

## **ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ ГКЛ В 24-М ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

**Шадрина Л.П.<sup>1</sup>, Стародубцев С.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Академия наук РС(Я), г. Якутск, Россия*

<sup>2</sup>*ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия*

## **GEOMAGNETIC STORMS AND FORBUSH-DECREASES OF GCR IN 24-TH SOLAR CYCLE**

**Shadrina L.P.<sup>1</sup>, Starodubtsev S.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Academy of Sciences of RS(Ya), Yakutsk, Russia*

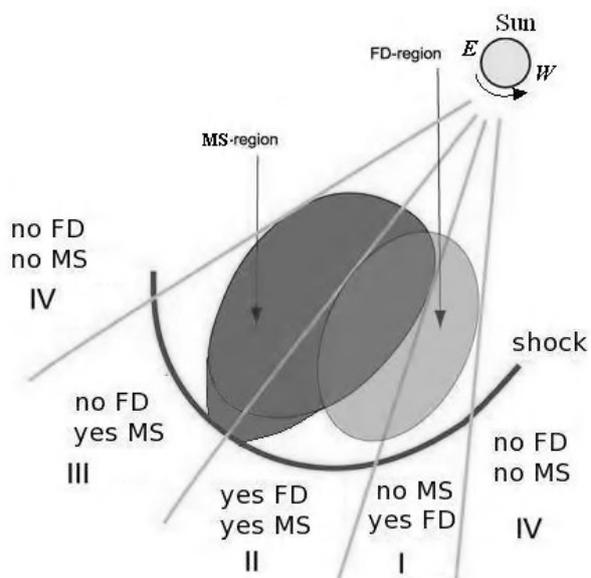
<sup>2</sup>*IKFIA SB RAS, Yakutsk, Russia*

*A statistical analysis of geomagnetic storms and cosmic rays Forbush decreases registration in 23 and 24 cycles of solar activity was fulfilled. Two of the most strong ground manifestations of solar wind disturbances were studied - in a geomagnetic field (magnetic storms, MS) and in the cosmic rays intensity (Forbush effects, FD). Typically, these two types of geophysical effects are observed simultaneously ("Forbush with storms", FD+MS, 2<sup>nd</sup> class), but often they occur separately ("Forbush without storms", FD-MS, 1<sup>st</sup> class and "storms without Forbush", MS-FD, 3<sup>rd</sup> class). It have been shown that the number of MS and FD correlate with solar activity. The first two classes of Forbush-storm events also show a high correlation with solar activity – for (FD+MS) and (FD-MS)  $r = 0.84$  and  $r = 0.80$ , respectively. The number of geomagnetic storms without Forbush decreases (MS-FD), 3<sup>rd</sup> class, does not correlate with solar activity ( $r = 0.15$ ), but have some higher correlation coefficient with geomagnetic activity,  $r = 0.65$ . The ratio of the number of the events in three classes was also determined: (FD-MS): (FD+MS): (MS-FD) = 1,0: 1,4: 1,1 (although in paper [1] the ratio was 1: 4: 5 to the data of 1976-1974, it was). This is because it became possible to consider not only intense FD events (4% and more), but also weaker (1.2% and more) thanks to the IZMIRAN's database of Forbush effects (FIELD).*

**DOI: 10.31725/0552-5829-2019-447-450**

Геоэффективность солнечного ветра принято определять по проявлениям воздействия возмущенных структур, таких как ударные волны, корональные выбросы масс (СМЕ), рекуррентные потоки (СІR), магнитные облака (МС), в геомагнитном поле – в виде геомагнитных бурь и суббурь [1–4]. Вторым, не менее значимым проявлением, считаются Форбуш-эффекты – резкие понижения интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) [5–6]. В последние годы появились работы [7–9], показывающие, что совместное рассмотрение этих эффектов в геомагнитном поле и в ГКЛ позволяет существенно продвинуться в понимании воздействия солнечного ветра на Землю, так как они несут в себе разную информацию. Поведение геомагнитного поля отражает изменения, происходящие в магнитосфере, тогда как интенсивность ГКЛ зависит от пространственной конфигурации магнитного поля в гелиосфере.

Чаще всего в работах исследуются интенсивные события – большие геомагнитные бури с амплитудой Dst более 100 нТ и Форбуш-эффекты с понижением плотности ГКЛ на 4% и более. Они происходят, когда Земля попадает в центральную часть возмущенных структур. В работе [10] показано, что при попадании Земли на фланги этих структур эффекты в геомагнитном поле и в ГКЛ могут различаться по интенсивности, и более того, они могут наблюдаться по отдельности (см. рис. 1 из работы [10]). На этом основании нами был предложен новый подход – использование так называемой форбуш-буревой классификации событий. Составлен каталог геомагнитных бурь и понижений интенсивности ГКЛ. События, когда два вида геофизических эффектов наблюдаются одновременно, составляют II класс (“Форбуши с бурями”, FD+MS), события в ГКЛ без буревых понижений – I класс (“Форбуши без бурь”, FD-MS) и события геомагнитных бурь без эффектов в ГКЛ – III класс (“бури без Форбушей”, MS-FD).



**Рис. 1.** Схематическое представление четырех классов форбуш-буревой классификации событий

Показано [10], что I класс событий наблюдается, когда Земля попадает в западный фланг возмущения, II класс – в центральную часть, III класс – восточный фланг. Возможны также крайние правое и левое пересечения, когда на Земле не наблюдается эффектов ни в ГКЛ ни в геомагнитном поле – IV класс форбуш-буревой классификации.

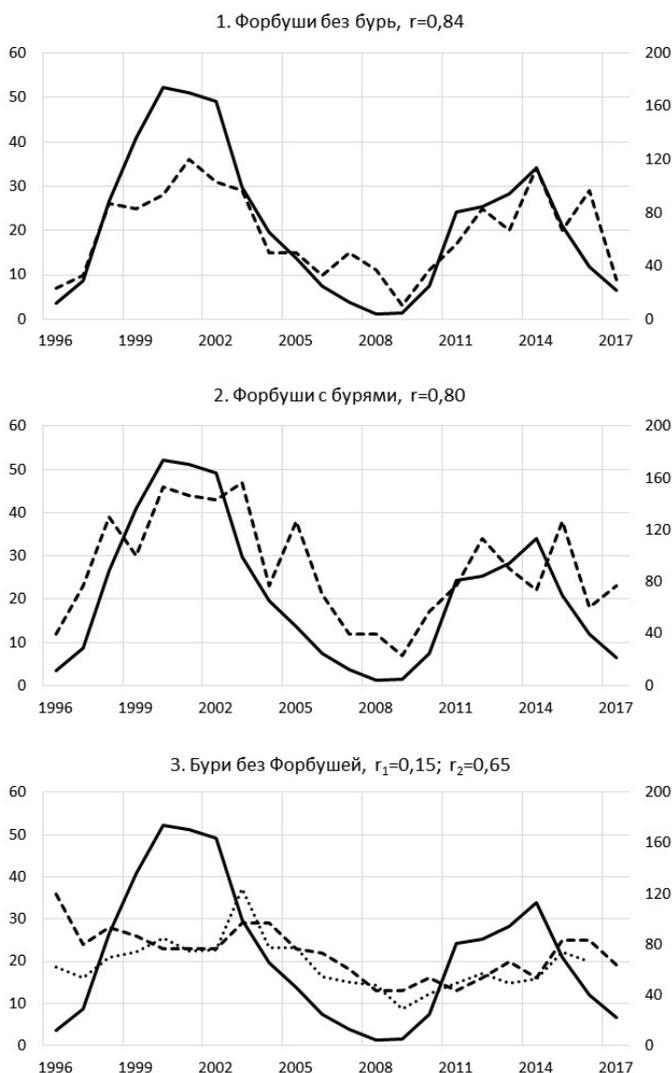
### Данные и методы

Здесь представлены результаты статистического анализа форбуш-буревой классификации в 23 и 24 циклах солнечной активности (1996–2017). Составлен каталог геомагнитных бурь с амплитудой Dst более 30 нТ и понижений интенсивности ГКЛ более 1,2%. Для каждого года подсчитаны количество событий трех классов форбуш-буревых событий – (FD-MS), (FD+MS) и (MS-FD). Их соотношение меняется от года к году, а в среднем за 21 год составляет:

$$(FD-MS) : (FD+MS) : (MS-FD) = 1,0 : 1,5 : 1,1.$$

Ранее по данным 1968–1974 годов это соотношение было 1 : 4 : 5 [11], а по данным 1997–2002 годов 1,1 : 6,1 : 5,4 [10, 12]. Т.е. по предыдущим данным количество форбуш-буревых событий II и III классов было при-

мерно равным и значительно больше, чем количество событий I класса (форбуши без бурь). Здесь по результатам статистического анализа, значительно более представительного, оказалось, что количество событий I и III классов примерно равное – это частота фланговых пересечений возмущенных структур солнечного ветра, а событий II класса – центральных пересечений – почти в полтора раза больше. Такое уточнение соотношения событий в ГКЛ и в геомагнитном поле обусловлено, по-видимому, тем, что появилась возможность учитывать не только интенсивные понижения интенсивности ГКЛ (от 4% и более), но и более слабые (от 1,2%) благодаря базе данных Форбуш-эффектов ИЗМИРАН (FIELD) [13].



**Рис. 2.** Годовое количество солнечной активности (сплошная линия), форбуш-буревых событий (штриховая линия) и геомагнитной активности (пунктирная линия) 3-х форбуш-буревых классов.

На рис. 2 показано поведение солнечной активности и годовое количество трех классов форбуш-буревых событий. Видно, что для первых двух классов заметно хорошее подобие: количество понижений ГКЛ без геомагнитных бурь (FD-MS) и с бурями (FD+MS) растет в максимуме 23 и 24 солнечных циклов и падает в минимуме. Рассчитанные коэффициенты корреляции годового количества форбуш-буревых событий  $N_{FD-MS}$  и  $N_{FD+MS}$  с числами Вольфа  $W$  для них довольно высокие, соответственно,  $R_1 = 0,84$  и  $R_2 = 0,80$ .

Для третьего класса (MS-FD) такого подобия не проявилось. Для этого класса событий заметно подобие с геомагнитной активностью – пунктирной линией приведено поведение геомагнитного индекса aa.

Коэффициент корреляции  $N_{MS-FD}$  с числами Вольфа низкий  $R_3 = 0,15$ , но значительно выше с геомагнитной активностью (индексом aa),  $R_4 = 0,64$ .

### **Заключение**

Анализ понижений интенсивности ГКЛ и геомагнитных бурь (форбуш-буревых событий) за два солнечных цикла показал, что соотношение количества событий в трех классах форбуш-буревой классификации меняется от года к году и в среднем составляет 1,0 : 1,5 : 1,1. С учетом предложенной схемы (рис. 1) это означает, что попадание Земли в область, ответственную за II класс – это область совпадения тела возмущенной структуры солнечного ветра (ejecta, MS-region) с областью с пониженным содержанием ГКЛ (область форбуш-спада, FD-region) – происходит в 1,5 раза чаще, чем попадание Земли на фланги возмущенной структуры с пересечением одной из этих областей – FD-region или MS-region, ответственных за I и III классы.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта регионального конкурса РФФИ №18-42-140002.

Авторы признательны сотрудникам ИЗМИРАН за возможность использования каталога Форбуш-понижений на сайте <http://spaceweather.izmiran.ru/rus/fds2002.html>

### **Литература**

1. Ермолаев Ю.И. и др. // Космич. исслед., 2010, Т. 48, 1.
2. Yermolaev, Y.I. et al. // J. Geophys. Res., 2012, Vol. 117, A00L07, doi:10.1029/2011JA017139.
3. Richardson I.G., Cane H.V. // Sp. Weather, 2011, Vol. 9, S07005, doi:10.1029/2011SW000670
4. Kilpua E.K.J. et al. // Ann. Geophys., 2012, Vol. 30, 1037, doi:10.5194/angeo-30-1037-2012, 20125.
5. Белов А.В. и др. // Геомагн. аэрон., 2015, Т. 55, 445, doi: 10.7868/S0016794015040021
6. Blanco J.J. et al. // Solar Phys., 2013, Vol. 284, 167, doi: 10.1007/s11207-013-0256-1
7. Parnahaj I. et al. // WDS'13 Proc. of Contributed Papers, Part II, 2013, 13
8. Badruddin B. et al. // Space Weather. 2019. 17. <https://doi.org/10.1029/2018SW001941>
9. Papailiou M. et al. // 23rd Europ. CR Symposium (and 32nd Russian CR Conf.) IOP Publ. J. of Physics: Conf. Series, 2013, V. 409, 012182 doi:10.1088/1742-6596/409/1/012182-2
10. Shadrina L.P. et al. // Int. J. Geomagn. Aeron., 2002, Vol. 2, 45.
11. Shadrina L. P. et al. // Геомагн. аэрон., 1996, Т. 36, 399.
12. Shadrina L. P. et al. // Proc. 10th Intl Conf. "Problems of Geocosmos", St. Petersburg, Russia, 2014, 351.
13. Абунин А.А. и др. // В сб. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2018», СПб, Пулково, 2018, 23.