

УДК 523.9

КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ 24-ГО ЦИКЛА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА SDO

© 2022 г. О. А. Андреева¹, *, В. И. Абраменко¹, **, В. М. Малащук¹, ***

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пос. Научный, Крым, Россия

*e-mail: olga@craocrimea.ru

**e-mail: vabramenko@gmail.com

***e-mail: mvm@craocrimea.ru

Поступила в редакцию 26.02.2021 г.

После доработки 23.03.2021 г.

Принята к публикации 27.05.2021 г.

Исследовалась динамика площадей корональных дыр и их локализация на Солнце в 24-м и минимуме 24–25-го циклов солнечной активности. Исследование базируется на данных наблюдений, полученных инструментом Atmospheric Imaging Assembly в линии железа Fe XII 19.3 нм на борту космического аппарата Solar Dynamics Observatory в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. Разделение всех корональных дыр рассматриваемого периода на полярные и неполярные показало: ежедневная суммарная площадь полярных корональных дыр увеличивается в минимумах солнечной активности и снижается в максимуме цикла. Это согласуется с общим представлением о полярных корональных дырах, как основном источнике дипольного магнитного поля Солнца. Наблюдается асимметрия площадей полярных корональных дыр в северной и южной полусферах, которая требует дальнейших объяснений. Показано, что площади неполярных корональных дыр меняются квазисинхронно с пятенной активностью Солнца, что позволяет предположить наличие физической связи этих двух явлений. По-видимому, природа магнитных полей полярных и неполярных корональных дыр разная. Магнитные силовые линии неполярных корональных дыр, возможно, представляют собой очень высокие петли, замыкающиеся через корону на других областях Солнца, в то время как магнитные силовые линии полярных корональных дыр уходят далеко в гелиосферу.

DOI: 10.31857/S001679402106002X

1. ВВЕДЕНИЕ

Закончившийся недавно 24-й цикл солнечной активности (СА) был одним из самых слабых за последние 100 лет наблюдений. Он отличался по ряду параметров от предшествующих циклов. Известно, что цикл 24 имел меньший максимум и более низкую вспышечную активность, чем предыдущие циклы. В этом цикле наблюдалась относительно большая северо-южная асимметрия инверсии полярного поля: знак поля на Северном полюсе изменился более чем на год раньше, чем на Южном. Цикл также обладал сильной асимметрией полушарий по многим параметрам. Более детально особенности 24-го цикла и его характеристики описаны в работе [Ишков, 2018].

Общепринято, что индекс числа солнечных пятен (SN) отражает одиннадцатилетнюю солнечную цикличность. На рисунке 1 показано изменение пятенной активности на протяжении исследуемого периода. Толстую кривую серого цвета – сглаженные за 13 месяцев ежедневные суммарные числа солнечных пятен – мы будем

использовать для дальнейшего анализа. Ежедневные суммарные SN взяты с сайта Королевской Бельгийской обсерватории (<http://sidc.oma.be/silso/datafiles#hemi>).

Согласно работе [Ishkov, 2020], 24-й цикл начался в январе 2009 г. и закончился в декабре 2019 г. Фаза минимума I – (01.2009–12.2010 гг.), фаза роста – (01.2011–08.2013 гг.), фаза максимума – (09.2013–09.2014 гг.), фаза спада – (10.2014–03.2016 гг.), фаза минимума II – (04.2016–12.2019 гг.). Ветвь роста – (01.2009–04.2014 гг.), ветвь спада – (10.2014–12.2019 гг.). Этот цикл имел два пика максимума СА. Основному пику в апреле 2014 г. на фазе роста предшествовал пик пониже, в январе 2012 г.

При описании цикла солнечной активности в фотосфере и нижележащих слоях Солнца выделяют две топологически различные системы солнечных магнитных полей (СМП). Это тороидальная система, включающая активные области (AR), пятна, вспышки, корональные выбросы массы, средне- и низкоширотные униполярные магнитные области и т.д., и полоидальная система – вы-

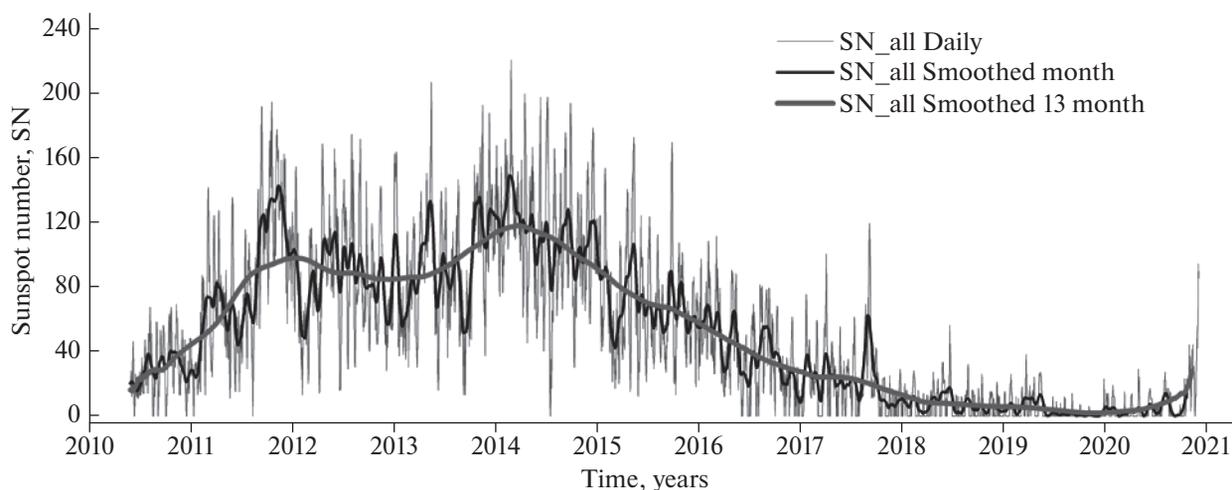


Рис. 1. Изменение индекса числа солнечных пятен (Sunspot number, SN) в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. построено по источнику (<https://solarmonitor.org/index.php>). Тонкая серая кривая (SN_all Daily) – ежедневные исходные данные. Сглаженные данные: за месяц – черная (SN_all Smoothed month), за 13 месяцев – толстая серая кривая (SN_all Smoothed 13 month). По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

сокоширотные магнитные поля, полярные корональные дыры, зональные униполярные магнитные области и т.д. [Бруцек и Дюрран, 1980; Mackay and Yeates, 2012]. Эти две системы связаны между собой полем движения солнечной плазмы, а именно, ее дифференциальным вращением, конвекцией и т.д. [Вайнштейн и др., 1980; Charbonneau, 2010]. Свойства этих двух систем СМП существенно различаются [Kraiev, 2019]. Магнитные поля солнечных пятен в основном можно представить, как биполярные структуры с размерами, существенно меньшими радиуса Солнца на уровне фотосферы, и максимальной напряженностью порядка нескольких килогаусс. Системы магнитных полей корональных дыр имеют большие размеры (для высокоширотных – больше радиуса Солнца), небольшую среднюю напряженность $\approx 1\text{--}10$ Гс и являются униполярными. Эти две системы СМП развиваются в противофазе, т.е., когда число и суммарная площадь солнечных пятен с периодом ~ 11 лет достигают максимума, площадь полярных корональных дыр минимальна, а напряженность высокоширотных магнитных полей меняет знак. И наоборот, когда площадь корональных дыр достигает максимума, число и площадь пятен близки к нулю, а полярность ведущих и ведомых пятен биполярных структур, связанная со знаком подфотосферных полей, меняет знак. Обе системы СМП необходимы для понимания цикличности солнечной активности в рамках теории динамо [Charbonneau, 2010].

Корональные дыры (coronal holes, CHs) – неотъемлемая часть цикла СА, поскольку они представляют открытое магнитное поле Солнца. Эволюция CHs тесно связана с эволюцией крупномасштабных магнитных полей Солнца. Коро-

нальные дыры являются отражением глобальных, внутренних процессов на Солнце. Исследуя динамику CHs, в частности их площади, можно судить о динамике Солнца, о том, как прогрессирует цикл.

Цель настоящей работы – анализ циклических вариаций ежедневных суммарных площадей CHs (ежедневные суммарные площади корональных дыр, далее Sch, или площади CHs) и их локализации на Солнце в исследуемый период. Нам важно также было понять, имеются ли различия в площадях, занятых CHs в северном (N) и южном (S) полушариях, и выявить особенности поведения полярных и неполярных CHs в разных фазах 24-го цикла.

2. ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ, МЕТОДЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В данной работе исследуются временные вариации площадей CHs 24-го и начала фазы минимума 24–25-го циклов. Наше исследование базируется на данных наблюдений, полученных инструментом Atmospheric Imaging Assembly (AIA) [Lemen et al., 2012] в линии железа Fe XII 19.3 нм на борту космического аппарата (КА) Solar Dynamics Observatory (SDO) с 13.05.2010 по 31.12.2020 гг. (<https://solarmonitor.org/index.php>).

Для локализации CHs и определения их площадей мы воспользовались базой Гелиофизических событий HEK – Heliophysics Event Knowledgebase [Hurlbert et al., 2012]. Инструментом для извлечения информации о CHs послужил комплекс процедур SPoCA – Spatial Possibilistic Clustering Algorithm, подробно описанный в работах [Barra et al., 2009; Verbeeck et al., 2014]. SPoCA-

Таблица 1. Данные о количестве корональных дыр, зарегистрированных в период 13.05.2010–31.12.2020 гг.

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Дни	233	364	366	365	365	365	357	365	365	365	366	3876
CHs N-hem	418	539	1072	1333	1174	887	887	806	740	577	536	8974
CHs S-hem	387	724	1189	1055	1041	855	707	685	628	597	545	8413
CHs N_S_eq	23	107	270	190	117	174	96	106	78	17	0	1178
CHs N_pol	190	229	230	198	299	251	411	452	485	495	478	3718
CHs S_pol	267	409	375	171	291	397	364	425	437	506	501	4143
CHs N_nonpol	228	310	842	1135	875	636	476	354	255	82	58	5251
CHs S_nonpol	120	315	814	884	750	458	343	260	191	91	44	4270
Всего CHs	805	1263	2261	2388	2215	1742	1594	1491	1368	1174	1081	17382

Примечание. В верхней строке таблицы (Год) перечислены года исследуемого периода. Вторая строка (Дни) – число дней наблюдений CHs, которые анализировались в каждом году. Ниже представлена ежегодная информация по числу CHs для северной (CHs N-hem) и южной (CHs S-hem) полусфер, а также по числу CHs, пересекающих экватор (CHs N_S_eq). В следующих строках таблицы приведена ежегодная статистика по числу полярных (CHs N_pol, CHs S_pol) и неполярных CHs (CHs N_nonpol, CHs S_nonpol) для северной и южной полусфер, соответственно. Самая нижняя строка (Всего CHs) – суммарное за год количество CHs, зарегистрированных на всей видимой поверхности Солнца. Крайняя правая колонка (Всего) отражает суммарное количество соответствующих каждой строке величин за весь исследуемый период.

suite – это набор многоканальных алгоритмов нечеткой кластеризации, которые автоматически сегментируют солнечные изображения EUV в набор функций. Комплекс процедур SPoCA разделяет ARs, спокойное Солнце и CHs через минимизацию нечеткой внутриклассовой дисперсии. Он выполняет сегментацию до $0.99 R_{\odot}$, исключая структуры вне диска. Благодаря этим базам данных нами был получен массив ежедневных суммарных площадей CHs за исследуемый период. Единица измерения площади корональной дыры – Mm^2 .

В таблице 1 приведены статистические данные по обработке корональных дыр в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. В процессе исследования нами обработан достаточно большой наблюдательный материал: ~11 лет наблюдений CHs – это 3876 дней. Мы приняли, что площадь корональной дыры, пересекающей экватор, делится на две части, и каждая относится к соответствующей полусфере, в зависимости от ее местоположения. С учетом этого, в N-полусфере зарегистрировано 8974, а в S-полусфере – 8413 корональных дыр. За этот период было проанализировано всего 17382 CHs, из них 1178 CHs пересекали экватор. Мы рассматривали две группы CHs: полярные и неполярные, определение которых дано в параграфе 4. За исследуемый период в N-полусфере наблюдалось 3718 полярных и 5251 неполярная CHs, в S-полусфере – 4143 полярных и 4270 неполярных CHs, соответственно. Таблица показывает, что статистический объем представленного материала достаточно обширный и дает основания для изучения динамики разных типов CHs в течение цикла.

В результате обработки массива исходных данных, выделенных из изображений EUV методом SPoCA, мы получили временные вариации площадей CHs для всей видимой поверхности диска Солнца и отдельно для обеих полусфер (рис. 2).

3. ЭВОЛЮЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ

Мы проанализировали динамику площадей всех корональных дыр отдельно для каждого полушария. Сглаженные за полгода площади CHs северного и южного полушарий, на фоне кривой хода пятенной активности 24-го цикла, показаны на рис. 3.

Видно, что на фазах роста и спада, а также в первом максимуме цикла идет доминирование площадей в S-полусфере, а в начале второго максимума (2014 г.) по площадям доминирует N-полусфера. На ветви спада, после марта 2016 г. и во втором минимуме амплитуды площадей CHs обеих полусферах становятся соизмеримы, и наблюдается ярко выраженный характер синусоидальных изменений площадей в противофазе. Природа этого эффекта носит искусственный характер. Этот геометрический эффект обсуждается ниже, в разделе 4.2.

4. ДВА ТИПА КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР

Мы исследовали два типа CHs: полярные (CHs_pol) и изолированные, или неполярные (CHs_nonpol), [Bilenko and Tavastsherna, 2016]. Пример таких CHs приведен на рис. 4.

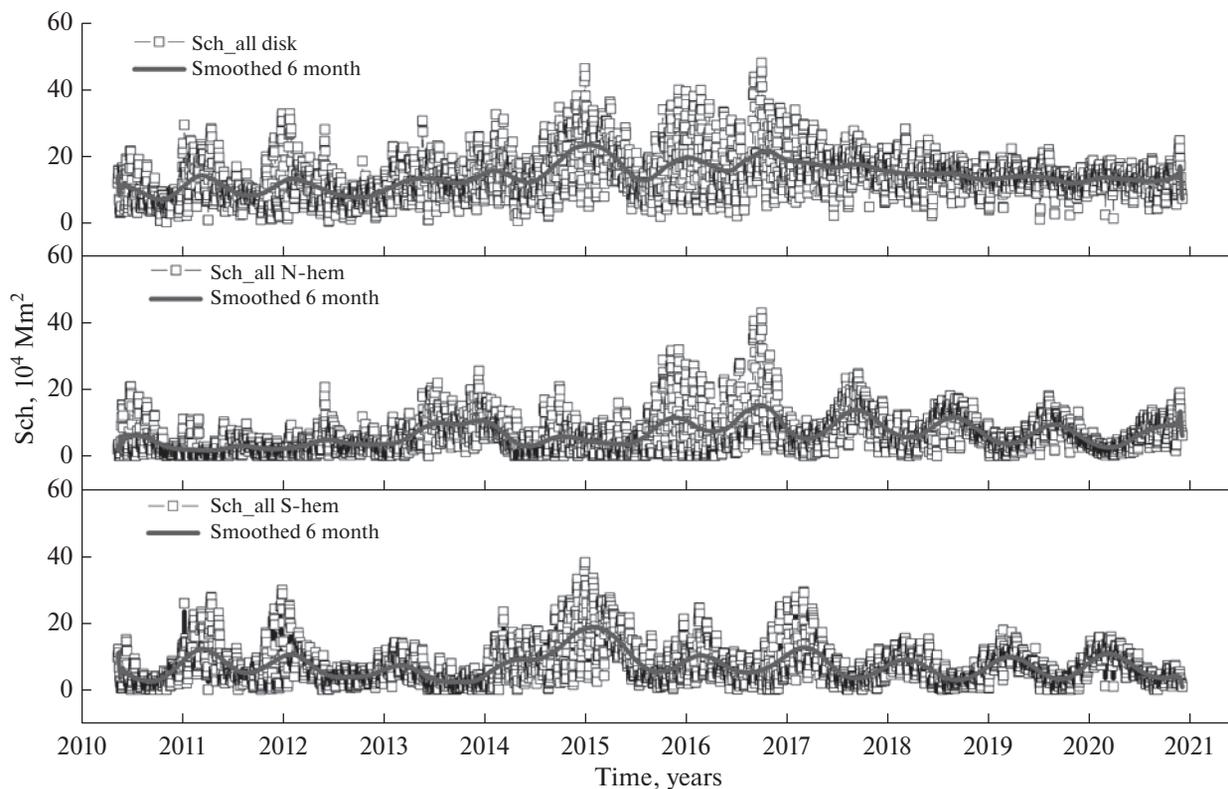


Рис. 2. Временные вариации ежедневных суммарных площадей всех корональных дыр в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. Верхняя панель – для всей видимой поверхности Солнца (Sch_all disk); средняя (Sch_all N-hem) и нижняя (Sch_all S-hem) – для северной и южной полушфер, соответственно. Для всех трех панелей: ось ординат (Sch) – суммарные площади корональных дыр; полые квадратики (Sch_all disk, Sch_all N-hem, Sch_all S-hem) – исходные, черные кривые (Smoothed 6 month) – сглаженные за полгода соответствующие данные. По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

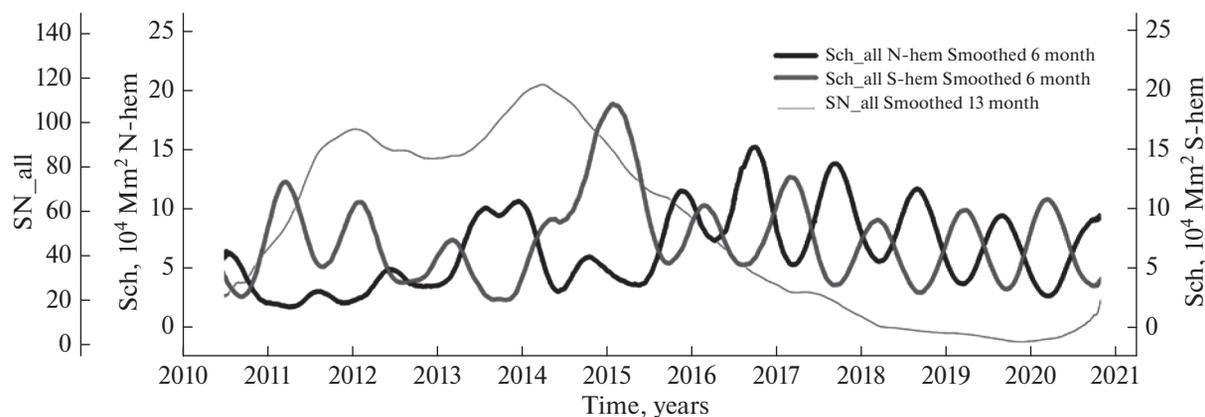


Рис. 3. Эволюция площадей корональных дыр двух полушарий в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. Черная (Sch_all N-hem Smoothed 6 month) и серая (Sch_all S-hem Smoothed 6 month) толстые кривые – сглаженные за полгода ежедневные суммарные площади всех корональных дыр северной и южной полушфер, соответственно. Тонкая серая кривая (SN_all Smoothed 13 month) – 13-месячные сглаженные числа солнечных пятен. По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

Первая группа – полярные СНs, которые расположены на солнечных полюсах (SPoCA 23064, 23027, 23717, 23632) и имеют продолжительность

жизни, сравнимую с продолжительностью жизни солнечного цикла. К этой категории также относятся расширения СНs, такие как “хобот слона”

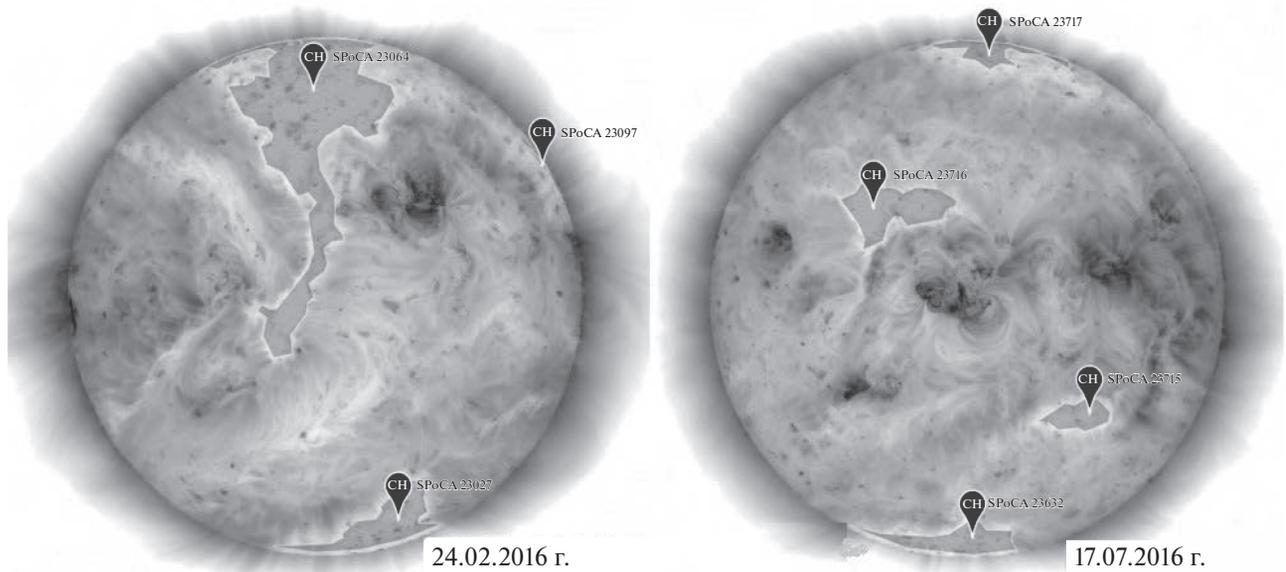


Рис. 4. Инvertированные изображения Солнца, полученные SDO/AIA 24.02.2016 и 17.07.2016 гг. в линии Fe XII 19.3 нм. Области на диске Солнца с пометкой CH – корональные дыры, выделенные из изображения EUV методом SPoCA. CHs с номерами SPoCA 23027, 23064, 23632, 23717 – полярные, SPoCA 23097, 23715, 23716 – неполярные. Темные образования на диске Солнца с пометкой AR – активные области.

(SPoCA 23064), которые иногда спускаются до средних и низких широт и даже переходят в противоположное полушарие.

Второй тип – это изолированные, или неполярные, CHs (SPoCA 23715, 23716, 23097), которые в основном ограничены низкими, средними, иногда и высокими широтами, но не связанные с полярными CHs. Они живут от нескольких дней до нескольких кэррингтоновских оборотов.

4.1. Динамика площадей двух типов корональных дыр в 24-м цикле

Временные изменения площадей полярных и неполярных CHs по всей видимой поверхности Солнца показаны на рис. 5 и рис. 6. Рисунок 5 – исходные и сглаженные за месяц данные по площадям полярных и неполярных CHs (верхняя и нижняя панели соответственно). На рисунке 6 – те же площади всех полярных и неполярных корональных дыр, но сглаженные уже за полгода, на фоне кривой пятенной активности.

На рисунке 6 видно, что максимумы площадей, занятых полярными CHs, приходятся на фазы роста и спада, а в максимуме цикла SA преобладают площади неполярных CHs. Их максимум совпадает с максимумом цикла. Из этого графика следует: неполярные CHs связаны с пятенной активностью. Возможно, их происхождение и привязка к активным областям имеет физическую природу.

Важно также отметить, что после 2016 г. на фазе спада и второго минимума площади неполярных CHs существенно уменьшаются и повторяют ход числа солнечных пятен. Площади полярных CHs держатся на более-менее стабильном уровне. В работе [Andreeva and Malashchuk, 2020] нами было показано, что в данной фазе цикла площади полярных CHs вносят более ощутимый вклад, чем изолированные CHs (~80%), в общую площадь всех рассматриваемых CHs.

4.2. Вариации площадей корональных дыр двух типов в северной и южной полусферах

Мы также исследовали особенности поведения полярных и неполярных CHs в северной и южной полусферах (рис. 7 и рис. 8). На нижней панели рис. 7 четко видна асимметрия активности самого Солнца по распределению площадей полярных CHs в полушариях. Это хорошо просматривается на фазах роста, максимума и начала спада SA. В N-полушарии площади полярных CHs имели стабильно низкие значения, а в S-полушарии на фазе роста и спада площади CHs имели значительные амплитуды.

Квази-асинхронная цикличность изменения площадей полярных CHs по полушариям на фазе спада и второго минимума, обусловлена изменением угла наклона оси вращения Солнца со временем (B_0 – верхняя панель рис. 7). На этом графике угол B_0 меняется с точно таким же периодом, как площади полярных CHs.

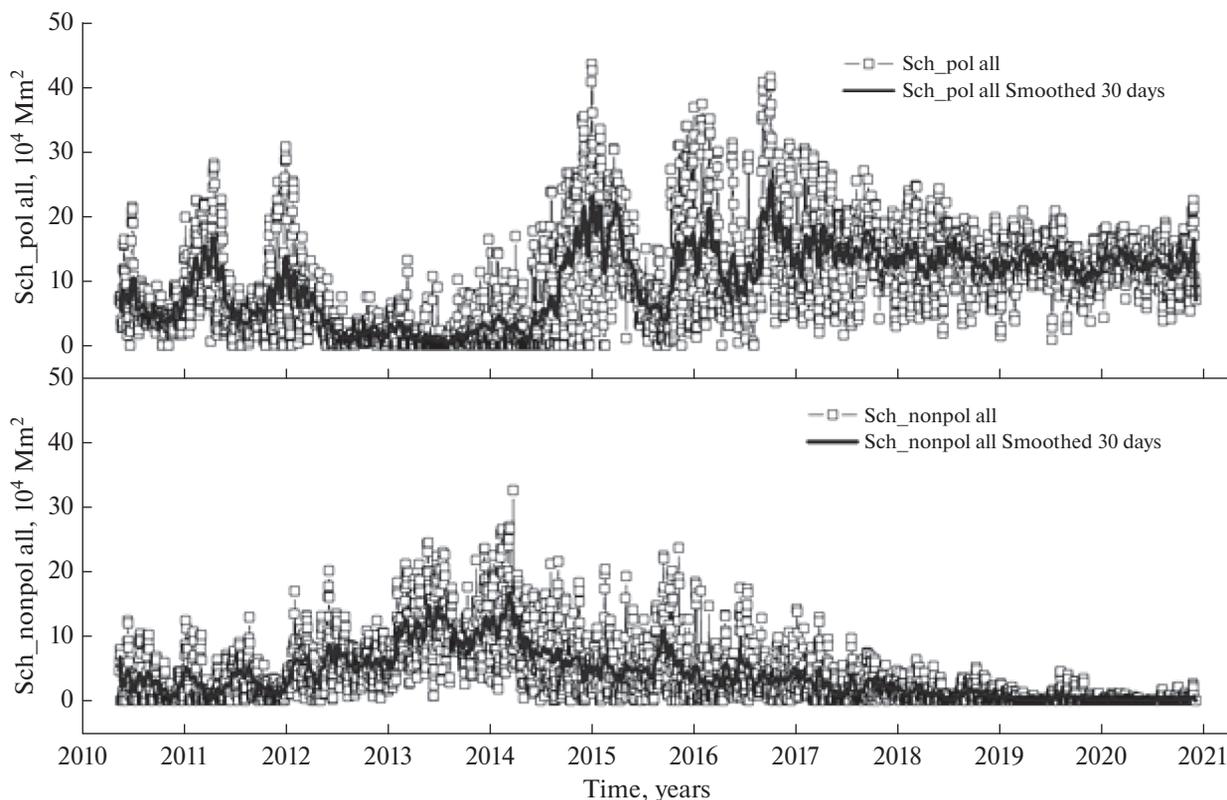


Рис. 5. Вариации площадей двух видов корональных дыр в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. На верхней панели (Sch_pol all) – ежедневные суммарные площади полярных, на нижней (Sch_nonpol all) – неполярных корональных дыр. Полые квадратики (Sch_pol all, Sch_nonpol all) – исходные, черные кривые (Sch_pol all Smoothed 30 days, Sch_nonpol all Smoothed 30 days) – сглаженные за месяц данные. По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

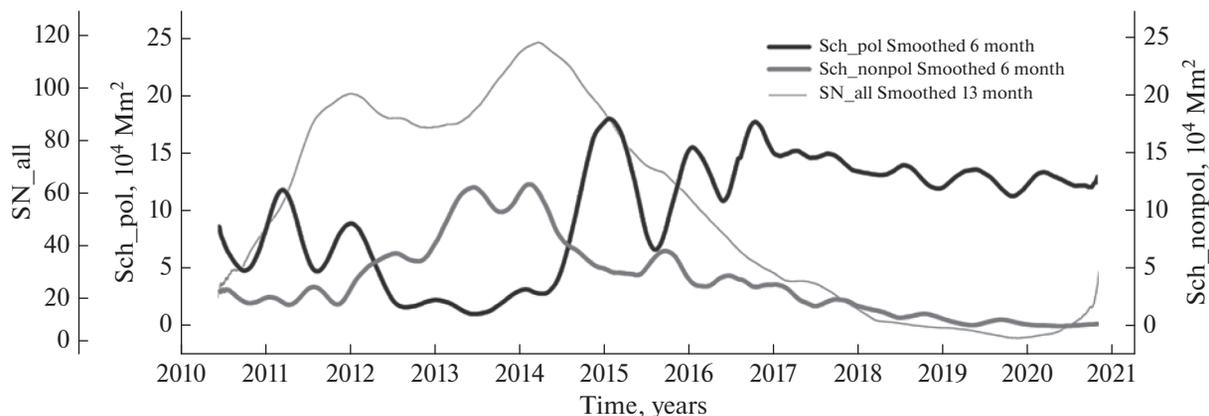


Рис. 6. Эволюция площадей полярных и неполярных корональных дыр в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. Толстые кривые: черная (Sch_pol Smoothed 6 month) и серая (Sch_nonpol Smoothed 6 month) – сглаженные за полгода ежедневные суммарные площади всех полярных и неполярных корональных дыр видимой поверхности диска Солнца. Тонкая серая кривая (SN_all Smoothed 13 month) – 13-месячные сглаженные числа солнечных пятен (SN_all) за тот же период. По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

Динамика изменения площадей неполярных СНs отражена на рис. 8. На графике видно, что изменение площадей неполярных СНs в обоих полушариях происходит синхронно с циклом.

По обеим полушариям мы видим согласие тренда площадей с общим ходом цикла. Как N-, так и S-полушария выявляет четкий максимум по площадям СНs в максимуме цикла активности и

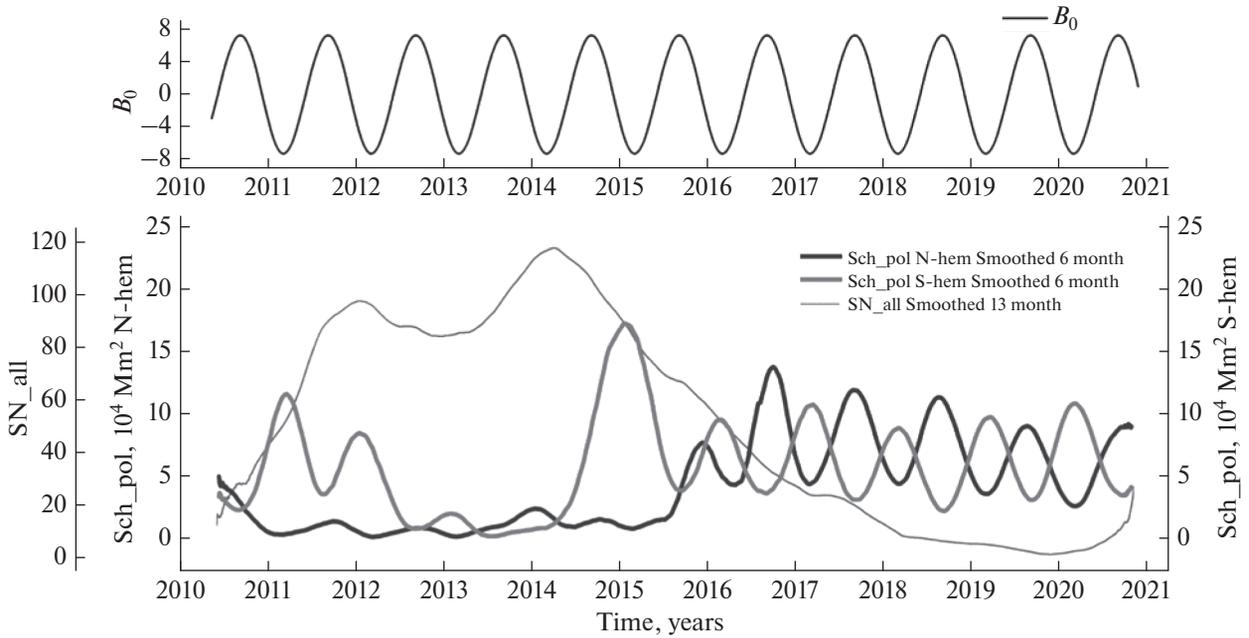


Рис. 7. Эволюция площадей полярных корональных дыр в двух полушариях в период 13.05.2010 – 31.12.2020 гг. Нижняя панель: черная (Sch_pol N-hem Smoothed 6 month) и серая (Sch_pol S-hem Smoothed 6 month) толстые кривые – сглаженные за полгода ежедневные суммарные площади полярных корональных дыр северной и южной полусфер соответственно. Тонкая серая кривая (SN_all Smoothed 13 month) – 13-месячные сглаженные числа солнечных пятен за тот же период. Верхняя панель: изменение угла наклона оси вращения Солнца, со временем (B_0). По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

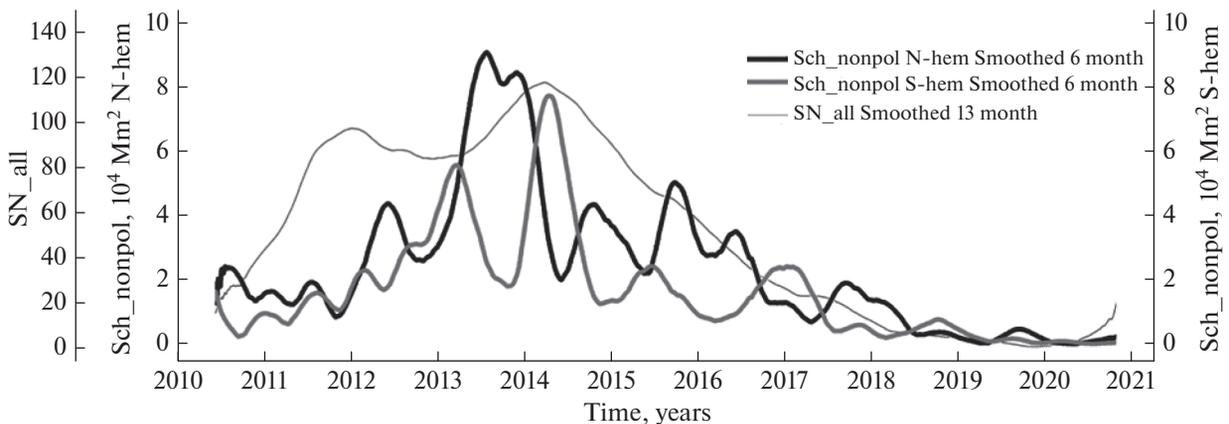


Рис. 8. Эволюция площадей неполярных корональных дыр в двух полушариях в период 13.05.2010–31.12.2020 гг. Толстые черная (Sch_nonpol N-hem Smoothed 6 month) и серая (Sch_nonpol S-hem Smoothed 6 month) кривые – сглаженные за полгода ежедневные суммарные площади неполярных корональных дыр северной и южной полусфер соответственно. Тонкая серая кривая (SN_all Smoothed 13 month) – 13-месячные сглаженные числа солнечных пятен за тот же период. По оси абсцисс отложено время в годах (Time, years).

плавный последующий спад. Максимум площадей неполярных СНs северного полушария на ~0.5 года предвещает максимум цикла по пятнам. Детали их различия можно будет объяснить, когда мы полностью изучим аналогичную статистику для пятен.

Таким образом, неполярные СНs повторяют солнечную активность, при этом так же, как и для пятен, наблюдается асимметрия полушарий: толстые черные и серые кривые на рис. 8 противофазные, особенно наглядно это выражено в период максимума.

Данные наблюдений площадей корональных дыр показывают, что на всех масштабах Солнца N- и S-полушария вели себя по-разному в 24-ом цикле.

5. ВЫВОДЫ

Исследована динамика площадей корональных дыр 24-го и минимума 24–25-го циклов. Разделение всех CHs рассматриваемого периода на полярные и неполярные показало следующее.

1. Ежедневная суммарная площадь полярных CHs увеличивается в минимумах СА и снижается в максимуме цикла. Это согласуется с общим представлением о полярных CHs как основном источнике дипольного магнитного поля Солнца [Ikhsanov and Ivanov, 1999; Hess Webber et al., 2014].

2. Наблюдается асимметрия площадей полярных CHs в N- и S-полусферах, которая требует дальнейших объяснений.

3. Площади неполярных CHs меняются квази-синхронно с пятенной активностью Солнца, что позволяет предположить наличие физической связи этих двух явлений.

4. По-видимому, природа МП полярных и неполярных CHs разная. Неполярные CHs, возможно, представляют собой очень высокие петли, замыкающиеся через корону на других областях Солнца, в то время как полярные CHs уходят далеко в гелиосферу.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

SDO является проектом программы NASA Living With a Star. Данные SDO/AIA были предоставлены центром Joint Science Operation Centre (JSOC). Авторы выражают благодарность команде проекта Heliophysics Event Knowledgebase (НЕК) за возможность доступа к базам данных CHs.

Мы также благодарим WDC-SILSO, Королевская обсерватория Бельгии, Брюссель, за возможность использовать данные о числах солнечных пятен.

Мы высоко ценим усилия анонимного рецензента, чьи комментарии и критика привели к улучшению рукописи.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов с другими исследователями в данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бруцек А., Дюрран Ш. Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов (ред.). М.: Мир. 254 с. 1980.
- Вайнштейн С.И., Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А. Турбулентное динамо в астрофизике. М.: Наука. 354 с. 1980.
- Ишков В.Н. Космическая погода и особенности развития текущего 24-го цикла солнечной активности // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 58. № 6. С. 785–800. 2018.
- Andreeva O.A., Malashchuk V.M. Sunspot activity and coronal holes during the declining phase of cycle 24 // Geomagn. Aeronomy. V. 60. № 8. P. 1093–1100. 2020.
- Barra V., Delouille V., Kretzschmar M., Hochedez J.-F. Fast and robust segmentation of solar EUV images: algorithm and results for solar cycle 23 // Astron. Astrophys. V. 505. P. 361–371. 2009.
- Bilenko I.A., Tavastsherna K.S. Coronal hole and solar global magnetic field evolution in 1976–2012 // Solar Phys. V. 291. P. 2329–2352. 2016.
- Charbonneau P. Dynamo models of the solar cycle // Living Rev. Sol. Phys. V. 7. id. 3. 2010. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2010-3>
- Ikhsanov R., Ivanov V. Properties of space and time distribution of solar coronal holes // Solar Phys. V. 188. P. 245–258. 1999.
- Ishkov V.N. The Current 24th cycle of solar activity in the minimum phase: preliminary results and features of development // Cosmic Res. V. 58. № 6. P. 436–443. 2020.
- Hess Webber S.A., Karna N., Pesnell W.D., Kirk M.S. Areas of polar coronal holes from 1996 through 2010 // Solar Phys. V. 289. № 11. P. 4047–4067. 2014.
- Hurlburt N., Cheung M., Schrijver C. et al. Heliophysics event knowledgebase for the Solar Dynamics Observatory (SDO) and beyond // Solar. Phys. V. 275. P. 67–78. 2012.
- Krainev M.B. Manifestations of two branches of solar activity in the heliosphere and GCR intensity // Solar-Terrestrial Physics. V. 5. № 4. P. 10–20. 2019.
- Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J. et al. The Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on the Solar Dynamics Observatory (SDO) // Solar Phys. V. 275. № 1. P. 17–40. 2012.
- Mackay D.H., Yeates A.R. The Sun’s global photospheric and coronal magnetic fields: Observations and model // Living Rev. Sol. Phys. V. 9. № 6. 2012. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2012-6>
- Verbeecq C., Delouille V., Mampaey B., De Visscher R. The SPoCA-suite: software for extraction, characterization, and tracking of active regions and coronal holes on EUV images // Astron. Astrophys. V. 561. A29. 2014. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321243>