



УДК 523.98

Форма солнечной короны и гелиосферный токовый слой

С. А. Язев (syazev@gmail.com)

А. А. Дворкина-Самарская (dsantonina@gmail.com)

Аннотация. Работа посвящена исследованию динамики гелиосферного токового слоя (ГТС) в ходе 23-го цикла Швабе – Вольфа солнечной активности по синоптическим картам распределения радиальной составляющей магнитного поля на поверхности источника (высота 2,5 радиуса Солнца). Показано, что минимум 23–24 циклов, определяемый по величине раствора гофрировки ГТС, наступил на 10 месяцев позднее минимума цикла, определенного по среднемесячным числам Вольфа. На примерах 7 полных солнечных затмений в 22–24-м циклах подтвержден полученный ранее другими авторами вывод о том, что конфигурация ГТС на поверхности источника определяет основные особенности структуры белой короны.

Ключевые слова: форма солнечной короны, гелиосферный токовый слой, цикличность солнечной активности

Введение

Структура солнечной короны исследуется давно, со времени первых осмысленных наблюдений полных солнечных затмений. Многочисленные исследования показывают, что структура короны чрезвычайно сложна и динамична и зависит, с одной стороны, от пространственного распределения активных образований на поверхности Солнца, а с другой стороны, от фазы солнечного цикла [9]. Типичные конфигурации солнечной короны для максимума и минимума цикла Швабе – Вольфа были описаны еще в конце XIX в. А. П. Ганским (см., например, [7]). Известно, что в период минимума цикла корона, как правило, упорядочена, наблюдаются два квазисимметричных радиальных «луча» на восточном и западном лимбах, вытянутые вдоль солнечного экватора, в то время как на полюсах наблюдаются полярные лучевые структуры (ПЛС) в виде систем «полярных щеточек», или «перьев» [2; 5]. В период максимумов корона выглядит «растрепанной» [9], корональные лучи наблюдаются практически на всех широтах.

В ряде работ [6; 21; 22] показано, что, по крайней мере, часть корональных структур тесно связана с существованием и динамикой гелиосферного токового слоя. Расчеты магнитного поля в потенциальном приближении на так называемой поверхности источника (сферическая поверхность на высоте 2,5 радиуса Солнца) показывают, что Солнце на этом уровне представляет собой относительно простую биполярную

магнитную структуру. Все силовые линии магнитного поля на поверхности источника предполагаются радиальными, потенциал на ней предполагается равным нулю [12].

Для одного из полушарий Солнца (северного или южного) на поверхности источника оказывается характерным один знак магнитного поля, для другого полушария – противоположный знак. Их разделяет нейтральная линия (НЛ) радиальной компоненты магнитного поля Солнца, представляющая собой сравнительно тонкий (около 5°) слой. НЛ в простейшем случае представляет собой изогнутую линию, напоминающую синусоиду, симметричную относительно гелиографического экватора [11]. Нейтральную линию можно рассматривать как сечение поверхностью источника гелиосферного токового слоя (ГТС), простирающегося в гелиосферу в виде гофрированной развевающейся юбки балерины. Вдоль ГТС наружу от Солнца распространяется так называемый медленный солнечный ветер [3; 21].

В последние годы показано, что конфигурации НЛ на уровне поверхности источника хорошо соответствует конфигурация так называемого пояса корональных стримеров или шлемовидных лучей [20]. Основу стримера составляет аркада вложенных магнитных петель над крупномасштабной линией раздела полярностей на уровне фотосферы и хромосферы. На высоте 1–2 радиуса Солнца вершины арок заостряются, образуя структуру типа каспа, на больших высотах стример сжимается в относительно узкий корональный луч. Под куполом стримера повышенной плотности, имеющем в сечении форму луковицы, находится полость с низкой плотностью, внутри которой, как правило, находится спокойный протуберанец, размещающийся вдоль фотосферной линии раздела полярностей [16].

Нейтральная линия на поверхности источника лишь в период минимума цикла активности примерно следует линии гелиосферного экватора. По мере приближения цикла к эпохе максимума форма НЛ становится все более сложной, ее изгибы уходят все дальше на высокие широты. В работе [8] А. В. Мордвиновым была выдвинута гипотеза, что именно изгибы НЛ, которым следует цепочка корональных стримеров, определили необычную форму короны во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. Стримеры, образовавшиеся благодаря изгибам НЛ на сравнительно высоких широтах, располагаясь вблизи солнечных лимбов, сформировали корональные лучи, удаленные от гелиоэкватора, что привело к нетипичной для предминимальной эпохи цикла форме короны.

В работе [23] показано, что ситуация в действительности оказывается более сложной: в некоторых случаях наблюдаются «псевдостримеры», отличающиеся от настоящих стримеров топологией магнитного поля. Как указано в [20], цепочки стримеров разделяют области с одинаковой магнитной полярностью, тогда как пояс корональных стримеров – области разной полярности.

Тем не менее, указанная выше гипотеза представляется в первом приближении разумной и способной объяснить особенности формы

солнечной короны, наблюдавшиеся во время полных солнечных затмений последних лет.

В настоящей работе приведены результаты сопоставления конфигурации НЛ на поверхности источника и формы короны, определенной по результатам наблюдений последней во время нескольких затмений в 23–24 циклах Швабе – Вольфа.

Динамика ГТС в 23-м и 24-м циклах Швабе – Вольфа

Во многих работах исследовалась величина «раствора гофрировки» ГТС, или «тилта» (от англоязычного термина *tilt*, см., например, [11]). Как указано в [11], математически эта величина определяется путем вычисления максимальных значений широты нейтральной линии магнитного поля на поверхности источника отдельно для северного и южного полушарий для каждого кэррингтоновского оборота.

Для определения пооборотных значений тилта к максимальному значению T_N северной широты на данном кэррингтоновском обороте прибавляется максимальное (по модулю) значение южной широты T_S . Сумма этих величин дает значение раствора гофрировки ГТС, или тилта T .

Для работы были использованы синоптические карты поверхности источника за период с 1909-го оборота (апрель 1996 г.) по 2123-й оборот (май 2012 г.), доступные на сайте <http://wso.stanford.edu/synsourcel.html>. На каждой карте были определены значения максимальной широты, достигаемые нейтральной линией в каждом полушарии в данном кэррингтоновском обороте. Результаты показаны на рис. 1.

Особые точки циклов Швабе – Вольфа традиционно определяются по формуле:

$$\tilde{W}_i = \left(\sum_{i-6}^{i+5} W_i + \sum_{i-5}^{i+6} W_i \right) / 24$$

(см., например, [12], где W_i – среднемесячные значения чисел Вольфа). Сглаженная кривая, построенная в соответствии с этой методикой, демонстрирует минимум между 23/24 циклами в точке 2009.0 – начале 2009 года, что соответствует 2078-му кэррингтоновскому обороту Солнца. Первым оборотом, относящимся к 24-му циклу, следует считать оборот № 2079 (январь 2009 г.). На рис. 1 показано поведение раствора гофрировки ГТС в течение 23-го – начале 24-го циклов, отдельно для северного и южного полушарий. На рис. 2, где показан суммарный тилт ГТС, видно, что тилт достигает минимального значения только к 2089-му обороту, спустя 10–11 оборотов после минимума цикла, определенного по числам Вольфа. Отметим, что именно в эту эпоху (июль–август 2009 г.) на Солнце впервые с 1913 г. на протяжении двух месяцев подряд на солнечном диске не наблюдалось ни одного пятна. Может быть сделан вывод о том, что минимум между 23/24 циклами, определенный по величине тилта, на 10–11 кэррингтоновских оборотов задержался по сравнению с минимумом, определенным по числам Вольфа.

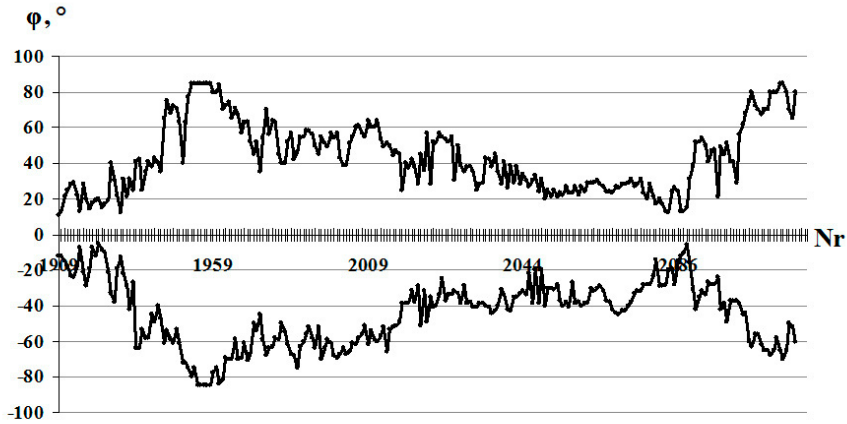


Рис. 1. Изменение максимальных отклонений нейтральной линии от экватора отдельно для северного и южного полушарий в течение 23-го и начале 24-го циклов Швабе – Вольфа. Nr – номера кэррингтоновских оборотов Солнца

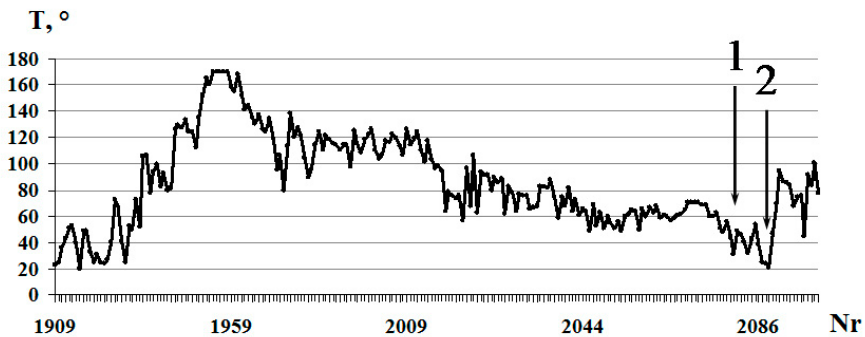


Рис. 2. Изменение тилта ГТС в течение 23-го и в начале 24-го циклов Швабе – Вольфа.

Стрелкой 1 показан минимум цикла, определенный по сглаженным значениям среднемесячных чисел Вольфа, стрелкой 2 – минимум, определенный по минимальному значению тилта

Рассмотрим ситуацию с величиной тилта в моменты предыдущих минимумов цикла.

Во время минимума, наступившего после 20-го цикла Швабе – Вольфа (1642-й кэррингтоновский оборот), НЛ отклонялась не более чем на 12° к северу и не более чем на 14° к югу от гелиографического экватора. Таким образом, тилт в момент минимума не превышал 26° , что близко к минимально наблюдавшимся значениям [13]. Для минимума, последовавшего после 21-го цикла (1780-й оборот), тилт равнялся 24° ; для минимума после 22 цикла (1909-й оборот) – 22° . Таким образом, судя по трем предыдущим циклам, для минимума цикла характерно значение $22\text{--}26^\circ$. В то же время

для минимума 23/24 циклов, в 2078-м обороте величина тилта составила 44°. Минимального значения (21°) тилт достиг в 2089-м обороте (октябрь 2009 г.), спустя 10 месяцев после минимума, определенного по числам Вольфа.

Хотя статистика невелика, тем не менее, можно отметить следующее. Моменты минимумов 20/21, 21/22, 22/23 циклов Швабе – Вольфа, определенные по сглаженным значениям среднемесячных чисел Вольфа, грубо совпадали с минимумами, определенными по минимальному значению раствора гофрировки (тилта) нейтральной линии магнитного поля на поверхности источника. Резко отличается в этом смысле минимум 23/24 циклов, для которого минимальное значение тилта наступило с опозданием в 10 месяцев после минимума, определенного по числам Вольфа.

Конфигурация нейтральной линии на поверхности источника и форма белой короны во время полных затмений

Согласно результатам, изложенным в работах [6; 8; 21; 22], форма короны Солнца в основном определяется конфигурацией нейтральной линии на поверхности источника, т. е. величиной тилта. Можно сопоставить прогнозы, построенные на основе анализа положения НЛ на синоптических картах поверхности источника, с данными наблюдений, выполненных во время полных солнечных затмений. Эти данные могут быть также сопоставлены с типами короны по классификации А. Т. Несмяновича [9; 10], как функциями от значения фазы цикла, на которой наблюдалось затмение.

Обратимся к экспериментальным данным. В нашем распоряжении находились снимки затмений в интегральном свете, полученные 29 марта 2006 г. совместной российско-монгольской экспедицией Института солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН и Научно-исследовательского центра по астрономии и геофизике Монгольской Академии наук в обсерватории на пике Терскол, Северный Кавказ [8; 14; 15], 1 августа 2008 г. экспедицией астрономической обсерватории ИГУ в западной Монголии (пустыня Гоби, [17]), а также 11 июля 2010 г. экспедицией ИСЗФ СО РАН и астрономической обсерватории ИГУ на о. Пасхи [19]. Кроме того, использовались комбинированные из многих снимков изображения короны, полученные группой выдающегося «охотника за затмениями Милослава Друкмюллера, доступные на его сайте <http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Eclipse/index.htm>.

Были отобраны семь затмений последних десятилетий, близких к эпохе минимума, – с фазами более 0,75 (в конце цикла) и менее 0,25 (в начале цикла). Используемые данные указаны в таблице.

Таблица

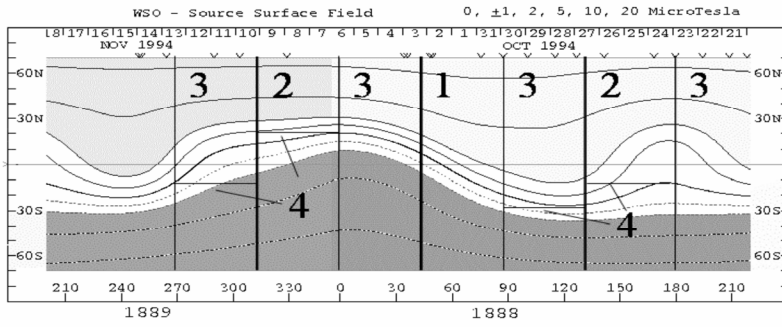
Символ затмения	Дата затмения	Фаза цикла Швабе – Вольфа	Авторы снимков
А	3.11.1994	0,81	Экспедиция Друкмюллера
Б	24.10.1995	0,90	Экспедиция Друкмюллера
В	9.03.1997	0,06	Экспедиция Друкмюллера
Г	29.03.2006	0,78	Экспедиция ИСЗФ, НИЦАГ МАН и АО ИГУ
Д	1.08.2008	0,96	Экспедиция АО ИГУ
Е	22.07.2009	0,05	Экспедиция Друкмюллера
Ж	11.07.2010	0,15	Экспедиция ИСЗФ и АО ИГУ

В первом столбце таблицы указаны буквенные символы затмений, которые используются далее, во втором столбце приведены даты затмений. В третьем столбце указана фаза цикла Швабе – Вольфа, которой соответствовала дата каждого затмения. В отличие от подхода, использованного в работе [9], значение фазы определялось как отношение промежутка времени от предыдущего минимума цикла до данного затмения, выраженного в месяцах, к общей продолжительности цикла [1]. Учитывая высокую степень схожести развития текущего 24-го и 16-го циклов активности, при расчетах фаз двух затмений 24-го цикла (Е и Ж) в качестве значения для продолжительности текущего цикла было взято значение для длительности 16-го цикла (см. статью С. А. Язева в этом номере журнала). В четвертом столбце указаны авторы фотоизображений короны, полученных во время затмений А – Ж.

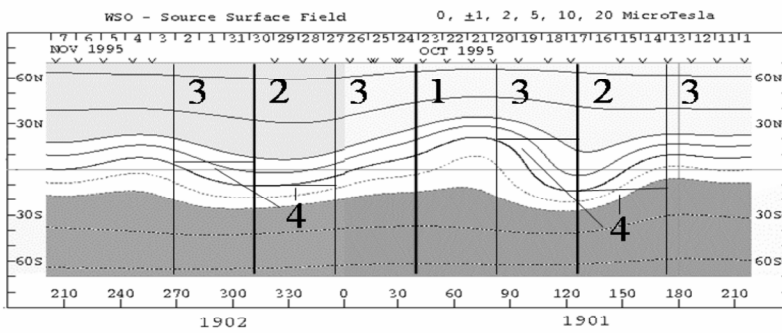
На рис. 3 показаны синоптические карты поверхности источника для кэррингтоновских солнечных оборотов, в которых наблюдались указанные затмения.

Линия, отмеченная цифрой «1», указывает положение центрального меридиана солнечного диска в момент затмения, линии, отмеченные цифрой «2» показывают соответствующие положения восточного (слева) и западного лимбов диска Солнца. Линиями, отмеченными цифрой «3», отмечены положения меридианов, находящихся на расстоянии 45° по долготе к востоку и к западу от каждого лимба. Цифрой «4» показаны границы диапазона, в пределах которого изменяется широта НЛ в рамках рассматриваемого долготного интервала вблизи лимбов.

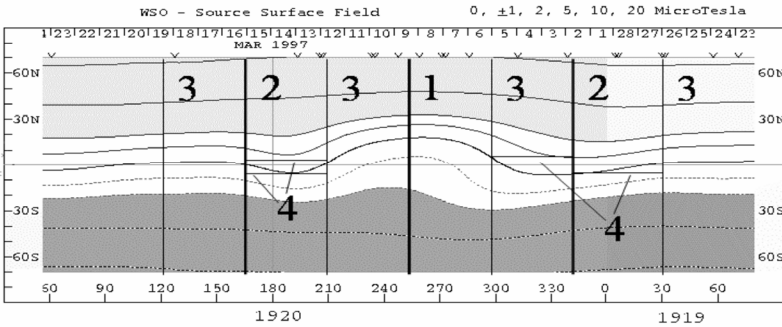
Было сделано предположение, что при наблюдениях короны на лимбах видны корональные лучи, укорененные в этих интервалах долгот. В результате на снимках затмений в картинной плоскости наблюдаются структуры, находящиеся в пределах до 45° от лимбов на видимом диске и в таких же пределах – на невидимом полушарии Солнца, «выглядывающая» из-за лимбов.



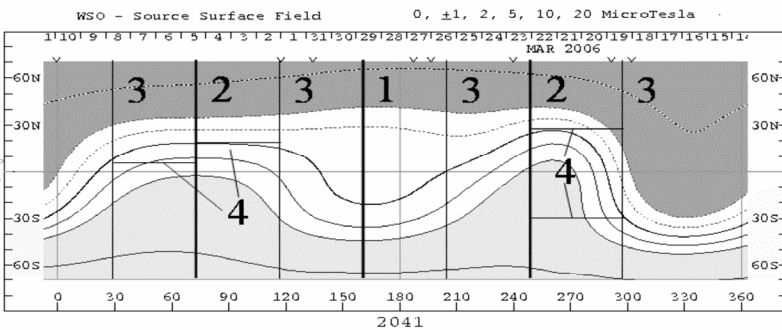
a



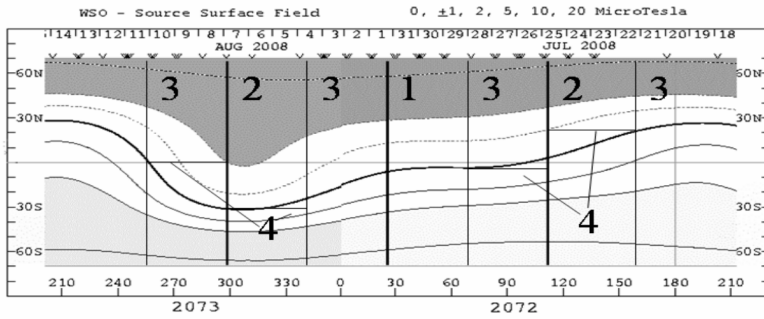
б



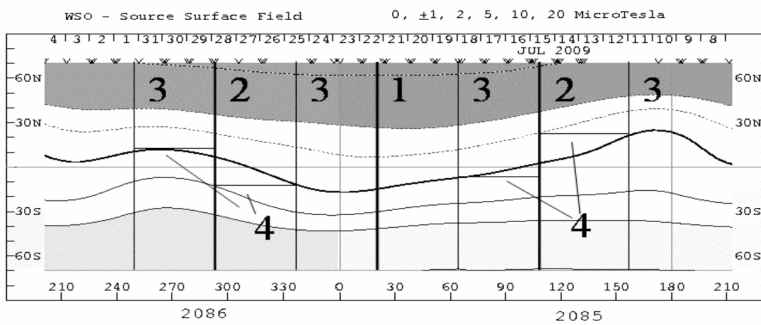
B



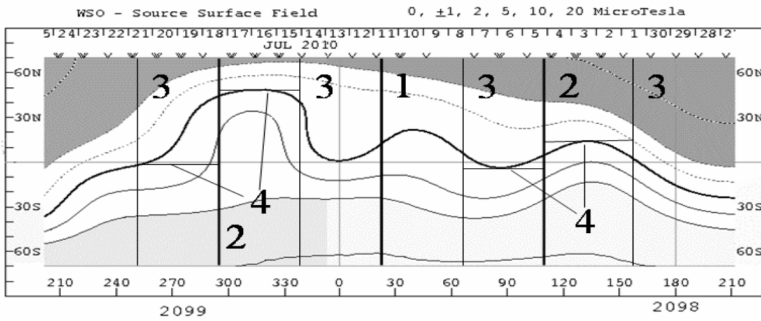
Г



Д



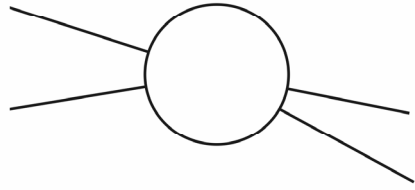
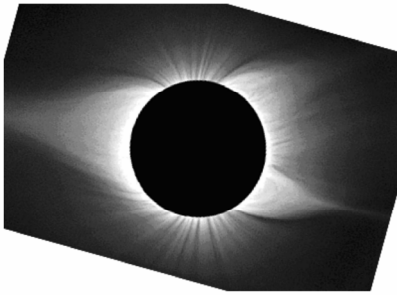
е



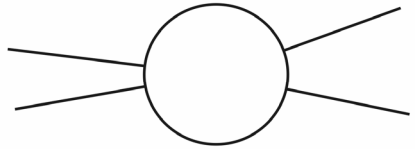
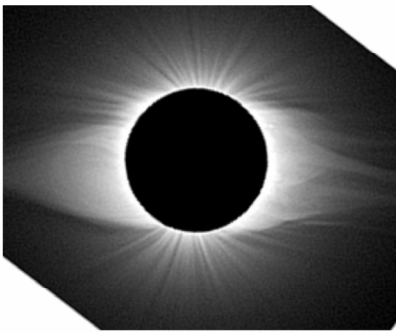
Ж

Рис. 3. Синоптические карты распределения магнитного поля на поверхности источника для полных солнечных затмений. Пояснения в тексте

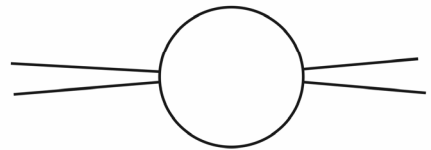
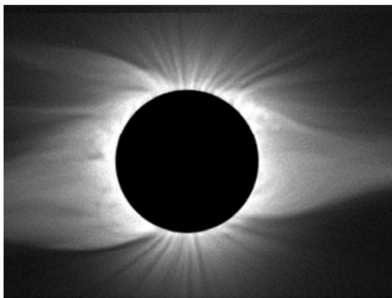
На основе измерения диапазона, в пределах которого изменяется широта нейтральной линии в указанных интервалах долгот для каждого лимба, определены предельные широты, на которых можно было ожидать появление корональных лучей во время затмений. Интервалы этих широт показаны на правых панелях рис. 4, на левых панелях приведены изображения короны, полученные во время полных затмений.



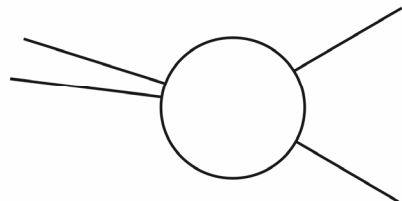
а



б



в



г

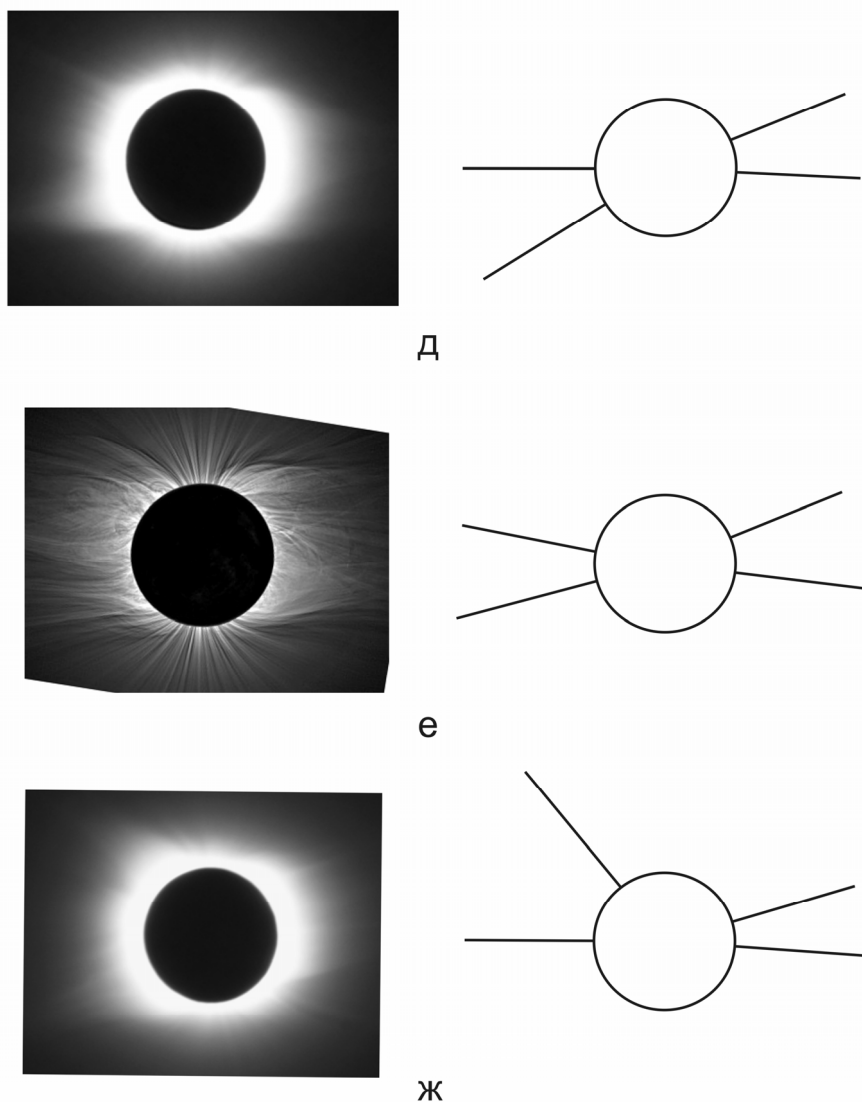


Рис. 4. Корона во время полных солнечных затмений.

Слева – фотографии короны, справа – прогнозные интервалы широт на лимбах, в пределах которых ожидалось корональные лучи, связанные с нейтральной линией на поверхности источника

Рассмотрим ситуацию на примере изображений солнечного затмения 3. 11. 1994. На рис. 4, *a* видно, что основные детали короны действительно определяются величиной отклонения НЛ от гелиоэкватора в пределах $\pm 45^\circ$ от лимбов. На западном лимбе в южном полушарии (на рисунке справа снизу) наблюдается ярко выраженный корональный стример, появление которого предсказано на соответствующем прогнозном рисунке на основе

отклонения НЛ в южное полушарие вблизи западного лимба (рис. 3, а). Малые отклонения НЛ от экватора вблизи восточного лимба позволили прогнозировать симметричный относительно экватора восточный луч, что также наблюдается на снимке.

Аналогичное рассмотрение выполнено и для других обсуждаемых случаев. В целом может быть сделан вывод о хорошем соответствии прогнозов (правая панель рис. 4) и реальных изображений короны. Таким образом, гипотеза о связи конфигурации нейтральной линии и формы короны находит подтверждение.

Заклучение

Сопоставление конфигурации нейтральной линии магнитного поля на поверхности источника с наиболее характерными деталями структуры белой короны, выявленными на затменных снимках, показывает, что выводы о связи этих образований, сделанные ранее в работах [3; 6; 21; 22], правомерны. Пояс корональных стримеров, располагается вдоль нейтральной линии, определяя общую форму белой короны в картинной плоскости. Основную роль играют структуры, расположенные на лимбах, однако свой вклад вносят и образования на нейтральной линии, располагающиеся вблизи (в интервалах долгот в пределах $\pm 45^\circ$) от лимбов.

По-видимому, затягивание фазы спада 23-го цикла Швабе – Вольфа почти на 3 года [18] по сравнению с ранними прогнозами [4] в совокупности с задержкой минимума, определяемой по величине тилта, привело к выводам об аномальной (не соответствующей фазе цикла) форме короны для затмений 2006, 2008 и 2009 г. [15; 17; 19]. Форма короны ранее оценивалась на основе неверных, как теперь известно, представлений о фазе цикла, закончившегося значительно позже, чем ожидалось. Вопрос о причинах задержки минимума цикла, описываемого в единицах величины тилта, пока остается неясным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-02-92202 Монг_а, Программы Президиума РАН № 4 и Госконтракта № 14. 518. 11. 7047

Список литературы

1. Дворкина-Самарская А. А. База данных «Солнечные затмения» / А. А. Дворкина-Самарская, Е. Ю. Лепешкина, С. А. Язев // Избранные проблемы астрономии : материалы науч.-практ. конф. «Небо и Земля» (г. Иркутск, 22–24 ноября 2011 г.) / науч. ред. С. А. Язев. – Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2011. – С. 99–104.
2. Долговременные изменения полярного магнитного поля Солнца по наблюдениям полных солнечных затмений / А. В. Мордвинов, С. А. Язев, Е. Г. Рыкова, А. А. Дворкина-Самарская // Солнечно-земная физика. – 2011. – Вып. 18. – С. 69–73.
3. Еселевич В. Г. Новые явления в солнечно-земной физике / В. Г. Еселевич // Солнечно-земная физика. – 2008. – Вып. 12, т. 1. – С. 119–121.

4. *Ишков В. Н.* Обзор состояния солнечной активности, геоэффективных явлений и их воздействий на околоземное космическое пространство на период 03.12.2006 [Электронный ресурс] / В. Н. Ишков. – URL: www.izmiran.ru
5. *Клепиков Д. В.* Поведение магнитных фокусов полярного поля в цикле солнечной активности по данным SOHO/EIT / Д. В. Клепиков, Б. П. Филиппов // Изв. РАН. Сер. физ. – 2006. – Т. 70, № 10. – С. 1436–1438.
6. *Коржов Н. П.* Магнитная структура системы Солнце – межпланетная среда / Н. П. Коржов // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. – М. : Наука, 1979. – Вып. 49. – С. 62–74.
7. *Масликов С. Ю.* Дракон, пожирающий Солнце. Полные солнечные затмения в России / С. Ю. Масликов. – М. : Мир Урании. – 2008. – 192 с.
8. Наблюдения солнечной короны во время затмения 29 марта 2006 года / В. С. Пещеров [и др.] // Избранные проблемы астрономии: материалы научно-практической конференции «Небо и Земля» (г. Иркутск, 21–23 ноября 2006 г.) науч. ред. С. А. Язев. – Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2006. – С. 151–156.
9. *Несмянович А. Т.* Изменение структуры короны с фазой солнечной активности / А. Т. Несмянович // Солнечная корона и корпускулярное излучение в межпланетном пространстве / под ред. С. К. Всехсвятского. – Киев : Изд-во Киев. ун-та, 1965. – С. 73–117.
10. *Несмянович А. Т.* Некоторые особенности магнитного поля в солнечной короне / А. Т. Несмянович // Астрон. журн. – 1962. – Т. 39. – С. 996–1002.
11. *Обридко В. Н.* Временные вариации положения гелиосферного экватора / В. Н. Обридко, Б. Д. Шельтинг // Астрон. журн. – 2008. – Т. 85, № 8. – С. 750–754.
12. *Обридко В. Н.* Магнитные поля и индексы активности / В. Н. Обридко // Плазменная гелиогеофизика : в 2 т. / под ред. Л. М. Зеленого, И. С. Веселовского. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – Т. 1. – С. 41–57.
13. *Обридко В. Н.* Некоторые аномалии эволюции глобальных и крупномасштабных магнитных полей на Солнце как предвестники нескольких предстоящих невысоких циклов / В. Н. Обридко, Б. Д. Шельтинг // Письма в Астрон. журн. – 2009. – Т. 35, № 4. – С. 279–285.
14. Российско-монгольские экспедиционные исследования полных солнечных затмений / С. А. Язев [и др.] // Сотрудничество СО РАН с Академией наук Монголии в рамках реализации совместных проектов: итоги и перспективы (этап 2011 г.): материалы науч.-практ. конф. – Иркутск : Петрографика, 2012. – Вып. 1. – С. 73.
15. Структура короны по наблюдениям полных солнечных затмений на предминимальной фазе 23 цикла солнечной активности / С. А. Язев [и др.] // Циклы активности на Солнце и звездах. Рабочее совещание-дискуссия. Москва, 18–19 декабря 2009 г. : сб. ст. – СПб., 2010. – С. 135–142.
16. *Филиппов Б. П.* Эруптивные процессы на Солнце / Б. П. Филиппов. – М. : Физматлит. – 2007. – 216 с.
17. *Язев С. А.* Наблюдения полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. в Монголии / С. А. Язев, Д. Батмунх // Земля и Вселенная. – 2009. – № 1. – С. 57–61.
18. *Язев С. А.* Переходная эпоха 23/24 циклов в контексте долговременных трендов солнечной активности / С. А. Язев // Циклы активности на Солнце и звездах. Рабочее совещание-дискуссия. Москва, 18–19 декабря 2009 г. : сб. ст. – СПб., 2010. – С. 197–204.
19. *Язев С. А.* Уникальное солнечное затмение 22 июля 2009 года: загадки природы и сюрпризы погоды // Земля и Вселенная. – 2010. – № 1. – С. 60–67.

20. *Eselevich V. G.* Study of the structure of streamer belts and chains in the solar corona / V. G. Eselevich, V. G. Fainshtein, G. V. Rudenko // *Solar Physics.* – 1999. – Vol. 188. – P. 277–297.

21. *Korzhev N. P.* Large-scale three-dimensional structure of the interplanetary magnetic field / N. P. Korzhov // *Solar Physics.* – 1977. – Vol. 55. – P. 505–517.

22. *Svalgaard L. J.* A model combining the solar magnetic field / L. J. Svalgaard, W. Wilcox, T. L. Duvall // *Solar Phys.* – 1974. – Vol. 45. – P. 83–97.

23. The solar eclipse of 2006 and the origin of raylike features in the white-light corona / Y.-M. Wang, J. B. Biersteker, N. R. Sheeley, Jr., S. Koutchmy, J. Mouette, M. Druckmuller // *Astroph. Journal.* – 2007. – Vol. 660. – P. 882–892.

Solar corona form and heliospheric current sheet

S. A. Yazev, A. A. Dvorkina-Samarskaya

Annotation. This paper represents an investigation into heliospheric current sheet (HCS) dynamics during the solar activity Schwabe-Wolf cycle 23 by synoptic maps for distribution of the magnetic field radial component on the source surface (the height being $2.5 R$). The minimum in cycles 23/24 determined by the HCS ripple solution value is shown to have come 10 months later that the cycle minimum determined by monthly-averaged Wolf numbers. In terms of 7 total solar eclipses in cycles 22–24, we show that the HCS configuration on the source surface determines the white corona structure basic peculiarities.

Key words: solar corona shape, heliospheric current sheet, solar activity cyclicity.

Язев Сергей Артурович
кандидат физико-математических наук,
Иркутский государственный университет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
директор астрономической обсерватории
ИГУ, доцент
Институт солнечно-земной физики СО
РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а
старший научный сотрудник
тел.: 8–902–511–54–19

Yazev Sergey Arkturovich,
Ph. D. in Physics and Mathematics,
Irkutsk State University
1, K. Marx str., Irkutsk, 664003
Director of Astronomical observatory
of Irkutsk State University,
Assistant Professor
Institute of Solar-Terrestrial Physics
of SB RAS
126a, Lermontova str., Irkutsk, 664033
senior researcher
tel.: 8–902–511–54–19

Дворкина-Самарская Антонина Анатольевна
кандидат физико-математических наук,
Восточно-Сибирская государственная
академия образования
664011, Иркутск, Нижняя Набережная, 6
доцент
тел. 8–9025–115–419

Dvorkina-Samarskaya Antonina Anatolievna
Ph. D. in Physics and Mathematics
East Siberian State Academy of Education
6, Nizhnyaya Naberezhnaya, Irkutsk,
664011
assistant professor
tel.: 8–950–144–69–26