ИЗМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГРАНИЦ ГИГАНТСКОЙ КОРОНАЛЬНОЙ ДЫРЫ

Андреева О.А., Малащук В.М.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия
olga@craocrimea.ru

THE CHANGING IN THE VERTICAL BOUNDARIES OF A GIANT CORONAL HOLE

Andreeva O.A., Malaschuk V.M.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia
olga@craocrimea.ru

We analyzed the vertical boundaries of a long-lived coronal hole and their variation in the solar atmosphere with time. The investigations are based on ground and space observations. Analyze of the boundaries of CH on the different heights showed next: the boundaries of the GCH, determined from the observations, are very close both in the E-W direction in the N-S direction. The boundaries of the GCH, determined from the magnetic field lines for the photosphere, are in good agreement at the moments of the beginning and end of the existence of the GCH with the observed boundaries, and differ in the maximum development of the GCH. The maximum expansion of the coronal hole is from the photosphere to the chromosphere. Approximately at height of $1.0045R_{\odot}$ and beyond there is a radial expansion.

The results obtained are important in the development of methods for predicting the solar wind.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-31-34

Введение

Корональные дыры (КД) – это крупномасштабные области солнечной атмосферы с пониженной плотностью вещества и температуры. КД регистрируются как участки короны с пониженной эмиссией в мягком рентгене и одновременно, проявляются в различных линиях излучения из других слоев солнечной атмосферы (например, как места с более низкой эмиссией в линиях крайнего ультрафиолета и как более яркие участки в инфракрасном излучении в линии $\text{HeI } 10830\text{\AA}$). Наш интерес к корональным дырам связан с обнаружением границ на трех уровнях солнечной атмосферы. Решение вопроса о структуре КД существенно для понимания природы КД и условий возникновения высокоскоростных потоков солнечного ветра. Одной из характеристик структуры КД является изменение её вертикальных границ с высотой. Знание этих величин позволяет судить о характере расходимости силовых линий магнитного поля в КД.

Настоящая работа является продолжением серии работ [1–3], посвященных исследованию эволюции и влиянию на околоземное пространство долгоживущей гигантской КД (ГКД) 2015–2017 гг. Авторы получили ре-

зультаты анализа изменений таких эволюционных характеристик ГКД как площадь, интенсивность, напряженность МП и магнитный поток. Целью этой работы было исследование вертикальные границы ГКД, их изменение с высотой и временем.

Данные и методы исследования

Как и в предыдущих работах этой серии, были использованы наземные и космические наблюдения. Мы анализировали данные наблюдений в линии HeI 1083 нм полученные нами на Башенном Солнечном телескопе БСТ-2 (КрАО РАН), наблюдения космического аппарата SDO (AIA канал 19,3 нм и HMI канал 617,3 нм) за 13 кэррингтоновских оборотов (CR). В этой работе рассматривались 3 этапа эволюции КД (CR2165-2168 – начальная фаза, CR2177-2184 – фаза максимального развития ГКД и CR2187-2188 – завершающая). Для наших исследований мы брали по одному изображению ГКД для каждого из 13-ти CR, когда ГКД находилась вблизи центрального меридиана.

В процессе исследования мы использовали следующее программное обеспечение:

Пакет программ наблюдений и обработки данных наблюдений на телескопе БСТ-2 НИИ КрАО РАН – для предварительной обработки изображений в линии He I 10830Å и учета потемнения к краю.

SolarDataApplication (SDA) – разработанная нами ранее [2] специальная программа для проведения границ и определения гелиографических координат ГКД на заданных широтах и долготах изображений Солнца в линиях He I 10830Å (He I) и Fe XII 193Å (Fe XII).

SolarSoft PFSS – пакет программ, позволяющий строить силовые линии магнитного поля Солнца для высот $1.0R_{\odot}$ – $2.5R_{\odot}$ ($R_{\odot}$ – радиус Солнца) методом потенциального приближения из соответствующих фотосферных магнитограмм. Мы строили силовые линии для фотосферы – $1.0 R_{\odot}$.

Метод наложения изображений – для получения координат границ ГКД, проведенным по силовым линиям МП.

Ко всем данным была применена процедура предварительной обработки: для изображений в линии He I, учтено потемнение к краю и произведено нормирование яркости изображения. Изображения в линии Fe XII были приведены к масштабу изображений в линии He I. Для получения выделенных параметров контуров ГКД на диске Солнца мы воспользовались программой SDA.

Определение вертикальных границ ГКД

Обнаружение границ КД важно для оценки их размера и отслеживания их эволюции по времени и высоте, а также для сравнения физических свойств внутри и снаружи объекта. В настоящее время отсутствуют общепринятые как определение границ КД, так и технологии их идентифика-

ции. Главная причина этого заключается в том, что у КД часто отсутствуют резкие границы. В нашей работе для проведения границ ГКД мы воспользовались разработанной нами ранее программой SDA. Восточные (E) и западные (W) границы ГКД определялись на широте $\varphi = 40^\circ$. Северные и южные границы ГКД определялись на долготе, соответствующей меридиану, проходящему через середину ГКД на широте $\varphi = 40^\circ$. Гелиографические координаты ГКД на изображениях в линиях He I и Fe XII так же вычислялись по программе SDA. Для получения контуров ГКД на фотосфере использовался метод наложения изображений силовых линий, полученных при помощи PFSS, на исходные магнитограммы. Результат оконтуривания ГКД на изображениях диска Солнца за 17.05.2016 года для трех высот представлен на рис. 1.

Рис. 1. Контуров ГКД, проведенные на изображениях диска Солнца за 17.05.2016 для фотосферы ($1.0 R_\odot$), хромосферы ($1.0045 R_\odot$) и короны ($1.1 R_\odot$).

Рис. 2. Изменение со временем (а) – восточных (E) и западных (W), (б) – северных (N) и южных (S) границ ГКД для трех высот в атмосфере Солнца. Индексы указывают на уровень высоты (193 – корона, 10830 – хромосфера, mag/SDO – фотосфера).

Данные обработки материала позволили нам получить гелиографические координаты границ ГКД по наблюдениям в линиях He I и Fe XII и границ ГКД, полученных методом расчета силовых линий (PFSS). Все они

были использованы для построения графиков вертикальных E-W (рис. 2а) и N-S (рис. 2б) границ ГКД для 3 этапов ее развития (CR 2165–2168, 2177–2184 и 2187–2188).

Анализируя графики изображения Солнца на разных высотах можно заключить: E-W границы ГКД в хромосфере и короне очень близки. Это характерно для всех 3-х этапов ее эволюции. На стадии образования и в конце ее развития расширение от фотосферы до короны небольшое, в пределах 5–10 градусов. В стадии максимального развития расширение достигает 20 градусов. Развитие активных центров рядом с КД и внутри ее оказывает влияние на изменение вертикальных границ на всех уровнях атмосферы Солнца.

Результаты

- Границы ГКД, определенные по наблюдениям в линиях He I и Fe XII очень близки как в направлении E-W так в направлении N-S.
- Границы ГКД, определенные по силовым линиям магнитного поля для фотосферы хорошо согласуются в моменты начала и окончания существования ГКД с наблюдаемыми границами и отличаются в максимуме развития ГКД.
- Максимальное расширение корональной дыры происходит от фотосферы до хромосферы. Примерно, на высоте $1.0045 R_{\odot}$ и дальше идет радиальное расширение.

Полученные результаты важны при разработке методов прогноза солнечного ветра. Они показывают, что использование наблюдений корональных дыр только в линии He I, для прогноза недостаточно. Необходимо привлечение данных наблюдений короны и моделирование корональных магнитных полей по фотосферным наблюдениям.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-42-92017.

Литература

1. Андреева О.А., Малащук В.М., Ахтемов З.С., Жигалкин Р.К. // Изв. Крымск. Астрофиз. обс. 2018. Т. 114. № 1. С. 129–134.
2. Andreeva, O.A., Akhtemov, Z.S., Malashchuk, V.M., Zhigalkin, R.K. // Geomagnetism and Aeronomy. 2018, Vol. 58, No. 8, pp. 916–924. (in print)
3. Ахтемов З.С., Перебийнос В.А., Штерцер Н.И. // Изв. Крымской Астрофиз. обс. 2018. Т. 114, № 1, 123–128ю