**ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОЙ ЧАСТОТЫ
ПОВТОРЯЕМОСТИ МАГНИТНЫХ БУРЬ
С ВНЕЗАПНЫМ И ПОСТЕПЕННЫМ НАЧАЛОМ ПО ДАННЫМ
ОБСЕРВАТОРИЙ ИЗМИРАН И СЛУЦК (ПАВЛОВСК)**

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

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

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

³ИЗМИРАН, Троицк, Россия

**LONG-TERM VARIATIONS OF ANNUAL FREQUENCIES
OF OCCURRENCE OF MAGNETIC STORMS WITH SUDDEN
AND GRADUAL COMMENCEMENTS ACCORDING TO THE DATA
OF OBSERVATORIES IZMIRAN AND SLUTSK (PAVLOVSK)**

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

¹Ioffe Institute RAS, St. Petersburg, Russia

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

³IZMIRAN, Troitsk, Russia

Long-term changes of annual frequencies of occurrence of magnetic storms with sudden and gradual commencements were studied, the data from IZMIRAN and Slutsk (Pavlovsk) magnetic observatories for the period 1878–2015 being used. It was shown that occurrences of large and moderate magnetic storms with gradual commencements are characterized by a noticeable variability at the multidecadal time scale. Wavelet spectra of annual frequencies of occurrence of these storms reveal a dominant periodicity of ~36 years close to the climatic Brückner cycle, as well as less pronounced ~60-year and ~90-year periodicities. Annual occurrences of magnetic storms with sudden commencements of all intensities are characterized by a strong ~11-year periodicity, with long-term variations being weak. The obtained results provide evidence for a different temporal evolution of local and global magnetic fields on the Sun which are responsible for solar agents (coronal mass ejections and high-speed solar wind streams from coronal holes, respectively) giving rise to magnetic storms with sudden and gradual commencements.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-95-98

Магнитные бури (глобальные возмущения земного магнитного поля) возникают в результате взаимодействия возмущенных потоков солнечного ветра с магнитосферой Земли. Два основных источника магнитных бурь – выбросы корональной массы (ВКМ) и высокоскоростные потоки солнечного ветра из корональных дыр – способствуют развитию бурь с внезапным (SC) и постепенным (GC) началом, соответственно [1]. В настоящей работе исследуется временная изменчивость годовой частоты повторяемости магнитных бурь указанных типов по данным обсерваторий ИЗМИРАН (1934–2015 гг.) [2] и Слущк (Павловск) (1878–1940 гг.) [3].

На рис. 1 показаны годовые частоты повторяемости больших и умеренных SC и GC бурь, сопоставленные с числами солнечных пятен SN [4]. Можно видеть, что на вековой шкале временные изменения повторяемости всех типов бурь имеют сходный характер: возрастание до середины XX века и последующее уменьшение. Полиномиальные (2-го порядка) тренды повторяемости больших и умеренных SC бурь, а также больших GC бурь подобны аналогичному тренду SN. Для умеренных GC бурь и SN тренды несколько различаются: повторяемость этих бурь растет медленнее, а затем спадает быстрее, чем число солнечных пятен.

Рис. 1. Годовая частота повторяемости магнитных бурь с внезапным (а,б) и постепенным (в,г) началом (сплошная линия) и числа солнечных пятен (гистограмма). Полиномиальные тренды 2-го порядка показаны штриховыми линиями для частот повторяемости магнитных бурь, точечными – для чисел солнечных пятен.

Данные на рис. 1 свидетельствуют о тесной связи повторяемости магнитных SC бурь с числами солнечных пятен, тогда как для GC бурь связь с SN существенно слабее. Коэффициенты корреляции между годовой частотой повторяемости исследуемых магнитных бурь и числами солнечных пятен (с оценками значимости согласно [5]) приведены в таблице 1. Высокие значения корреляции для SC бурь обусловлены тесной связью этого типа бурь с выбросами корональной массы, повторяемость которых наиболее высока в максимуме 11-летнего цикла [1].

На рис. 2 и 3 представлены локальные и глобальные вейвлет-спектры (базис Морле) повторяемости исследуемых магнитных бурь. Видно, что эти спектры заметно различаются в зависимости от типа бури. В спектрах повторяемости SC бурь доминирует периодичность ~11 лет, тогда как долговременная изменчивость выражена слабо. Для повторяемости GC бурь

более характерны изменения на мультидекадной шкале. Наибольшую значимость имеет периодичность ~ 36 лет, соответствующая известному циклу Брюкнера, обнаруженному в ряде геофизических и климатических характеристик [6]. Также наблюдаются периодичности ~ 60 и ~ 90 лет. ~ 11 -летняя периодичность в повторяемости GC бурь ослабевала в период ~ 1940 – 1960 гг. (максимум векового цикла Глайссберга) и усиливалась в ~ 1900 – 1920 гг. (минимума цикла Глайссберга), а также в ~ 1980 – 2010 гг. (на фазе спада векового цикла).

Таблица 1.

Интенсивность бурь	Внезапное начало	Постепенное начало
Большие и очень большие	0.73 (98%)	0.36 (95%)
Умеренные	0.72 (97%)	0.24 (–)
Большие, очень большие и умеренные	0.82 (98%)	0.32 (–)

Рис. 2. Локальные (а, в) и глобальные (б, г) вейвлет-спектры (базис Морле) частоты повторяемости больших и умеренных магнитных бурь с внезапным началом после вычета полиномиального тренда 2-го порядка. Спектры нормированы на дисперсию.

Тренды повторяемости малых SC и GC бурь (1950–2015 гг.) заметно отличаются от трендов SN (рис. 4). Для GC бурь повторяемость возрастает, для SC бурь – остается примерно на том же уровне. Малые SC бури, также как и более интенсивные SC бури, характеризуются четко выраженной 11-летней вариацией, связанной с SN. В спектре малых GC бурь значимых гармоник не обнаружено, а также отсутствует какая-либо связь с SN.

Таким образом, временная изменчивость частоты повторяемости заметно различается для магнитных бурь с внезапным и постепенным началом. Это свидетельствует о различном характере долговременных вариаций солнечных агентов (ВКМ и высокоскоростных потоков солнечного

Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для магнитных бурь с постепенным началом.

Рис. 4. Годовая частота повторяемости малых магнитных бурь с внезапным (а) и постепенным (б) началом и числа солнечных пятен. Линейные тренды показаны штриховыми линиями для частот повторяемости, точечными – для чисел солнечных пятен.

ветра из корональных дыр), вызывающих развитие этих бурь, и, соответственно, о различном характере эволюции локальных и крупномасштабных магнитных полей на Солнце. Полученные результаты подтверждают наличие сильной 11-летней вариации локальных полей, тогда как для эволюции глобальных и крупномасштабных полей характерна временная изменчивость на мультидекадной и вековой шкалах.

Литература

1. Obridko V.N. et al. // Geomagn. Aeron., 2013, **53**(2), 147-156.
2. <http://www.izmiran.ru/magnetism/magobs/MagneticStormCatalog.html>
3. Канониди Х.Д. (ред.) Каталог геомагнитных бурь. – Троицк: ИЗМИРАН, 2012.
4. WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, <http://www.sidc.be/silso/datafiles>
5. Ebisuzaki W. // J. Clim., 1997, **10**(9), 2147-2153.
6. Raspopov O.M. et al. // In: Proc. 1st Solar and Space Weather Euroconf. "The Solar Cycle and Terrestrial Climate". 2000, **463**, 517-520.