

**ИЗМЕНЕНИЯ ХРОМОСФЕРНОЙ СЕТКИ  
С ФАЗОЙ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА****Changes of the Chromospheric Network with the Solar Cycle Phase**

**Abstract.** The structure of the coronal holes and their environment as probable sources of high-speed solar wind are investigated. The changes in the sizes and contrasts of the chromosphere network with the 11-year cycle phase are discovered from results of the electrophotometric scanning of the solar disc in the IR lines HeI 10830 Å as inside coronal holes both on their boundaries and in quiescent solar regions.

**Введение.** Исследование хромосферной сетки важно для лучшего понимания природы солнечной активности и прогнозирования её геофизических проявлений. Известно, что слабые фоновые магнитные поля, так же как и магнитные поля активных областей (АО) обладают 11-летним циклом. Линия HeI 10830 Å представляет особый интерес для обнаружения и изучения свойств таких крупномасштабных и слабоконтрастных образований, как корональные дыры (КД), которые являются источником солнечного ветра и играют важную роль в солнечно-земных связях (Coronal Holes and High-Speed Wind Streams /Ed. J.B. Zirker, Colorado Associated Univ. Press., 1977, 356 p.; Sheeley N.R., Harvey J.W., Solar Phys., 1978, **59**, 159).

Излучение в ИК-триплете линий HeI 10830 Å формируется в средней и верхней хромосфере и частично в переходном слое между хромосферой и короной. Анализ пространственных и временных изменений параметров этих линий позволяет получать богатую информацию о строении, тонкой структуре и динамике хромосферы на этих высотах (Сомов Б.В., Козлова Л.М., АЖ, 1998, **75**, № 6, 926; Козлова Л.М., Сомов Б.В., Астрон. вестник, 2003, **37**, № 3, 249; Козлова Л.М., Сомов Б.В., Известия РАН, Серия физическая, 2003, **67**, № 3, 390). Структура хромосферной сетки в других спектральных линиях исследовалась в работах (Bray R.J., Loughhead R.E., The Solar Chromosphere, London, 1974, 384 p.; Цап Т.Т., Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 1978, **58**, 13; Simon G.W., Leighton R.B., ApJ, 1964, **140**, No. 3, 1120).

В работе Л.М. Козловой, Б.В. Сомова (АЖ, 2000, **77**, № 6, 460) мы показали, что в областях КД в центре линии HeI 10830 Å наблюдается увеличение интенсивности излучения, сопровождаемое уменьшением размеров и контраста хромосферной сетки по сравнению с их значениями в спокойных фоновых полях. Почти одновременные наблюдения в линиях HeI 10830 Å и H $\alpha$ , представленные в этой работе, обнаруживают «тёмные точки» (ТТ) в виде цепочек, окружающих корональные дыры. Лучевые скорости подъёма плазмы в «тёмных точках» в 3–5 раз превосходят скорости внутри КД и в спокойных областях.

**Постановка задачи и наблюдения.** Настоящая работа посвящена изучению временных изменений размеров и контрастов хромосферной сетки в КД и их окрестностях, наблюдаемых в различных фазах солнечной активности 23 цикла. Фотоэлектрические

наблюдения в линиях HeI 10830 Å и H $\alpha$  проводились на горизонтальном солнечном телескопе в Кучинской обсерватории ГАИШ. Основные параметры установки: диаметр главного зеркала 30 см, фокусное расстояние 15 м, диаметр изображения Солнца на входной щели спектрографа 140 мм, дисперсия в первом порядке решётки 1.6 Å/мм, используемые размеры щелей спектрографа (0.1–0.2) мм  $\times$  (1.0–2.0) мм.

Регистрограммы различных областей на диске получались путём сканирования изображения Солнца входной щелью спектрографа за счет естественного движения изображения при отключённой системе гидирования. При этом выходная щель спектрографа совмещалась с центром линии HeI 10830 Å или центром линии H $\alpha$  или любым другим участком спектра. На рис. 1 приведены фрагменты сканов через корональную дыру (КД), с «тёмными точками» (ТТ) по краям, полученные в центре линии гелия 10830.30 Å 27.08.1996 г. Присутствие корональных дыр проверялось по данным Solar Geophysical Data, а также по каталогу КД (Тавастшерн К.С., Тлатов А.Г., Каталог и атлас синоптических карт корональных дыр и полостей волокон в линии HeI 10830 Å, период 1975–2003. Санкт-Петербург, 2006, 567 с.).

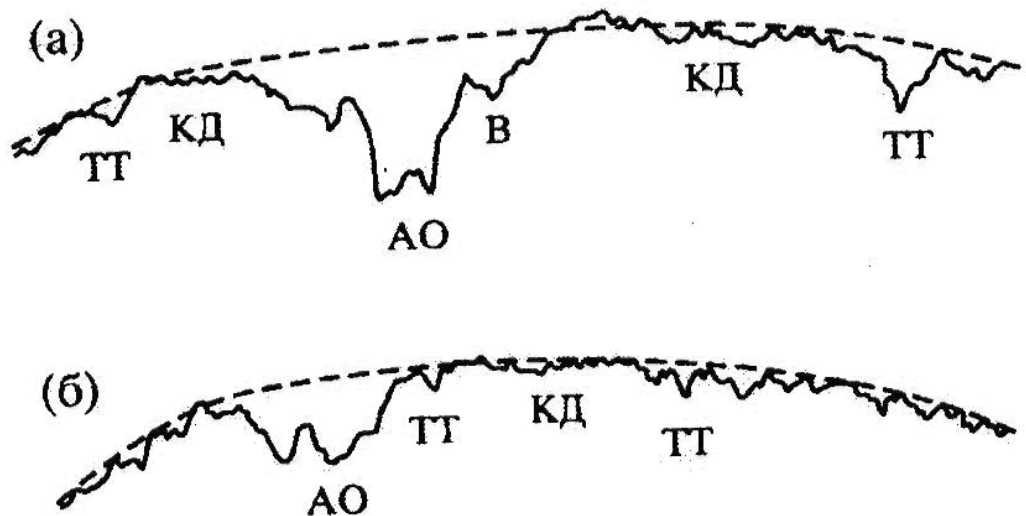


Рис. 1: Фрагменты сканов в центре линии гелия, полученные 27.08.1996 г. и проходящие через корональную дыру «Хобот слона».

На сканах видны периодически повторяющиеся понижения интенсивности на границах хромосферной сетки, промежутки между понижениями соответствуют внутренним частям ячеек сетки. Было обработано более 200 линейных сканов, наблюдаемых в минимуме СА (1996 и 1997 гг.) и около 150 сканов в максимуме СА (2000 и 2001 гг.). Вдоль каждого из сканов измерялись в угловых секундах дуги расстояния между соседними минимумами интенсивностей, которые принимались за размеры ячеек  $d''$ . Контраст ячейки ( $c$ , %) определялся как средняя глубина на границах ячейки по отношению к огибающей, проведенной через центры ячеек.

**Результаты наблюдений.** Частотные распределения контрастов и размеров ячеек сетки для спокойных областей на Солнце показаны на рис. 2 и 3: а – для минимума СА, б – для максимума СА.

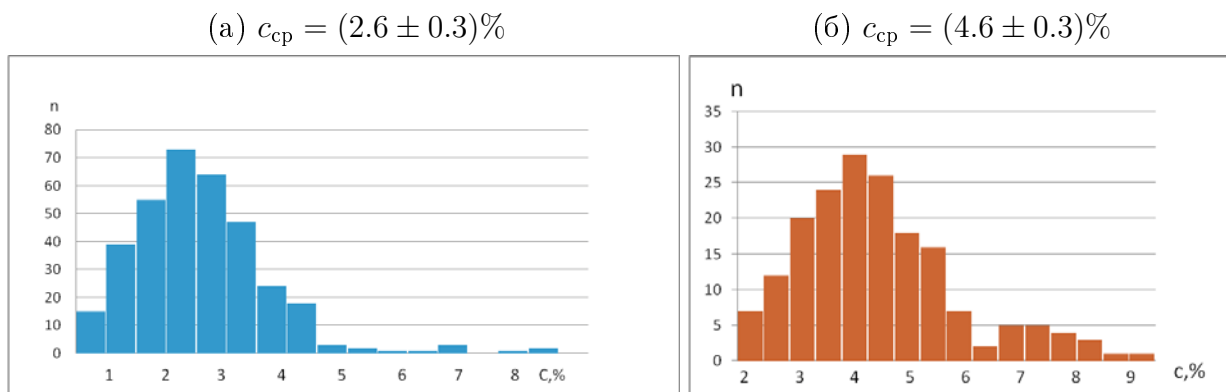


Рис. 2: Контрасты ячеек сетки в линии HeI в **спокойных областях**: а – по наблюдениям в минимуме СА (1996–1997 гг.), б – по наблюдениям в максимуме СА (2000–2001 гг.).

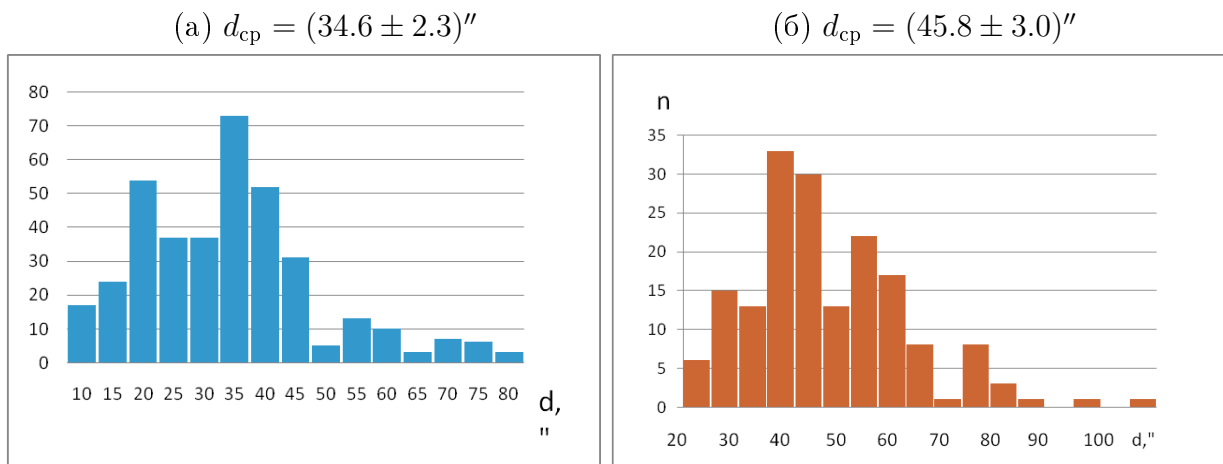


Рис. 3: Размеры ячеек сетки в линии HeI в **спокойных областях**: а – по наблюдениям в минимуме СА, б – по наблюдениям в максимуме СА

Видно, что во всех распределениях имеются максимумы частоты встречаемости. Средние значения  $c_{cp}$  и  $d_{cp}$  (указаны сверху над гистограммами) значительно *увеличиваются* от фазы минимума СА к максимуму.

На рис. 4 и 5 представлены гистограммы распределения контрастов и размеров ячеек **внутри КД** в минимуме и в максимуме солнечной активности 23 цикла. Отметим, что и контрасты  $c_{cp}$  и размеры ячеек сетки  $d_{cp}$ , *наблюдаемые внутри КД*, всегда *меньше* их значений в спокойных, невозмущённых областях. По-видимому, это свидетельствует о разной природе корональных дыр и фоновых полей и объясняет различие их кинематических свойств.

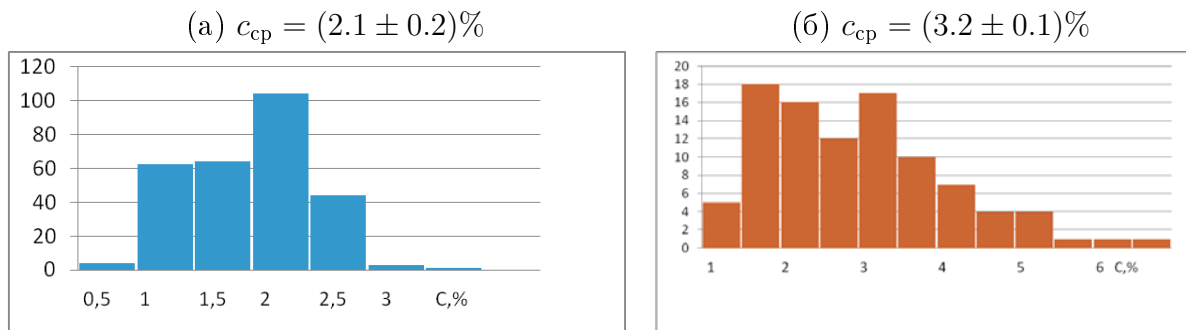


Рис. 4: Контрасты ячеек **внутри КД** по наблюдениям: а – в минимуме СА (1996–1997 гг.), б – в максимуме СА (2000–2001 гг.).

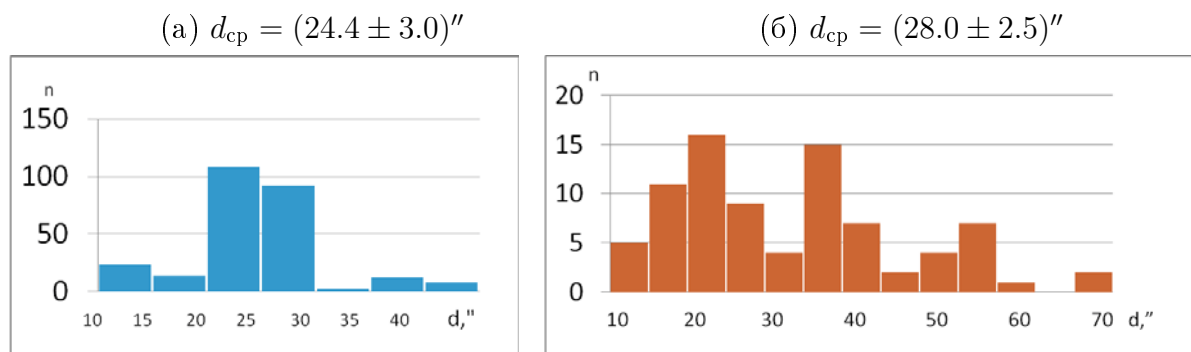


Рис. 5: Размеры ячеек **внутри КД** по наблюдениям: а – в минимуме СА (1996–1997 гг.), б – в максимуме СА (2000–2001 гг.).

**Гистограммы распределения контрастов и размеров ячеек сетки в «тёмных точках», наблюдаемых по границам КД.** Корональные дыры, наблюдаемые в центре линии HeI 10830 Å, часто окружены «тёмными точками» с повышенным контрастом относительно окружающей спокойной сетки и сетки внутри КД (см. ТТ на рис. 1). В работе M.S. Madjarska et al. (ApJ, 2004, **603**, L57) представлено исследование впервые обнаруженных двунаправленных джетов, которые свидетельствуют о магнитном пересоединении, возникающем вдоль границ КД. Эти наблюдения демонстрируют маленькие области, размерами в несколько угловых секунд с сильным голубым и красным смещением, с доплеровским смещением, достигающим 150 км/с, т.е. двунаправленные джеты. Плотность джетов вдоль границ КД в 4–5 раз выше, чем в областях спокойного Солнца. Мы полагаем, что эти джеты как раз исходят из «тёмных точек», наблюдаемых нами в линии HeI 10830 Å на границах КД, и являются основной составной частью высокоскоростных потоков солнечного ветра. Наши предыдущие наблюдения в центре H $\alpha$  и в крыльях H $\alpha$   $\pm$  0.5 Å (Козлова Л.М., Сомов Б.В., АЖ, 2000, **77**, № 6, 460) показали, что вещество в окрестностях тёмных точек поднимается вверх со скоростями, превышающими в 8–10 раз скорости внутри КД и в спокойных областях. На рис. 6 и 7 представлены гистограммы распределения контрастов и размеров «тёмных точек» для минимума и максимума СА.

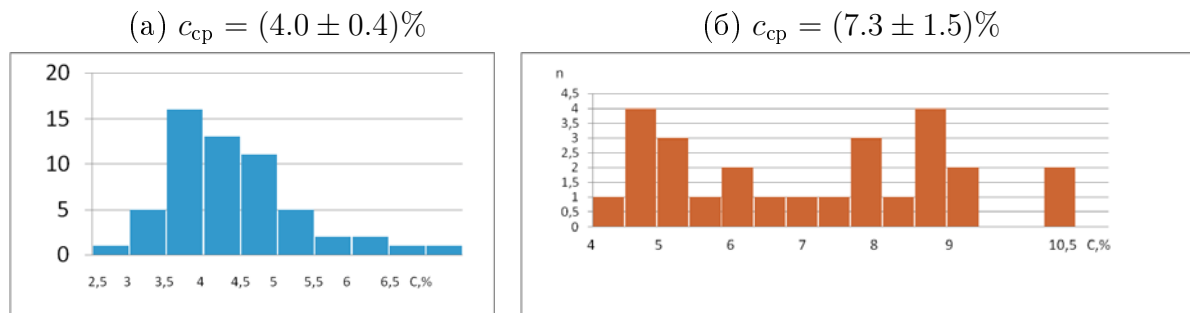


Рис. 6: Контрасты «тёмных точек», наблюдаемых на границах КД: а – в минимуме СА (1996–1997 гг.), б – в максимуме СА (2000–2001 гг.).

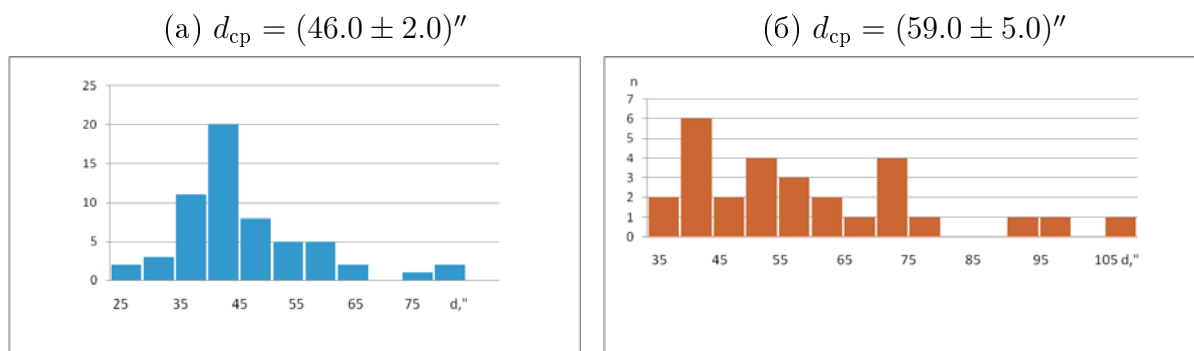


Рис. 7: Размеры «тёмных точек», наблюдаемых на границах КД: а – в минимуме СА (1996–1997гг.), б – в максимуме СА (2000–2001 гг.).

#### Сводная таблица результатов

	Спокойная атмосфера		Внутри КД		ТТ на границе КД	
	$c_{cp}, \%$	$d_{cp}, ''$	$c_{cp}, \%$	$d_{cp}, ''$	$c_{cp}, \%$	$d_{cp}, ''$
Максимум СА	$4.6 \pm 0.3$	$45.8 \pm 3.0$	$3.2 \pm 0.1$	$24.4 \pm 3.0$	$7.3 \pm 0.5$	$59.0 \pm 5.0$
Минимум СА	$2.6 \pm 0.3$	$34.6 \pm 2.3$	$2.1 \pm 0.2$	$28.0 \pm 2.5$	$4.0 \pm 0.4$	$46.0 \pm 2.0$
Увеличение в максимуме	77%	32%	50%	15%	80%	28%

Как видно из приведенных рисунков и таблицы, оба параметра хромосферной сетки (контраст и размер ячеек) различны для рассматриваемых пространственных структур и в разной степени увеличиваются от минимума к максимуму СА. По-видимому, это связано с магнитными полями наблюдаемых структур и механизмами нагрева хромосферы и нижней короны.

**Заключение.** По результатам электрофотометрического сканирования диска Солнца в ИК-линиях HeI 10830 Å обнаружены изменения с фазой 11-летнего цикла контрастов и размеров ячеек хромосферной сетки внутри корональных дыр, в тёмных точках на границах КД и в спокойных областях на Солнце. А именно, от минимума СА (1996 и 1997 гг.) до максимума СА (2000 и 2001 гг.) контрасты ячеек супергрануляции в спокойных областях и на границах КД увеличиваются примерно в 1.7 раза, а внутри КД – в 1.5 раза. Размеры ячеек от минимума СА к максимуму увеличиваются в 1.2–1.3 раза.

Автор выражает искреннюю благодарность Ковшову В.И., Татарникову М.П. и Татарникову А.М. за помощь в наблюдениях.

Государственный астрономический ин-т  
имени П.К. Штернберга  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
Россия, 119992, Москва, Университетский пр-т, 13  
*kozlova-lm@yandex.ru*  
Поступила в редакцию 28 января 2013 г.

Л.М. Козлова  
L.M. Kozlova