

УДК 523.98

Связь корональных дыр с активными областями

В.М. Малащук¹, В.Г. Файнштейн², Н.Н. Степанян¹, Г.В. Руденко²

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, АР Крым, Научный
mvm@crao.crimea.ua; nataly@crao.crimea.ua

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, Иркутск, а/я 291, Россия
vfain@iszf.irk.ru

Поступила в редакцию 29 ноября 2011 г.

Аннотация. Два качественных параметра были определены для 643 корональных дыр (КД), наблюдавшихся в период с марта 2000 г. по сентябрь 2005 г. **Параметр А** характеризует изменение поля с высотой в КД. **Параметр В** – связь магнитного поля в КД на уровне фотосферы с полярным полем. Сравнение этих параметров для КД с активными областями (АО) внутри них и без активных областей привело к следующим выводам.

- Возникновение АО в КД – частое явление. В каждой второй КД хотя бы 1 день существовала АО.
- Конфигурация магнитного поля над КД с АО меняется с высотой гораздо чаще, чем над КД без АО.
- Две из трех КД имеют знак фотосферного поля, противоположный знаку полярного поля.
- Площади АО в КД не отличаются от площадей многих АО вне КД.

CONNECTION OF CORONAL HOLES WITH ACTIVE REGIONS, *by V.M. Malashchuk, V.G. Fainshtein, N.N. Stepanian, G.V. Rudenko.* Two qualitative parameters were determined for 643 coronal holes (CH). The parameter A characterizes the magnetic field variation with height in CH. Parameter B characterizes the connection of magnetic field in CH at the level of the photosphere with the polar field. The comparison of these parameters for CH with active regions (AR) inside them and without active regions led to the following conclusions.

- The arising of AR in CH is a frequent phenomenon. There exists AR in every second CH at least one day.
- The magnetic field configuration above CH with AR varies with height much more frequently than above CH without AR.
- Two of three CH have a sign of the photospheric field, opposite to the sign of the polar field.
- Areas of AR in CH are not differed from areas of many AR outside CH.

Ключевые слова: Солнце, корональные дыры, активные области

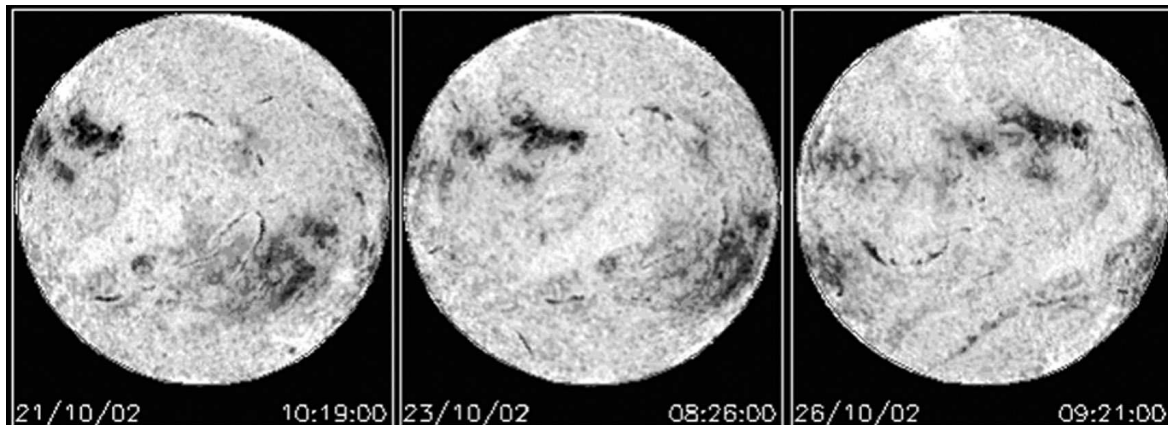


Рис. 1. Изображения Солнца в линии HeI λ 1083 нм 21, 23 и 26 октября 2002 г.

1 Введение

Статья является продолжением серии работ (Степанян, Малащук, 2002; Степанян, Малащук, 2008; Файнштейн и др., 2010; Малащук и др., 2011), посвященных исследованию связи солнечных корональных дыр (КД) с активными образованиями.

В настоящей работе рассматривается два типа корональных дыр: КД, содержащие активные области (АО) и не содержащие их. Определяются различия в структуре магнитных полей над КД этих типов в интервале высот от фотосферы до поверхности источника.

Под активной областью в данном случае понимается структура солнечной атмосферы размером, превышающим размер элементов сетки, отчетливо наблюдаемой в линии He 1083 нм в спокойных и промежуточных областях, и с минимальной яркостью, меньше средней яркости невозмущенных областей в инфракрасной линии гелия, которая принимается за 1. При этом наличие солнечных пятен в таких активных областях не рассматривается как необходимое условие их существования (такие области без пятен в хромосфере называют хромосферными флоккулами). В результате этого многие определенные таким образом активные области в корональных дырах не зарегистрированы в различных списках активных областей (например, в списках АО NOAA), выделение которых опирается на связь АО с солнечными пятнами.

2 Исходный материал

Исходным материалом послужили следующие данные для периода март 2000 г. – сентябрь 2005 г. (кэррингтоновские обороты CR1960-CR2034):

1. Изображения Солнца в инфракрасной линии HeI λ 1083 нм, полученные с универсальным спектрофотометром телескопа БСТ-2 НИИ “КрАО”. (Изображения Солнца за 3 последовательных дня представлены на рис. 1.)

На входящих в рассмотрение изображениях было отождествлено 643 КД.

2. Синоптические карты радиальной компоненты фотосферного магнитного поля Солнца B_R , рассчитанные для девяти высот в атмосфере Солнца. Методика построения карт подробно описана в работе (Файнштейн и др., 2011). Пример синоптических карт на уровне фотосферы ($H_0 = R_\odot$) и на высоте $H_6 = 2.5R_\odot$ приведен на рис. 2.

В табл. 1 приведены высоты в атмосфере Солнца, для которых были построены синоптические карты.

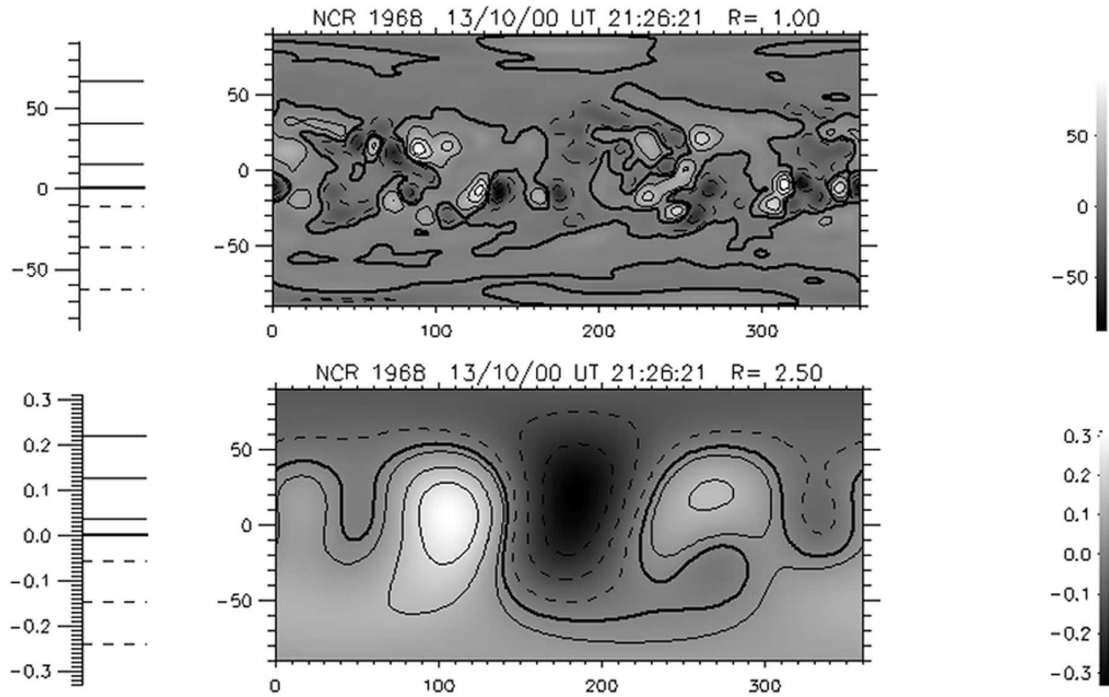


Рис. 2. Синоптические карты B_R для кэррингтоновского оборота CR1968 на высотах $H = R_\odot$ и $H = 2.5 R_\odot$

Таблица 1. Высоты в радиусах Солнца (R_\odot), для которых были построены синоптические карты продольного магнитного поля Солнца

Высота в R_\odot	1	1.0036	1.0144	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50

3 Обработка наблюдений

Изображения Солнца в линии HeI λ 1083 нм были переведены в гелиографические координаты и нанесены на синоптические карты радиальной компоненты магнитного поля на разных высотах. Методика построения этих карт описана в работе Файнштейна и др. (2011). Пример участков синоптических карт для разных высот с нанесенными наблюдениями в линии HeI λ 1083 нм за один день дан на рис. 3.

Для анализа использовались также синоптические карты полных оборотов Солнца с рассчитанными для разных высот положениями нулевых линий (линий смены полярности B_R) и нанесенными на них изображениями, представленными двумя интервалами интенсивности. $I > 1.01$ соответствует корональным дырам (темные области на рис. 4), $I < 0.9$ – активным областям (светло-серые области на рис. 4), $I = 1$ соответствует интенсивности невозмущенных областей.

На рис. 5 для одного дня наблюдений можно проследить изменение положения нулевых линий с высотой в области КД. Обратим внимание на КД, координаты центра которой $\varphi = 0^\circ$, $L = 50^\circ$. На высотах от фотосферы до $R_\odot = 1.0144$ КД почти полностью находится в области одного знака. Поле в КД сложное, т. к. в ее центре находится небольшая область поля противоположного знака. Для высот от $R_\odot = 1.25$ до $R_\odot = 1.50$ такая область уже не наблюдается. Восточная граница КД касается нулевой линии магнитного поля. Для больших высот нулевая линия расположена над КД.

Для двух небольших экваториальных КД на долготах 20° и 120° магнитное поле на всех высотах одного знака. Над протяженными КД на широтах 50° в обеих полусферах на уровне фотосферы и на

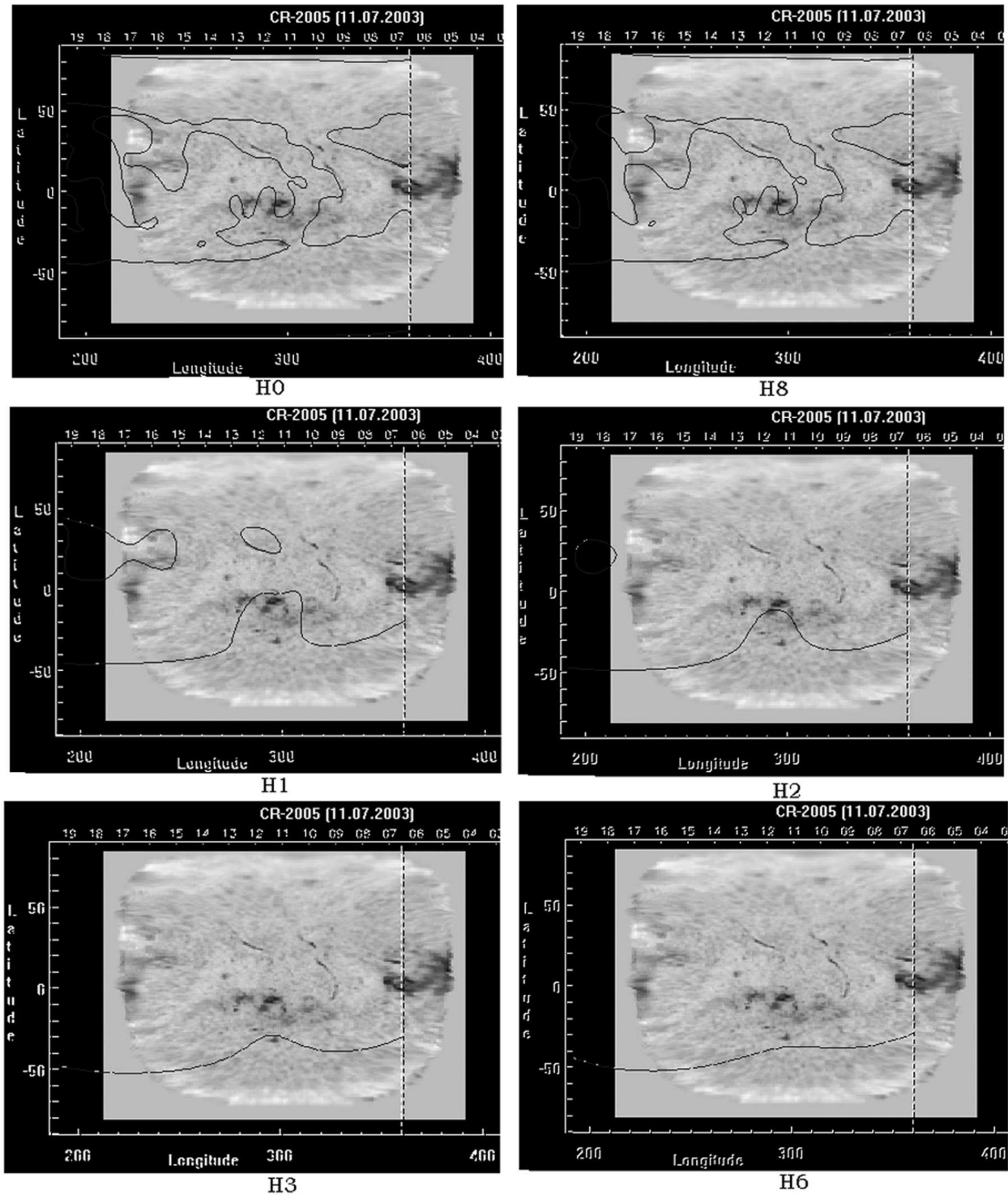


Рис. 3. Изображение Солнца в линии HeI λ 1083 нм 11 июля 2003 г. в гелиографических координатах, нанесенное на синоптические карты с нулевыми линиями радиальной компоненты магнитного поля для высот в атмосфере Солнца: $H_0 = R_{\odot}$, $H_8 = 1.0144R_{\odot}$, $H_1 = 1.25R_{\odot}$, $H_2 = 1.50R_{\odot}$, $H_3 = 1.75R_{\odot}$ и $H_6 = 2.50R_{\odot}$, где R_{\odot} – радиус Солнца

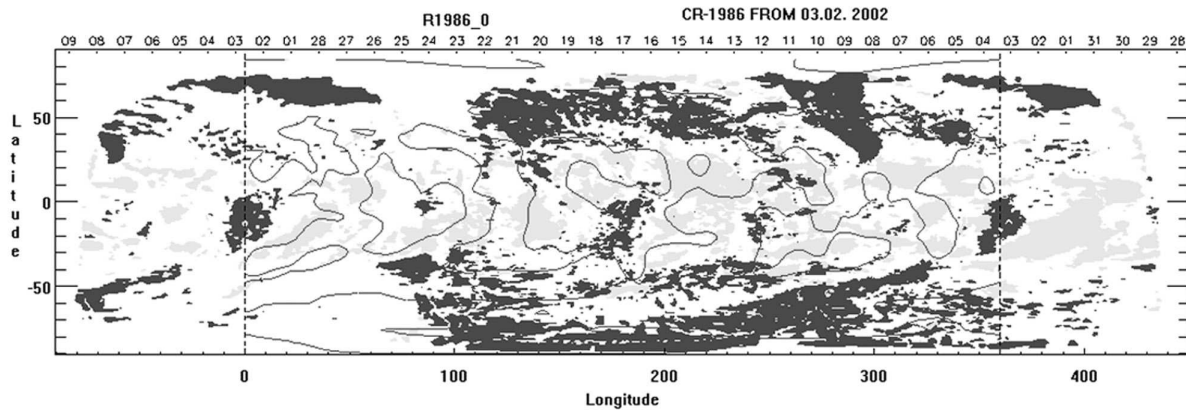


Рис. 4. Синоптическая карта для кэррингтоновского оборота CR-1986 с нанесенной на него нулевой линией радиальной компоненты фотосферного магнитного поля. Темные области – корональные дыры ($I > 1.01$), светло-серые – активные области ($I < 0.9$). $I = 1$ соответствует интенсивности невозмущенных областей

ближайшей к ней высоте расположены нулевые линии. На больших высотах в северном полушарии нулевая линия остается над КД. В южном полушарии над КД расположена обширная униполярная область.

Для всех КД были построены синоптические карты, подобные изображенным на рис. 5.

4 Результаты анализа данных

4.1 Частота встречаемости активных областей в корональных дырах

Корональные дыры и активные области в них были отождествлены нами на изображениях Солнца в линии HeI λ 1083 нм, аналогичных представленным на рис. 1.

На входящих в рассмотрение изображениях было отождествлено 643 КД. Из них 340 КД содержали АО (145 в N-полушарии, 195 в S-полушарии) и 303 КД не содержали АО (155 в N-полушарии, 148 в S-полушарии). В этот подсчет каждая КД входила столько раз, сколько дней мы ее наблюдали. Как видно из этих цифр, наличие АО в КД – весьма частое явление. В каждой второй КД хотя бы 1 день существовала АО.

4.2 Изменение магнитного поля с высотой над корональными дырами

Для оценки изменения с высотой конфигурации магнитного поля над КД был введен **параметр А** – *изменение поля с высотой*. Рассматривалось прохождение нулевой линии магнитного поля над КД на всех высотах. Принималось $A = 0$, если нулевая линия не проходит через КД ни на одной из высот, и $A = 1$, если нулевая линия проходит над КД хотя бы на одной высоте.

Таблица 2. Изменение магнитного поля с высотой над корональными дырами

КД с АО (340)		КД без АО (303)	
A = 0	A = 1	A = 0	A = 1
127 (37 %)	213 (63 %)	128 (42 %)	175 (58 %)

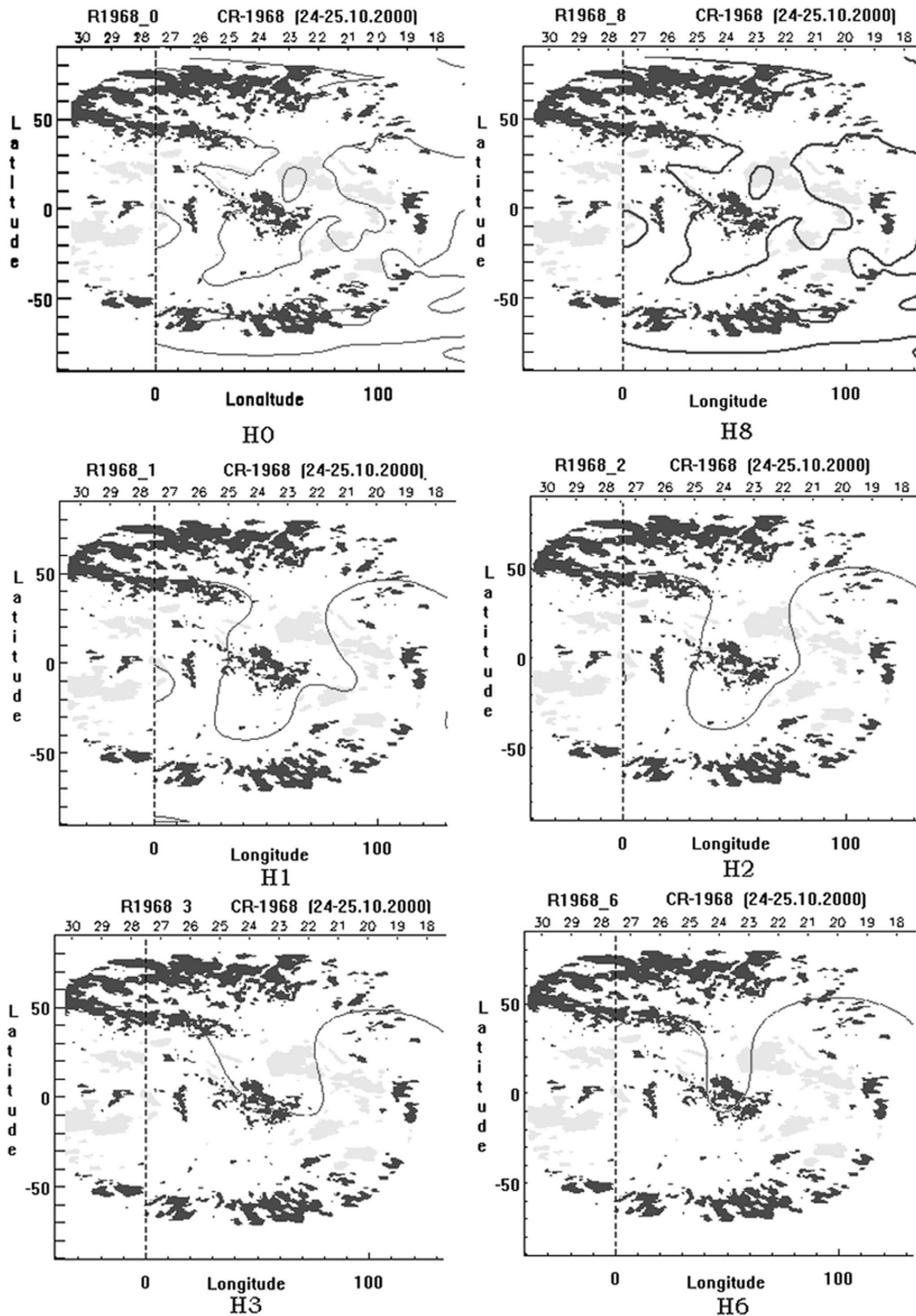


Рис. 5. Участки синоптических карт для разных высот в атмосфере Солнца. Темные области – участки с интенсивностью $I > 1.01$. Для светло-серых $I < 0.9$. Жирные линии – нулевые линии радиальной компоненты магнитного поля. Обозначения высот даны под каждым изображением и соответствуют следующим высотам, выраженным в радиусах Солнца: $H0 = R_{\odot}$, $H8 = 1.0144R_{\odot}$, $H1 = 1.25R_{\odot}$, $H2 = 1.50R_{\odot}$, $H3 = 1.75R_{\odot}$ и $H6 = 2.50R_{\odot}$, где R_{\odot} – радиус Солнца

Таблица 3. Распределение числа корональных дыр по значению параметра B

КД с АО (340)		КД без АО(303)	
$B = 0$	$B = 1$	$B = 0$	$B = 1$
117 (34 %)	224 (66 %)	155 (51 %)	147 (49 %)

Параметр B – связь с полярным полем. На высоте H_0 сравнивались знак магнитного поля в области КД и знак полярного поля в той же полусфере. Значение параметра равно 0, если знаки полярного поля и поля в области КД совпадают, и 1, если не совпадают. Знаки полярного поля взяты из (Файнштейн и др., 2011).

Подсчеты проводились отдельно в каждой полусфере отдельно для КД, содержащих АО и не содержащих АО. Результат представлен в табл. 3.

В среднем для всего Солнца и КД обоих типов изменение структуры поля с высотой встречается примерно в полтора раза чаще, чем поле одного знака на всех высотах.

Совпадение же знака поля КД на уровне H_0 с полярным полем наблюдается в 2 раза реже, чем несовпадение. Надо отметить, что все рассмотренные нами КД наблюдались после переполюсовки полярного поля и относились к средним широтам.

Из проведенного анализа КД с АО и без них можно сделать следующие выводы.

1. Возникновение АО в КД – частое явление.
2. Изменение с высотой конфигурации магнитного поля в области КД с АО встречается в полтора раза чаще, чем сохранение знака поля над КД на всех высотах. Для КД без АО число КД с меняющейся с высотой структурой поля заметно меньше.
3. На уровне фотосферы две из трех КД имеют знак поля, противоположный знаку полярного поля полусферы, в которой расположена КД.

4.3 Площади активных областей, возникающих в корональных дырах

В работах Шибаты и др. (1994 а,б) говорится о наблюдении в КД эфемерных АО, названных авторами “морскими анемонами”. В наших предыдущих работах (см. ссылки в начале статьи) мы описывали довольно крупные АО, возникшие в КД. Теперь, имея большой набор данных, мы решили найти распределение АО в КД по их размерам.

По изображениям Солнца в гелиографических координатах были определены площади активных областей, расположенных в КД. На рис. 6 представлена гистограмма распределения размеров АО в КД обеих полусфер. Размеры даны в квадратных градусах поверхности Солнца. Как видно на этом рисунке максимум распределения приходится на 25–30 квадратных градусов. Это сравнимо с площадью 2–3 супергранул. Заметное количество АО имеет и большие площади.

Отсюда можно сделать вывод, что активные области в КД не являются эфемерными. По площади они не отличаются от большого количества АО вне КД.

5 Выводы

- Возникновение АО в КД – частое явление. В каждой второй КД хотя бы 1 день существовала АО.
- Изменение с высотой конфигурации магнитного поля ($A = 1$) в области КД с АО встречается в полтора раза чаще, чем сохранение знака поля над КД на всех высотах ($A = 0$).
- Для КД без АО число КД с меняющейся с высотой структурой поля ($A = 1$) заметно меньше.
- На уровне фотосферы две из трех КД имеют знак поля, противоположный знаку полярного поля полусферы, в которой расположена КД ($B = 1$).

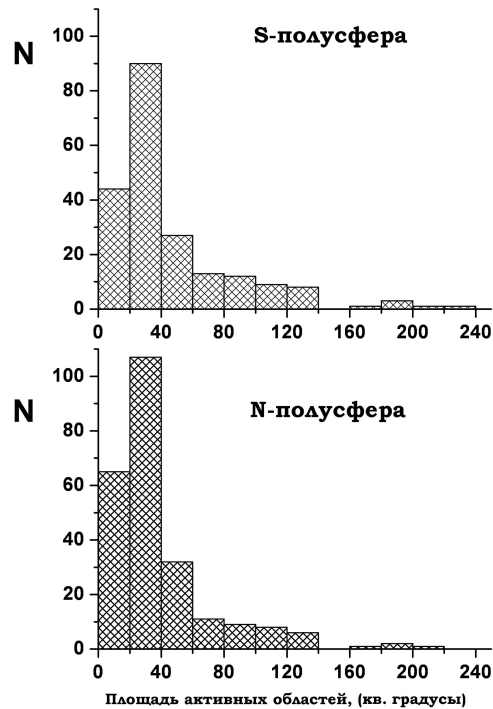


Рис. 6. Распределение по размерам активных областей, наблюдаемых в корональных дырах

— Активные области в КД не являются эфемерными. По площади они не отличаются от большого количества АО вне КД.

Литература

- Малащук и др. (Malashchuk V.M., Rudenko G.V., Stepanian N.N., Fainshtein V.G.) // Bull. Crim. Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 60.
- Степанян Н.Н., Малащук В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2002. Т. 98. С. 8.
- Степанян Н.Н., Малащук В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. № 2. С. 160.
- Файнштейн В.Г., Степанян Н.Н., Руденко Г.В., Малащук В.М., Кашапова Л.К. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2010. Т. 106. № 1. С. 7.
- Файнштейн и др. (Fainshtein V.G., Stepanian N.N., Akhtemov Z.S., Rudenko G.V., Silakova E.V.) // Bull. Crim. Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 51.
- Шибата и др. (Shibata K., Nita N., Matsumoto R., Tajima T., et al.) // X-Ray Solar Physics from Yohkoh. / Eds Uchida Y., Watanabe T., Shibata K., Hudson H.S. Tokyo: Universal Acad. Press. 1994a P. 29.
- Шибата и др. (Shibata K., Nita N., Strong K.T., Matsumoto R., et al.) // Astrophys. J. 1994b. V. 431. P. 51.