

УДК 523.98-35

Экваториальные корональные дыры по наблюдениям в крыльях линии He I λ 1083 нм

И. Л. Белкина, Л. А. Акимов, С. А. Белецкий, В. В. Корохин, Г. П. Марченко

Астрономическая обсерватория Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина
61022, г. Харьков, ул. Сумская, 35

По ПЗС-изображениям Солнца, полученным в 1995 и 1999 гг., определены средние интенсивности площадок в экваториальных корональных дырах (КД) и в униполярных невозмущенных участках хромосферы в синем и красном крыльях линии He I λ 1083 нм ($\Delta\lambda = \pm 0.05$ нм). Оценены средние доплеровские смещения этой линии: для 105 площадок в КД получено $\Delta\lambda_n = -0.0032$ нм ($\sigma_m = 0.0002$); для 41 площадки в невозмущенных участках — $\Delta\lambda_q = -0.0012$ нм ($\sigma_m = 0.0002$). Эти значения различаются значимо, что может быть доводом в пользу того, что солнечный ветер из КД начинает ускоряться с хромосферных высот. Учитывая, что в КД есть элементы тонкой структуры с радиальными потоковыми скоростями движения наружу около 8 км/с, получено, что такие элементы занимают примерно 10 % поверхности КД. Отмечена тенденция увеличения $|\Delta\lambda_n|$ в период вблизи максимума солнечной активности.

ЕКВАТОРІАЛЬНІ КОРОНАЛЬНІ ДІРИ ЗА СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ У КРИЛАХ ЛІНІЇ He I λ 1083 НМ, Белкіна І. Л., Акімов Л. О., Белецький С. О., Корохін В. В., Марченко Г. П. — За ПЗЗ-зображеннями Солнца, одержаними у 1995 і 1999 рр., визначені середні інтенсивності ділянок у екваторіальних корональних дірах (КД) та уніполярних незбурених місцях хромосфери у синьому та червоному крилах лінії He I λ 1083 нм ($\Delta\lambda = \pm 0.05$ нм). Оцінено середній доплерівський зсув цієї лінії: для 105 ділянок у КД одержано $\Delta\lambda_n = -0.0032$ нм ($\sigma_m = 0.0002$); для 41 ділянки у незбурених місцях — $\Delta\lambda_q = -0.0012$ нм ($\sigma_m = 0.0002$). Ці значення відрізняються значимо, що може бути аргументом на користь того, що сонячний вітер з КД починає прискорюватися з хромосферних висот. Враховуючи, що у КД є елементи тонкої структури, які мають радіальні потокові швидкості руху назовні приблизно 8 км/с, одержано, що такі елементи займають близько 10 % поверхні КД. Виявлена тенденція збільшення $|\Delta\lambda_n|$ в період поблизу максимуму сонячної активності.

EQUATORIAL CORONAL HOLES FROM OBSERVATIONS IN THE He I λ 1083 NM LINE WINGS, by Belkina I. L., Akimov L. A., Beletsky S. A., Korokhin V. V., Marchenko G. P. — Average intensities in the blue and red wings of the He I λ 1083 nm line we determined for some areas equatorial coronal holes (CH) and unipolar quiet regions from the solar CCD images taken at ± 0.05 nm from the line centre in 1995 and 1999. These data were used to estimate the average Doppler line shift caused by the presence of

outflows from CH ($\Delta\lambda_h$) and unipolar quiet regions ($\Delta\lambda_q$). We obtained $\Delta\lambda_h = -0.0032$ nm ($\sigma_m = 0.0002$); for 105 CH areas and $\Delta\lambda_q = -0.0012$ nm ($\sigma_m = 0.0002$) for 41 unipolar quiet regions. This result is indicative of a significant difference between CH and quiet regions in the average outflow velocity, which means that the solar wind from CH begins to accelerate from the middle chromosphere. Taking into account the existence in CH of fine structure elements with a radial outflow velocity of 8 km/s, we found that these elements cover about 10 percent of the CH area. We note that $|\Delta\lambda_h|$ tends to increase near the solar activity maximum.

ВВЕДЕНИЕ

Связь корональных дыр с устойчивыми высокоскоростными потоками солнечного ветра показана многими исследователями (см., например, [9]). Однако до сих пор не вполне ясно, с каких высот в солнечной атмосфере начинается ускорение солнечного ветра, поскольку большинство прямых измерений потоковых скоростей вещества из корональных дыр относятся только к внешним слоям атмосферы. Так, по ракетным наблюдениям определено [7], что сдвиги линий Mg X λ 62.5 нм и O V λ 62.9 нм в короне и переходном слое соответствуют скоростям потоков 12 и 7 км/с. Наблюдения [4] полярной КД в линии He I λ 1083 нм позволили впервые на уровне хромосферы обнаружить потоки вещества наружу. Полученное значение радиальной потоковой скорости 8 км/с относится к элементам тонкой структуры, находящимся вблизи центров ячеек супергрануляции. Таким образом, было доказано, что динамическая основа солнечного ветра для исследуемой корональной дыры находилась в хромосфере. Этот важный результат необходимо проверить и для геоэффективных экваториальных корональных дыр.

Согласно работе [5] вблизи минимума солнечной активности поток через низкоширотные корональные дыры уменьшается более чем в три раза по сравнению с максимумом, несмотря на то, что размеры дыр остаются практически неизменными. В связи с этим есть основания предполагать, что в минимуме активности не все экваториальные КД являются источниками высокоскоростных потоков и (или) скважность потоков отличается от периода максимальной солнечной активности.

В работе [4] не оценивалась доля площади КД, занимаемая высокоскоростными элементами тонкой структуры. По данным [3], полученным с космического телескопа высокого разрешения со спектрографом для линии C IV в КД, было показано, что потоки вещества вверх занимают около 26 % площади КД и 7 % площади невозмущенных областей.

Настоящая работа проведена с целью обнаружения возможных потоков солнечного вещества из экваториальных КД по изображениям Солнца в крыльях линии He I λ 1083 нм. Если средние интенсивности излучения КД в синем и красном крыле различаются, то это может свидетельствовать о доплеровском смещении всей линии, т. е. о наличии потоков вещества. В этом случае изображения в крыльях линии могли бы служить для оперативной диагностики геоэффективности корональных дыр. Кроме того, предполагалось выяснить, различаются ли отношения интенсивностей в крыльях линии для КД и для униполярных областей невозмущенного Солнца.

НАБЛЮДЕНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

В июле—сентябре 1995 г. и в сентябре—октябре 1999 г. в Астрономической обсерватории Харьковского национального университета проводилась реги-

страция ПЗС-изображений диска Солнца в центре и в крыльях ($\Delta\lambda = \pm 0.05$ нм) линии He I λ 1083 нм. Описание прибора, методики обработки изображений и устранения специфических помех приведено в работе [1]. Изображения записывались при ширине входной щели 0.07 мм и пространственным разрешением 256 и 512 пикселей на диаметр Солнца (8" и 4") в 1995 и 1999 гг. соответственно. Время накопления сигнала составляло 0.256 с и 0.128 с; спектральное разрешение — около 0.02 нм. Из-за недостатков ПЗС-фотоприемника в ближнем ИК-диапазоне реальное пространственное разрешение несколько хуже [1]. Поскольку пространственное разрешение наших изображений не дает возможности выделять мелко-масштабные структурные элементы, которые могут иметь заметные скорости, мы изучали средние характеристики КД и невозмущенных областей.

На рис. 1 представлены спектрогелиограммы Солнца в центре и в крыльях гелиевой линии. Видно, что КД хорошо выделяется по интенсивности не только на изображениях в центре линии, но и в ее крыльях.

Пары спектрогелиограмм в крыльях гелиевой линии записывались последовательно, временной интервал между ними не превышал 15 мин (табл. 1). Нумерация КД для 1995 г. соответствует [8], нумерация для 1999 г. — собственная. Выбранные для 1999 г. площадки расположены в границах КД обсерватории Китт Пик [10]. Для исследований выбирались КД, расположенные не слишком близко к краю ($\sin\theta < 0.8$), чтобы избежать ошибок учета потемнения диска к краю.

Сравнение изображений показало, что границы КД в центре и крыльях линии He I λ 1083 нм в большинстве случаев совпадают с точностью до 1-2 пикселей. Это согласуется с полученным ранее выводом о том, что КД должны проявляться в более глубоких слоях солнечной атмосферы. Согласно исследованиям в КраО [2] КД обнаруживаются на H_{α} -фильтрограммах, относящихся к высотам порядка 1000 км, не только по деталям тонкой структуры, но и по повышенной на 1-2 % относительно уровня средней невозмущенной хромосферы яркости.

Для статистических исследований мы выделяли в КД и в униполярных областях невозмущенного Солнца прямоугольные участки примерно одинаковой площади, обычно $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ по широте и долготе. Небольшие КД участок мог занимать целиком, на площади других КД помещалось до 8 участков, как, например, в КД № 66, которая на керрингтоновском обороте № 1899 располагалась в широтном интервале от 10 до 50° N. Прямоугольные участки мы получали, вырезая из изображения полного диска фрагменты с выбранными керрингтоновскими координатами и переходя к прямоугольной системе координат с шагом 0.1° . Выбранные участки покрывают

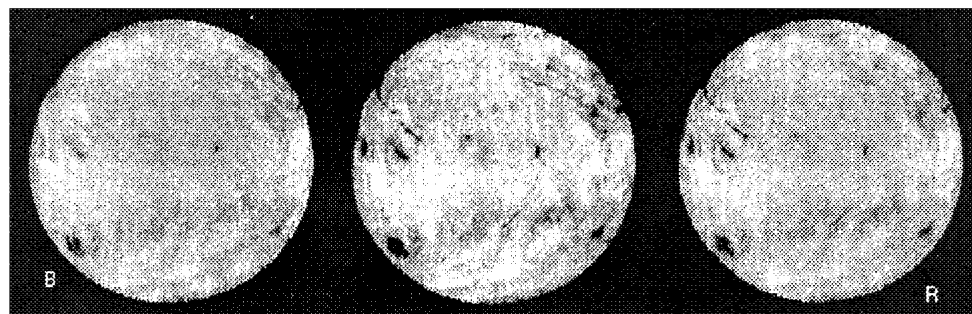


Рис. 1. Изображения в центре и крыльях (± 0.05 нм) линии He I λ 1083 нм, полученные 04.09.99 г.

Таблица 1. Дата и время записи изображений в крыльях линии He I λ 1083 нм

Дата	T_r , UT	T_b , UT	№№ КД
11.06.95	11 ^h 40 ^m	11 ^h 32 ^m	64
08.08.95	09 15	09 25	66, 67
	10 10	09 55	66, 67
	13 09	12 49	66, 67
09.08.95	12 28	12 23	66, 67
14.08.95	12 02	12 07	67, 68
15.08.95	08 37	08 42	67, 68
29.08.95	11 01	11 06	69, 70
31.08.95	11 36	11 41	69, 70
01.09.95	10 07	10 14	70, 71
03.09.95	10 44	10 49	70, 71, 72
	10 54	11 01	70, 71, 72
12.09.95	09 14	09 21	72, 73, 74
02.09.99	11 53	11 57	1
04.09.99	11 00	11 10	1, 2
06.09.99	10 49	10 55	1, 2
09.09.99	10 48	10 52	1, 2, 3, 4
11.09.99	11 41	11 45	3, 4
02.10.99	10 19	10 15	5, 6, 7
06.10.99	11 03	11 07	5, 6, 8

всю площадь КД и частично захватывают прилегающие области невозмущенной хромосферы.

В табл. 2 приведены кэррингтоновские гелиографические координаты выбранных участков КД. В последней графе приведены расчетные значения среднего по площадке доплеровского смещения линии $\Delta\lambda_{\text{rot}}$, возникающего из-за вращения Солнца:

$$\Delta\lambda_{\text{rot}} = 2\pi\lambda R_{\odot}\cos\varphi\cos\varphi_0\sin\theta/(T_{\varphi}c), \quad (1)$$

где R_{\odot} — радиус Солнца, c — скорость света, T_{φ} — сидерический период вращения Солнца на широте φ ; φ и θ — широта и расстояние от центрального меридиана выбранной площадки, φ_0 — широта центра Солнца.

Таблица 2. Кэррингтоновские координаты измеренных участков КД

Дата	№ КД	№ площадки	границные гелиографические координаты		$\Delta\lambda_{\text{rot}}$, нм
			широта	долгота	
1995, 11.07	64	1	S 22 ... S 33	355 ... 005	+0.0016
		2	S 23 ... S 39	345 ... 355	+0.0008
		3	S 23 ... S 42	335 ... 345	+0.0002
		4	S 32 ... S 45	325 ... 335	-0.0009
1995, 08.08	66	1	N 50 ... N 40	360 ... 010	+0.0025
		2	N 40 ... N 30	360 ... 010	+0.0028
		3	N 30 ... N 20	360 ... 010	+0.0030
		4	N 30 ... N 20	010 ... 020	+0.0036
		5	N 20 ... N 10	010 ... 020	+0.0043
		6	N 20 ... N 10	020 ... 033	+0.0053
		7	N 50 ... N 40	010 ... 017	+0.0030
		8	N 40 ... N 30	010 ... 017	+0.0033
1995, 09.08	66	1	N 50 ... N 40	360 ... 010	+0.0035
		2	N 40 ... N 30	360 ... 010	+0.0037
1995, 08.08	67	1	N 15 ... S 03	297 ... 302	-0.0035
		2	N 15 ... S 03	302 ... 307	-0.0028

Окончание табл. 2

Дата	№ КД	№ площадки	границные гелиографические координаты		$\Delta l_{\text{гот}}$, мм
			широта	долгота	
1995, 09.08	67	3	N 12 ... S 02	307 ... 312	-0.0022
		1	N 15 ... S 03	297 ... 302	-0.0021
		2	N 15 ... S 03	302 ... 307	-0.0015
1995, 14.08	67	3	N 12 ... S 02	307 ... 312	-0.0010
		1	N 15 ... S 03	297 ... 302	+0.0049
		2	N 15 ... S 03	302 ... 307	+0.0053
1995, 14.08	68	1	S 26 ... S 41	197 ... 206	-0.0038
		2	S 26 ... S 38	206 ... 216	-0.0033
		3	S 26 ... S 36	216 ... 227	-0.0023
1995, 15.08	68	1	S 26 ... S 41	197 ... 206	-0.0031
		2	S 26 ... S 38	206 ... 216	-0.0024
		3	S 26 ... S 36	216 ... 227	-0.0017
1995, 29.08	69	1	N 09 ... S 07	085 ... 090	+0.0038
		2	N 09 ... S 07	090 ... 097	+0.0046
1995, 31.08	70	1	N 33 ... N 06	333 ... 340	-0.0045
		2	N 33 ... N 06	340 ... 347	-0.0039
1995, 01.09	70	1	N 33 ... N 20	333 ... 346	-0.0031
		2	N 20 ... N 06	333 ... 346	-0.0036
1995, 03.09	70	1	N 33 ... N 20	333 ... 346	-0.0009
		2	N 20 ... N 06	333 ... 346	-0.0011
1995, 03.09	71	1	N 13 ... S 03	305 ... 315	-0.0042
		1	N 28 ... N 17	292 ... 302	-0.0047
1995, 12.09	72	1	N 28 ... N 17	292 ... 300	+0.0051
1995, 03.09	73	1	S 14 ... S 26	290 ... 300	-0.0045
1995, 12.09	73	1	S 14 ... S 26	282 ... 290	+0.0047
1995, 12.09	74	1	S 00 ... S 12	232 ... 245	+0.0011
1999, 09.02	1	1	N 55 ... N 36	125 ... 142	-0.0021
		2	N 49 ... N 35	142 ... 152	-0.0009
		3	N 49 ... N 30	152 ... 165	+0.0002
1999, 09.04	1	1	N 55 ... N 36	125 ... 142	+0.0004
		2	N 49 ... N 35	142 ... 152	+0.0014
		1	N 20 ... N 10	108 ... 118	-0.0016
1999, 09.06	1	1	N 55 ... N 36	125 ... 142	+0.0023
		2	N 49 ... N 30	142 ... 152	+0.0033
1999, 09.09	2	1	N 22 ... N 10	100 ... 110	+0.0001
		1	N 58 ... N 47	103 ... 113	+0.0029
		2	N 20 ... N 07	100 ... 110	+0.0038
1999, 09.11	3	3	S 18 ... S 28	57 ... 62	-0.0004
		4	S 40 ... S 47	25 ... 38	-0.0025
		2	S 40 ... S 48	38 ... 50	-0.0015
		3	S 40 ... S 48	50 ... 65	-0.0009
		1	S 21 ... S 30	54 ... 64	+0.0023
		4	S 40 ... S 47	25 ... 38	-0.0009
1999, 10.02	5	2	S 40 ... S 48	38 ... 50	+0.0009
		3	S 40 ... S 48	50 ... 65	+0.0018
		1	N 50 ... N 40	96 ... 108	-0.0016
		2	N 43 ... N 33	108 ... 120	-0.0008
		3	N 40 ... N 27	139 ... 149	+0.0018
		4	N 40 ... N 25	149 ... 163	+0.0027
1999, 10.06	5	6	N 23 ... N 13	97 ... 106	-0.0019
		7	S 12 ... S 20	103 ... 113	-0.0014
		2	S 12 ... S 20	113 ... 121	-0.0004
		3	S 14 ... S 30	119 ... 125	0.0000
		4	S 14 ... S 30	125 ... 134	+0.0007
		1	N 41 ... N 33	89 ... 99	+0.0021
1999, 10.06	6	2	N 50 ... N 40	99 ... 113	+0.0026
		3	N 38 ... N 30	99 ... 110	+0.0028
		1	N 22 ... N 10	99 ... 106	+0.0029
		8	S 37 ... S 44	34 ... 44	-0.0024
		2	S 34 ... S 42	44 ... 54	-0.0017
		3	S 32 ... S 41	54 ... 64	-0.0008
1999, 10.06	8	3	S 24 ... S 38	64 ... 74	0.0000
		3	S 24 ... S 38	64 ... 74	0.0000

Невозмущенные площадки мы исследовали только по изображениям 1995 г. В качестве невозмущенных областей мы выбрали те же площадки КД № 66, что и в табл. 2 для 11 июля, когда КД еще не образовалась, и первые 6 площадок из нее на следующем обороте, с 29 августа по 3 сентября, когда КД уже не было. Кроме того, на изображениях с 29.08 по 01.09.95 г. мы измеряли участок невозмущенной хромосферы с граничными координатами $N36^\circ\text{—}N45^\circ$, $L = 20^\circ\text{...}30^\circ$. Всего за 1995 г. было обработано 69 пар площадок в КД и 41 — в невозмущенной хромосфере. По материалам 1999 г. всего было обработано 36 пар площадок, относящихся к восьми КД.

Для каждого выбранного участка КД и невозмущенного Солнца были определены средние по площадке интенсивности I_b , I_r в синем и красном крыльях линии. Уже предварительный анализ этих данных без учета вращения Солнца показал, что средние наблюдаемые значения интенсивностей площадок КД в крыльях гелиевой линии различаются значимо, в то время как для невозмущенных областей различия почти в пределах ошибок.

Если форму контура линии приближенно представить в виде треугольника, то легко показать, что спектральное смещение линии можно выразить формулой:

$$\Delta\lambda = \Delta l(I_b - I_r) / [2I_0 - (I_b + I_r)], \quad (2)$$

где dl — протяженность крыльев линии He I λ 1083 нм за длинами волн, в которых мы получали изображения, I_0 — интенсивность непрерывного спектра в месте расположения линии. Отрицательные значения $\Delta\lambda$, соответствующие потоку вещества наружу, получаются при $I_b < I_r$. Поскольку с достаточной точностью протяженность крыльев составляет примерно ± 0.07 нм, то $dl \approx 0.02$ нм. Кроме того, мы принимали, что I_0 примерно на 1.5 % больше, чем средняя по всему диску интенсивность КД в крыльях линии [6]. При таких предположениях по измеренным значениям I_b и I_r для каждой из площадок по формуле (2) определялись наблюдаемые значения смещений линии в КД ($\Delta\lambda_{oh}$) и в невозмущенной хромосфере ($\Delta\lambda_{oq}$). Очевидно, что среднее наблюдаемое доплеровское смещение для КД равно

$$\Delta\lambda_{oh} = \Delta\lambda_{rh} + \Delta\lambda_h,$$

а для невозмущенной хромосферы —

$$\Delta\lambda_{oq} = \Delta\lambda_{rq} + \Delta\lambda_q,$$

где $\Delta\lambda_{rh}$, $\Delta\lambda_{rq}$ — средние по площадке доплеровские смещения линии из-за вращения Солнца, $\Delta\lambda_h$, $\Delta\lambda_q$ — средние доплеровские смещения, обусловленные наличием потоков вещества из КД и униполярных областей соответственно.

На рис. 2 представлены распределения количества площадок по значениям $\Delta\lambda_h$ и $\Delta\lambda_q$ для КД 1999 г. (36 площадок), 1995 г. (69 площадок) и невозмущенной хромосферы (41 площадка) соответственно.

В среднем для всех 105 измеренных площадок в КД доплеровское смещение, обусловленное наличием потоков вещества, оказалось равным $\Delta\lambda_h =$

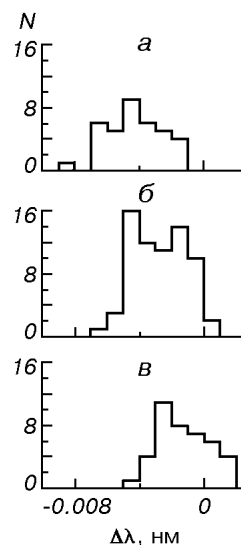


Рис. 2. Распределение измеренных площадок по доплеровскому смещению: а — в КД 1999 г.; б — в КД 1995 г.; в — в невозмущенных областях

$= -0.0032 \pm 0.0002$ нм, для площадок невозмущенного Солнца $\Delta\lambda_q = -0.0012 \pm 0.0002$ нм.

Хотя данные для КД за 1995 и 1999 гг. статистически не равнозначны, попробуем оценить влияние уровня солнечной активности на среднее смещение гелиевой линии, обусловленное наличием потоков вещества. Для 69 площадок в КД за 1995 г. (вблизи минимума солнечной активности) имеем $\Delta\lambda_h = -0.0027$ нм ($\sigma_m = 0.0002$), а для 36 площадок за 1999 г. (вблизи максимума солнечной активности) — $\Delta\lambda_h = -0.0042$ нм ($\sigma_m = 0.0004$).

Полученным средним значениям $\Delta\lambda_h$ соответствуют средние по площади потоковые скорости истечения вещества из КД около 0.8 км/с (1995 г.) и 1.2 км/с (1999 г.). Следует отметить, что эти значения средних по площади скоростей являются нижним пределом реальной величины, поскольку измеренные прямоугольные площадки во многих случаях захватывали прилегающие области невозмущенной хромосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы нашли, что доплеровские смещения линии He I λ 1083 нм для КД и невозмущенного Солнца отличаются значимо. Полученным средним значениям доплеровского смещения соответствуют средние потоковые скорости истечения вещества порядка 1 км/с для КД и 0.3 км/с для невозмущенных областей. Эта скорость является средней по большой площади. Такие значения скорости, соизмеримые со скоростями вращения Солнца, показывают, что использовать средние интенсивности КД в крыльях гелиевой линии для диагностики их геоэффективности затруднительно. Необходимая точность измерения интенсивностей должна быть не хуже 0.5 %. Поэтому обнаружить различия в интенсивностях крыльев линии можно только статистически.

Для интерпретации полученных статистических результатов используем данные с высоким разрешением [4], согласно которым в КД существуют высокоскоростные элементы тонкой структуры, имеющие радиальные скорости истечения около 8 км/с и спокойные участки. Полученные нами данные позволяют оценить относительное количество высокоскоростных элементов в КД. Средняя наблюдаемая величина смещения равна

$$\Delta\lambda_h = x\Delta\lambda_{hs} + (1 - x)\Delta\lambda_q, \quad (3)$$

где x — доля площади КД, занятая высокоскоростными потоками, $\Delta\lambda_{hs}$, $\Delta\lambda_q$ — доплеровское смещение, обусловленное высокоскоростными потоками из КД и из спокойной хромосферы соответственно. Для определения значения $\Delta\lambda_{hs}$ необходимо учесть, что измеренные площадки в КД в среднем находились на широте $\varphi = 35^\circ$ и на среднем расстоянии от центрального меридиана $L_{CM} = 18^\circ$. В этом случае $\Delta\lambda_{hs} = 0.021$ нм (≈ 6 км/с). Если для оценки величины x по формуле (3) использовать полученные нами результаты для всех КД, то окажется, что высокоскоростные элементы занимают около 10 % площади КД. Наличие в КД мест со втекающими потоками не может кардинально изменить полученную оценку, поскольку согласно наблюдениям [4] втекающие потоки, имеющие скорости порядка +2 км/с (авторы называют их «gain», природа этих образований не совсем ясна), отсутствовали в полярной КД и располагались в виде отдельных компактных точек только в невозмущенной хромосфере.

Использование данных о среднем сдвиге гелиевой линии, полученных отдельно по наблюдениям 1995 и 1999 гг., дает значение $x \approx 8\%$ и 15% соответственно, т. е. наблюдается увеличение площади, занимаемой высоко-

скоростными элементами в КД с увеличением солнечной активности.

Для достоверной оценки вариации скважности высокоскоростных потоков с циклом солнечной активности имеющегося материала недостаточно, и необходимо продолжить наблюдения экваториальных КД в различных фазах солнечного цикла.

1. Белкина И. Л., Белецкий С. А., Грецкий А. М., Марченко Г. П. ПЗС-наблюдения Солнца в линиях He I λ 1083 нм, H α , K Ca II // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—12, № 2.—С. 65—76.
2. Маланушенко Е. В., Степанян Н. Н. Некоторые характеристики корональных дыр в нижней и верхней атмосфере // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—10, № 6.—С. 51—58.
3. Dere K. P., Bartoe J.-D., Brueckner G. E., Recely F. Transition zone flows observed in a coronal hole on the solar disk // Astrophys. J.—1989.—345, N 2.—P. L95—97.
4. Dupree A. K., Penn M. J., H. P. Jones H. P. He I λ 10830 $\ddot{\text{E}}$ wing asymmetry in polar coronal holes: evidence for radial outflows // Astrophys. J.—1996.—467, N 2.—P. L121—L124.
5. Harvey K., Shelley N., Harvey J. Magnetic measurements of coronal holes during 1975—1980 // Solar Phys.—1982.—79, N 1.—P. 149—160.
6. McCabe M. C., Mickey D. L. The He I λ 10830 $\ddot{\text{E}}$ chromosphere and filament associated structure // Solar Phys.—1981.—73, N 1.—P. 5966.
7. Orrall F., Rottman G., Klimchuk J. Outflow from the Sun's polar corona // Astrophys. J.—1983.—266, N 1.—P. 65—68.
8. Preliminary Report and Forecast of Solar Geophysical Data. — Boulder, Colorado: Joint NOAA-USAF SWO, 1995.—N 1040, 1044, 1048.
9. Sheely Jr., N. R. Harvey J. W. Coronal holes, solar wind streams and geomagnetic activity during the new sunspot cycle // Solar Phys.—1978.—59, N 1.—P. 159—173.
10. Solar-Geophysical Data (Prompt report).—1999.—N 6.

Поступила в редакцию 20.04.00