

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР И ПОВТОРЯЕМОСТЬ МАГНИТНЫХ БУРЬ С ПОСТЕПЕННЫМ НАЧАЛОМ

Веретененко С.В.¹, Огурцов М.Г.^{1,2}, Обридко В.Н.³, Тлатов А.Г.⁴

¹*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

³*ИЗМИРАН, Троицк, Россия*

⁴*Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия*

LONG-TERM VARIATIONS OF CORONAL HOLE AREA AND OCCURRENCE OF MAGNETIC STORMS WITH GRADUAL COMMENCEMENTS

Veretenenko S.V.¹, Ogurtsov M.G.^{1,2}, Obridko V.N.³, Tlatov A.G.⁴

¹*Ioffe Institute RAS, St. Petersburg, Russia*

²*Central (Pulkovo) astronomical observatory RAS, St. Petersburg, Russia*

³*IZMIRAN, Troitsk, Russia*

⁴*Mountain astronomical station of the Pulkovo observatory RAS, Kislovodsk, Russia*

Long-term changes of coronal hole (CH) areas reconstructed on the base of H α synoptic charts for the period 1887–2016 and annual occurrence frequencies of magnetic storms with gradual commencements (GC) were studied. It was revealed that temporal variations of mean yearly values of CH areas in the Northern and Southern hemispheres are characterized by pronounced ~ 11 -year periodicities, but differ noticeably on the multidecadal time scale. The wavelet spectra of CH areas in the Southern hemisphere, unlike those of the Northern one, reveal persistent periodicities of ~ 30 – 35 years throughout the entire studied time interval, which results in the corresponding variations of the North-South asymmetry of CH areas. Similar periodicities of ~ 30 – 35 years were found to dominate in the spectra of total occurrence frequencies of major and moderate storms with gradual commencements. The obtained results suggest that the indicated periodicities in occurrence of GC magnetic storms are closely related to the evolution of large-scale magnetic fields of the Southern hemisphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-49-52

Корональные дыры (КД) представляют собой крупномасштабные долгоживущие структуры на Солнце, возникающие в униполярных областях с открытой конфигурацией магнитных силовых линий и наблюдаемые в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах как участки с пониженной яркостью [1]. Корональные дыры являются источником высокоскоростных потоков солнечного ветра, с которыми связаны геомагнитные возмущения, играющие важную роль в механизме солнечно-атмосферных связей. Целью данной работы является исследование долговременных изменений площади КД в северном и южном полушариях и их связи с повторяемостью магнитных бурь с постепенным началом.

В качестве исходного материала использовались площади КД, реконструированные на основе $N\alpha$ синоптических карт для отдельных кэррингтоновских оборотов по методике [2] за период 1887–2016 гг. На рис. 1а приведены осредненные за год значения площади КД в северном и южном полушариях. Видно, что временные изменения площади КД в указанных полушариях заметно различаются, коэффициент корреляции между ними составляет 0.54 (значимость $P = 0.998$ согласно оценкам по методу рандомизации фаз [3]) (рис. 1б).

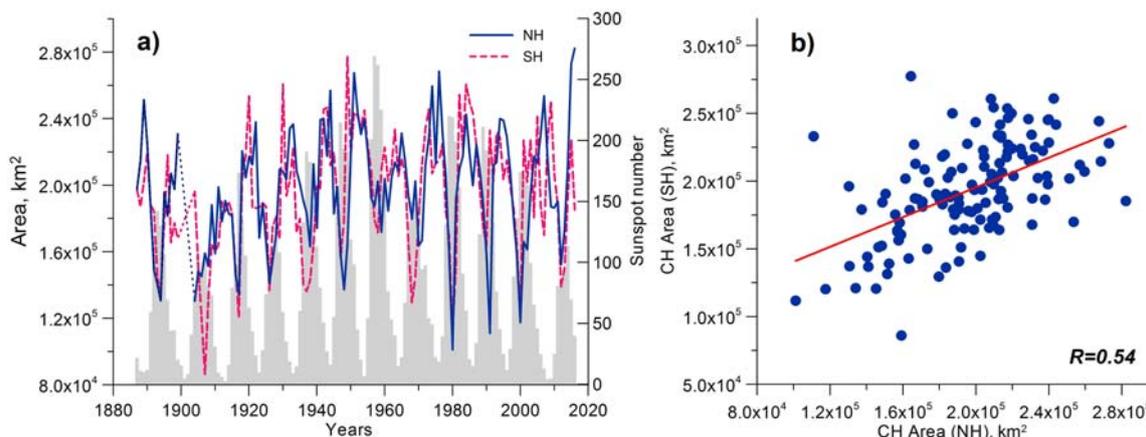


Рис. 1. а) Временной ход среднегодовой площади КД в северном и южном полушариях и чисел солнечных пятен по данным [4] (гистограмма); б) связь между площадями КД северного и южного полушария.

Данные на рис. 1а показывают, что площади КД достигают наибольших значений вблизи минимумов 11-летних циклов. В таблице приводятся коэффициенты корреляции $R(S_{CH}, SSN)$ между среднегодовыми значениями площади КД (S_{CH}) и числа солнечных пятен SSN [4] при разных временных сдвигах площади КД относительно SSN . Видно, что корреляция отрицательна в максимуме цикла и положительна на спаде цикла, достигая $\sim 0.6-0.7$ ($P \geq 0.99$) при сдвиге на 4–5 лет. Коэффициенты корреляции $R(S_{CH}, SSN)$ несколько выше для северного полушария.

Таблица.

Сдвиг, годы	Площадь КД, СП	Площадь КД, ЮП	Суммарная площадь КД
0	-0.504 (0.874)	-0.330 (0.866)	-0.475 (0.882)
1	-0.307	-0.121	-0.243
2	0.024	0.207	0.132
3	0.372	0.510	0.503
4	0.597 (0.992)	0.586 (0.999)	0.674 (0.998)
5	0.610 (0.993)	0.528 (0.989)	0.648 (0.995)
6	0.454	0.365	0.465
7	0.199	0.162	0.205

На рис. 2 приведены вейвлет-спектры (базис Морле) среднегодовых значений площади КД в северном и южном полушариях. Видно, что временные вариации площади КД в обоих полушариях характеризуются четко выраженной ~ 11 -летней периодичностью, но заметно различаются на мультидекадной шкале. В спектрах площади КД южного полушария, в отличие от северного, постоянно присутствуют периодичности ~ 30 – 35 лет, обнаруженные в повторяемости магнитных бурь с постепенным началом [5] и близкие к климатическому циклу Брюкнера [6]. Указанные периодичности, по-видимому, усиливались в южном полушарии в ~ 1920 – 1980 гг. и ослабевали в северном. Соответствующие вариации с периодом ~ 35 – 40 лет были выявлены в NS-асимметрии площади КД.

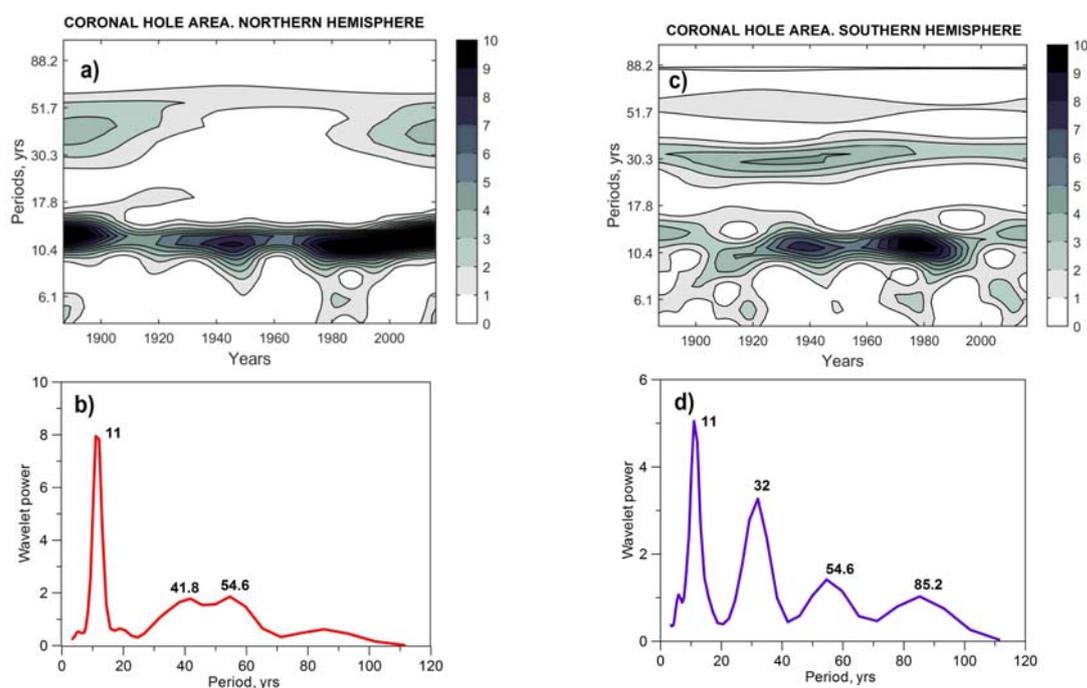


Рис. 2. а) Локальные (а, с) и глобальные (b, d) вейвлет-спектры (базис Морле) среднегодовых значений площади КД в северном и южном полушариях после вычета полиномиальных трендов 2-го порядка. Спектры нормированы на дисперсию.

Спектры суммарной частоты повторяемости (число событий в год) умеренных и больших магнитных бурь с постепенным (GC) началом по данным обсерваторий ИЗМИРАН и Слущк/Павловск [7–8] показаны на рис. 3. Видно, что в повторяемости этих бурь отчетливо выражены мультидекадные вариации с периодами ~ 35 и ~ 60 лет, близкие к наблюдаемым в спектрах площади КД южного полушария. На рис. 4 приводятся кроссвейвлет спектры повторяемости GC магнитных бурь и площади КД южного полушария. Данные на рис. 4 свидетельствуют о существенном вкладе крупномасштабных магнитных полей южного полушария в формирование мультидекадных вариаций повторяемости магнитных бурь с постепенным началом.

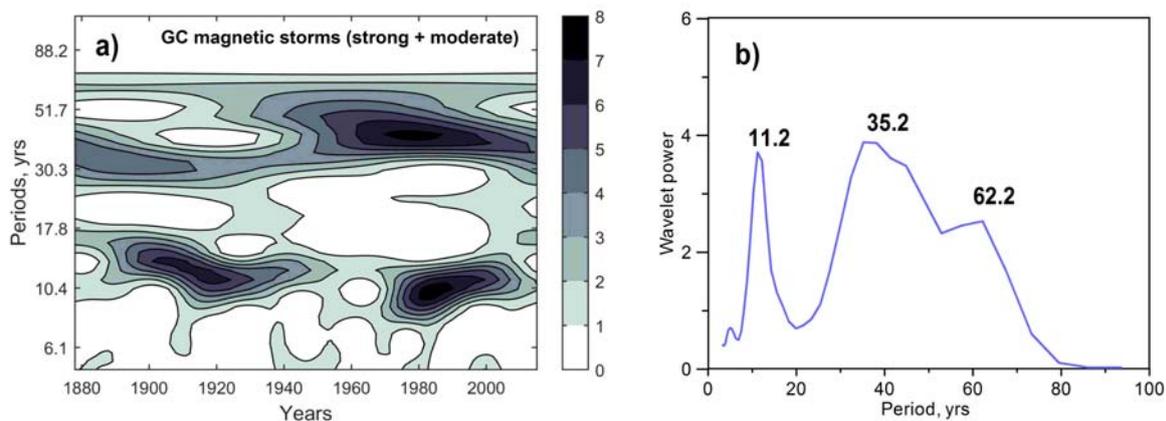


Рис. 3. То же, что на рис. 2, для суммарной частоты повторяемости больших и умеренных магнитных бурь с постепенным началом.

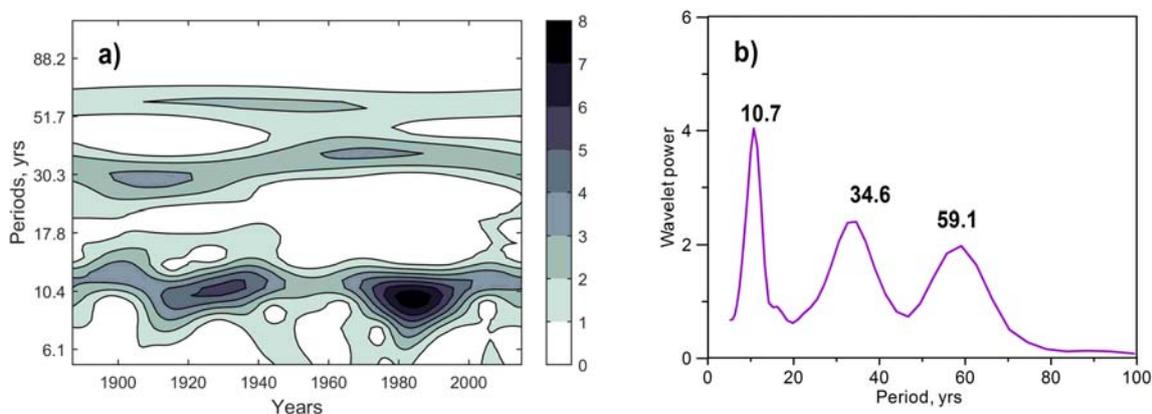


Рис. 4. Локальный (а) и глобальный (б) кросс-вейвлет спектры (базис Морле) суммарной частоты повторяемости магнитных бурь с постепенным началом и площади корональных дыр в южном полушарии.

В результате проведенного исследования обнаружены существенные различия в эволюции площади корональных дыр северного и южного полушарий на мультидекадной шкале. В вариациях площади КД южного полушария наблюдаются периодичности $\sim 30\text{--}35$ лет на всем исследуемом временном интервале. Кросс-вейвлет анализ выявил связь ~ 35 летних вариаций повторяемости магнитных бурь с постепенным началом с вариациями площади корональных дыр южного полушария.

Литература

1. Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза. – СПб: ВВМ, 2017.
2. Makarov V.I. et al. // J. Astrophys. Astron., 1982, **3**, 379-382.
3. Ebisuzaki W. // J. Clim., 1997, **10(9)**, 2147-2153.
4. WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, <http://www.sidc.be/silso/datafiles>
5. Veretenenko S. et al. // J. Atm. Sol.-Terr. Phys., 2020, **205**, 105295.
6. Halberg F. et al. // Izvest. Atmos. Ocean. Phys., 2010, **46 (7)**, 40-60.
7. <http://www.izmiran.ru/magnetism/magobs/MagneticStormCatalog.html>
8. Канониди Х.Д. (ред.) Каталог геомагнитных бурь. – Троицк: ИЗМИРАН, 2012.