских смещений для них очень непросто. Поэтому при исследовании колебательных процессов в хромосфере тени пятен наблюдатели в последнее время предпочитают выбирать линии, свободные от недостатков линий $Ca II$. Так, авторы [15, 29] отказались от попыток определения скоростей по доплеровским сдвигам ядер линии K и линии из ИК-триплетта λ 854,2 нм, но использовали для этой цели оптически толстую линию H_α . В [17] изучались колебания по линии $He I$ λ 1083,0 нм; в [11] исследовались временные серии наблюдений контура линии k $Mg II$ λ 279,552 нм. К сожалению, среди всех этих линий нет ни одной, которая была бы пригодна без всяких оговорок. Для линий H , K и H_α доплеровские смещения не связаны однозначно с полем скорости. Если в линиях H и K имеется центральное самообращение, как бывает, когда линия в тени наблюдается далеко от центра диска, то возникает вопрос даже о направлении движения [6]. В центре диска, где центрального самообращения в этих линиях нет, линии $Ca II$ и H_α находятся в равном положении по трудностям интерпретации. Поэтому отказ авторов [15, 29] от использования доплеровских смещений линий H и K и применение ими H_α не выглядит последовательным [2]. Линия $He I$, выбранная в [17], является эффективно оптически тонкой, но не определена высота ее образования [11]. Для линии k $Mg II$ хорошо известна высота образования, но вопрос о ее оптической толщине остается открытым. Авторы работы [18] полагают, что резонансные линии $Mg II$ не являются эффективно оптически тонкими. В нашем случае контуры линий H и K одновершинные, поэтому нет ошибки в определении направления движения. Тем не менее к значениям скорости, полученным по линиям H и K , следует относиться с известной осторожностью. В [3] на основе модельных расчетов показано, что измеренные в пятнах доплеровские смещения при некоторых принятых предположениях можно использовать в качестве меры систематических движений газа, но $\Delta \lambda_m$ дают несколько заниженные оценки.

Некогерентность наблюдаемого в данном пятне процесса (область 5 мин и области 3 мин и 80 с) сближает его со вспышками в тени UF , которые исследовались в ряде работ, в том числе и в [3]. Поскольку в качестве эталонов длин волн мы использовали фотосферные линии (в этой области длин волн нет близко расположенных

теллурических линий), то в данные по скорости могут быть внесены колебания самих реперов. Хотя, как отмечалось ранее, усреднение по пространству должно уменьшать амплитуды колебаний, в [28] показано, что средние квадратичные амплитуды дифференциальных скоростей по лучу зрения могут достигать примерно 260 м/с. Поэтому часть мощности в полосе 5 мин может быть вызвана колебаниями реперных линий. С другой стороны, поведение колебательного процесса вдоль тени пятна, изменение амплитуд в полосе 5 мин наводит на мысль, что, по крайней мере, часть мощности колебаний с периодом 5 мин действительно присутствует в пятне. Это подтверждает результаты работы [5].

Средние квадратичные скорости колебательного процесса невелики, в среднем по всем разрезам $V=0.42$ км/с. В предположении вертикальных движений вещества это дает вертикальную скорость $V_h=0.5$ км/с, что значительно меньше, чем обычно определяемая скорость ($V\approx 5$ км/с) для UF [19]. Хотя размах колебаний достигает 1.5 км/с, или $V_h\approx 1.85$ км/с, эта величина ниже полученной в [28] для пятна, также расположенного не в центре диска ($\sin\phi=0.72$). Меньше, чем показывают «истинные» UF , и изменения максимальной интенсивности [31]. Они составляют 1.2. Вероятно, различия могут быть вызваны как геометрическим положением пятна, так и различной мощностью процесса в разных пятнах.

Дополнительные пики в спектрах мощности для интенсивности нам кажутся реальными. Разные периоды для скорости и яркости отмечались ранее [5, 30], но недостатки методики наблюдений [30] ставят под сомнение полученные авторами результаты. Возможной причиной различий двух спектров мощности, как упоминалось в [5], могут быть разные функции отклика для скорости и интенсивности. Чтобы решить эту проблему, необходимы точные расчеты переноса излучения в движущейся среде для линий H и K .

Колебания в данном пятне происходят на фоне постоянного движения вещества вверх. С учетом поправок за вращение Солнца и Земли, движения Земли по орбите, гравитационного красного смещения вертикальная составляющая потока равна 3.7 км/с. Этот результат находится в качественном согласии с результатами [3], где исследовались постоянные движения вещества в тени пятна по линиям $Ti\ I$ и $H\alpha$. В наблюдавшемся пятне по линии $H\alpha$ определен поток вещества вверх (примерно 500 м/с), и указывалось, что реальная скорость может быть еще больше.

Итак, результаты работы заключаются в следующем: 1) колебания в данном пятне происходят на фоне восходящего движения вещества со скоростью 3.7 км/с; 2) колебания скорости в полосе 3 мин преобладают в одной части тени, в то время как в другой максимальная мощность находится в полосе 5 мин. Последнее подтверждает выводы [5] о наличии колебаний с $T\approx 5$ мин в тени пятна на уровне хромосферы; 3) в части тени, где происходят колебания в полосе 3 мин, имеются также колебания с периодом $T\approx 80$ с; 4) в колебаниях интенсивности содержатся дополнительные пики мощности с периодами примерно 130 и 210 с.

Исследуемое пятно находится во вспышечно-активной развивающейся группе. Колебательный процесс, происходящий в данном пятне, нельзя отнести к типичным UF вследствие его малой мощности, но протекает он не во всей тени, а в одной ее части, что свойственно UF . Скорее всего, изучаемое явление представляет собой промежуточный процесс между UF и хромосферными колебаниями скорости. Данный вывод согласуется с результатами нашей работы [4] по частоте встречаемости UF в группах разной классификации, в которой показано, что в активных магнитных структурах колебательные движения до некоторой степени подавлены.

Автор благодарит Р. Б. Теплицкую за полезные обсуждения и постоянный интерес к работе.

1. Копецкий М., Куклин Г. В. К вопросу об 11-летней вариации средней продолжительности жизни групп солнечных пятен // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца.— 1971.— Вып. 2.— С. 167—179.
2. Теплицкая Р. Б. Современное состояние наблюдений в тени пятна // Колебания и волны на Солнце.— Рига: Зинатне, 1985.— С. 41.
3. Теплицкая Р. Б., Турова И. П. Движения в тени пятна // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца.— 1985.— Вып. 72.— С. 83—92.
4. Турова И. П. Частота встречаемости *Umbral Flashes* в группах разной классификации // Там же.— 1983.— Вып. 65.— С. 90—96.

5. *Турова И. П., Дружинин С. А.* Исследование колебательных процессов в тени пятна по линии H Ca II фотоэлектрическими методами // Там же.—1984.—Вып. 68.—С. 66—72.
6. *Athay R. G.* Emission cores in H and K lines. V: Asymmetries in K₂ and K₃ // *Solar Phys.*—1970.—11, N 3.—P. 347—354.
7. *Balthasar H., Küveler G., Wiehr E.* A comparison of the oscillations in sunspot umbrae, penumbrae, and the surrounding photosphere // *Ibid.*—1987.—112, N 1.—P. 37—48.
8. *Beckers J. M., Schultz R. B.* Oscillatory motions in sunspots // *Ibid.*—1984.—94, N 1.—P. 99—103.
9. *Beckers J. M., Tallant P. E.* Chromospheric inhomogeneities in sunspot umbrae // *Ibid.*—1969.—7, N 3.—P. 351—365.
10. *Bhatnagar A., Livingston W. C., Harvey J. W.* Observations of sunspot umbrae velocity oscillations // *Ibid.*—1972.—27, N 1.—P. 80—88.
11. *Gurman J. B.* Sunspot umbral oscillations in Mg II *k* // *Ibid.*—1987.—108, N 1.—P. 61—75.
12. *Gurman J. B., Leibacher J. W.* Linear models of acoustic waves in sunspot umbrae // *Astrophys. J.*—1984.—283, N 2.—P. 859—869.
13. *Gurman J. B., Leibacher J. W., Shine R. A. et al.* Transition region oscillations in sunspots // *Ibid.*—1982.—253, N 2.—P. 939—948.
14. *Henze W., Tandberg-Hanssen E., Reihmann E. J., Athay R. G.* SMM/UVSP observations of the distribution of transition region oscillations and other properties in a sunspot // *Solar Phys.*—1984.—91, N 1.—P. 33—44.
15. *Kneer F., Mattig W., Uexküll M. v.* The chromosphere above sunspot umbrae. III. Spatial and temporal variations of chromospheric lines // *Astron. and Astrophys.*—1981.—102, N 2.—P. 147—155.
16. *Lites B. W.* Photoelectric observations of chromospheric sunspot oscillations. III. Spatial distribution of power and frequency in umbrae // *Astrophys. J.*—1986.—301, N 2.—P. 992—1004.
17. *Lites B. W.* Photoelectric observations of chromospheric sunspot oscillations. IV. Ca II H line and He I λ 10830 // *Ibid.*—1986.—301, N 2.—P. 1005—1017.
18. *Lites B. W., Skumanich A.* A model of a sunspot chromosphere based on OSO 8 observations // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1982.—49, N 2.—P. 293—316.
19. *Moore R. L.* Dynamic phenomena in the visible layers of sunspots // *Space Sci. Revs.*—1981.—28, N 4.—P. 387—421.
20. *Rice J. B., Gaizauskas V.* The oscillatory velocity field observed in a unipolar sunspot region // *Solar Phys.*—1973.—32, N 2.—P. 421—433.
21. *Schröter E. H., Soltau D.* On the time behaviour of oscillations in sunspot umbrae // *Astron. and Astrophys.*—1976.—49, N 3.—P. 463—465.
22. *Soltau D., Schröter E. H., Wöhl H.* On velocity oscillations in sunspot umbrae // *Ibid.*—1976.—50, N 3.—P. 367—370.
23. *Thomas J. H.* Oscillations in sunspots // *Austral. J. Phys.*—1985.—38, N 6.—P. 811—824.
24. *Thomas J. H., Cram L. E., Nye A. H.* Five-minute oscillations as a subsurface probe of sunspot structure // *Nature.*—1982.—297, N 5866.—P. 485—487.
25. *Thomas J. H., Cram L. E., Nye A. H.* Dynamic phenomena in sunspots. I. Observing procedures and oscillatory phenomena // *Astrophys. J.*—1984.—285, N 1.—P. 368—380.
26. *Thomas J. H., Lites B. W., Gurman J. B., Ladd E. F.* Simultaneous measurements of sunspot umbral oscillations in the photosphere, chromosphere, and transition region // *Ibid.*—1987.—312, N 1.—P. 457—461.
27. *Thomas J. H., Scheuer M. A.* Umbral oscillations in a detailed model umbra // *Solar Phys.*—1982.—79, N 1.—P. 19—29.
28. *Turova I. P., Teplitskaja R. B., Kuklin G. V.* The study of umbral flashes in the umbrae of two sunspots // *Ibid.*—1983.—87, N 1.—P. 7—22.
29. *Uexküll M. v., Kneer F., Mattig W.* The chromosphere above sunspot umbrae. IV. Frequency analysis of umbral oscillations // *Astron. and Astrophys.*—1983.—123, N 2.—P. 263—270.
30. *Vial J.-C., Bellout A.* Simultaneous measurements of chromospheric lines in sunspot umbra and penumbra // *Publ. Astron. Inst. Czech. Acad. Sci.*—1987.—N 66.—P. 215—218.
31. *Wittmann A.* Some properties of umbral flashes // *Solar Phys.*—1969.—7, N 3.—P. 366—369.
32. *Zugzda Y. D., Locans V., Staude J.* Seismology of sunspot atmospheres // *Ibid.*—1983.—82, N 1/2.—P. 369—378.

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

Поступила в редакцию 11.07.88,
после доработки 28.11.88