

## МОНИТОРИНГ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В НАЧАЛЕ 25-го ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

**А.С. Зверев, В.Г. Григорьев, С.А. Стародубцев, П.Ю. Гололобов**

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия  
a\_zverev@mail.ru

## MONITORING OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES USING DATA FROM GROUND-BASED OBSERVATIONS OF COSMIC RAYS MADE AT THE BEGINNING OF THE 25TH SOLAR CYCLE

**A.S. Zverev, S.A. Starodubcev, V.G. Grigorev, P.Yu. Gololobov**

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia  
a\_zverev@mail.ru

**Аннотация.** В ИКФИА СО РАН с помощью наземных измерений космических лучей проводится непрерывный мониторинг и прогноз геомагнитных возмущений с амплитудой  $Dst < -50$  нТл. Мониторинг основан на использовании результатов метода глобальной съемки по данным международной базы NMDB, что позволяет отслеживать динамику углового распределения космических лучей за каждый час наблюдений в реальном времени. Результаты прогнозов за 2013–2018 гг. показали, что наблюдавшиеся геомагнитные возмущения с  $Dst < -50$  нТл были предсказаны с заблаговременностью от нескольких часов до суток с вероятностью  $\sim 0.8$ . Приведены данные мониторинга геомагнитных бурь за 2019–2022 гг. Показано, что используемая методика, также с вероятностью  $\sim 0.8$ , позволила прогнозировать за указанный период попадания Земли в области геомагнитных возмущений с  $Dst < -50$  нТл.

**Ключевые слова:** геомагнитные возмущения, метод глобальной съемки, космические лучи, предвестники.

**Abstract.** Using ground-based measurements of cosmic rays, ShICRA SB RAS continuously monitors and forecasts geomagnetic disturbances with amplitude of  $Dst < -50$  nT. Monitoring is based on the use of results of the global survey method, according to data from the NMDB database. This allows the dynamics of the angular distribution of cosmic rays to be observed in real time for each hour of observations. Results of forecasts in 2013–2018 showed that the observed geomagnetic disturbances with  $Dst < -50$  nT were predicted with a lead time of several hours to a day, with a probability of more than 0.8. This paper presents further data on the monitoring of geomagnetic storms in 2019–2022. It is shown that the technique used, also with the above probability, made it possible to predict the Earth's passage through the area of geomagnetic disturbances with  $Dst < -50$  nT during the specified period.

**Keywords:** geomagnetic disturbances, global survey method, cosmic rays, precursors.

### ВВЕДЕНИЕ

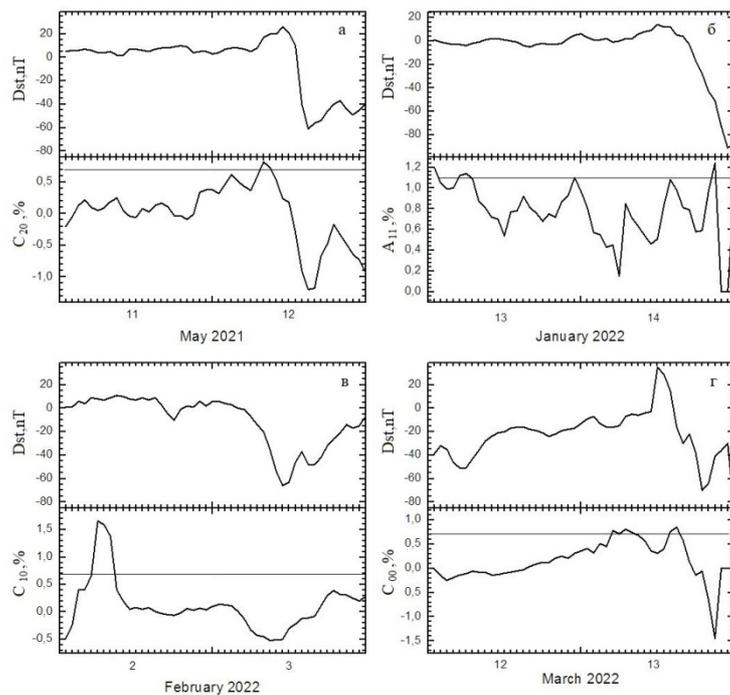
Проведенные ранее исследования [Дворников и др., 1995; Dorman et al., 2003; Munakata et al., 2000] показали, что наиболее интенсивные геомагнитные бури имеют явные предвестники в поведении интенсивности и углового распределения галактических космических лучей (КЛ) по данным нейтронных мониторов и мюонных телескопов. В ИКФИА СО РАН с 2013 г. ведется непрерывный мониторинг космической погоды по данным наземных измерений КЛ. Мониторинг основан на использовании метода глобальной съемки по данным международной базы измерений на мировой сети нейтронных мониторов NMDB [<http://www.nmdb.eu>] и позволяет в реальном времени отслеживать динамику углового распределения КЛ за каждый час наблюдений. Результаты мониторинга доступны в на [[http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global\\_survey\\_real\\_time.html](http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html)]. В работе [Григорьев и др., 2017] показано, что основными параметрами распределения КЛ эффективно реагирующими на приближение к Земле геоэффективных возмущений межпланетной среды, являются изменения амплитуд зональных (северо-южных) компонент высокочастотной части изотропной интенсивности  $C_{00}$  и первых двух гармоник углового распределения КЛ  $C_{10}$  и  $C_{20}$ . По результатам мониторинга за 2013–2018 гг., было установлено [Григорьев и др., 2019], что превышение положительных значений зональных компонент

выше некоторых критических величин, зависящих от уровня солнечной активности, с вероятностью  $\sim 0.8$  связано (с заблаговременностью от нескольких часов до суток) с предстоящим геомагнитным возмущением с  $Dst < -50$  нТл. При этом учитываются величины суммарных значений положительных  $\sum C^+ = C_{00}^+ + C_{10}^+ + C_{20}^+$  и отрицательных  $\sum C^- = C_{00}^- + C_{10}^- + C_{20}^-$  возрастных этих компонент, которые соответственно являются дополнительными предикторами начала геомагнитной бури и наступления главной фазы возмущения. Учитывается также информация о значительном увеличении амплитуды суточной анизотропии  $A_{11}$ , что с хорошей вероятностью указывает на предстоящее геомагнитное возмущение. При отсутствии возмущений максимальные значения вышеуказанных параметров не превышают по модулю 0.5 % для зональных компонент и 0.7 % для амплитуды  $A_{11}$ . Приводятся данные о проявлении предикторов геомагнитных возмущений по результатам проводимого мониторинга за 2019–2022 гг.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Период 2019–2021 гг. характеризуется относительно низкой геомагнитной активностью. Лишь одна буря (04.11.2021) имела  $Dst \sim -100$  нТл. Поэтому с целью увеличения эффективности прогноза были приняты уменьшенные на  $\sim 10$  % значения критических параметров распределения КЛ, позволившие

№	Начало возмущения (UT)	$Dst$ , нТл	$\Delta t$ предиктора	$\Sigma^+$	$A_{11}$	$C_{00}$	$C_{10}$	$C_{20}$
1	2019.05.14 (04 <sup>h</sup> )	-65	-	-	-	-	-	-
2	2019.08.05 (08 <sup>h</sup> )	-53	7	-	-	-	-	+
3	2020.04.20 (10 <sup>h</sup> )	-59	-	-	-	-	-	-
4	2021.02.24 (06 <sup>h</sup> )	-86	27	-	+	-	-	+
5	2021.03.01 (03 <sup>h</sup> )	-59	4	+	-	-	-	+
6	2021.05.12 (14 <sup>h</sup> )	-61	12	+	-	-	-	+
7	2021.08.27 (09 <sup>h</sup> )	-82	16	+	-	-	-	+
8	2021.09.17 (20 <sup>h</sup> )	-64	-	-	-	-	-	-
9	2021.10.17 (10 <sup>h</sup> )	-55	15	+	-	-	-	-
10	2021.11.04 (02 <sup>h</sup> )	-102	19	+	-	+	-	+
11	2022.01.14 (17 <sup>h</sup> )	-91	42	-	+	-	-	-
12	2022.02.03 (06 <sup>h</sup> )	-66	27	+	-	-	+	-
13	2022.02.10 (16 <sup>h</sup> )	-60	6	+	+	-	-	+
14	2022.03.13 (15 <sup>h</sup> )	-85	13	+	-	-	-	-
15	2022.04.14 (04 <sup>h</sup> )	-81	3	+	-	-	-	+



Поведения  $Dst$ -вариаций, параметров значений  $C_{20}^+$  (а),  $C_{00}^+$  (б),  $C_{10}^+$  (в) и амплитуды суточной анизотропии  $A_{11}$  (г) для приведенных случаев геомагнитных возмущений. Прямыми линиями указаны соответствующие критические уровни

с большей вероятностью прогнозировать попадание Земли в области геоэффективных возмущений солнечного ветра за указанный период. Уровни критических величин положительных зональных компонент и их суммы имели соответственно значения 0.6 и 0.8 %, а для амплитуды суточной анизотропии  $A_{11}$  — 1.1 %. Из 15 наблюдавшихся геомагнитных бурь с внезапным началом и  $Dst < -50$  нТл предиктор имели по результатам проводимого мониторинга 12 возмущений, что составило вероятность прогноза геомагнитных возмущений  $\sim 0.8$ . В таблице приве-

дены даты начал и амплитуды минимального понижения  $Dst$  для интенсивных магнитных бурь, характеризующихся  $Dst < -50$  нТл [[http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realttime/presentmonth/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realttime/presentmonth/index.html)]. Для всех событий приведены в часах время опережения  $\Delta t$  предиктора (если есть) начала магнитной бури. Также указаны параметры распределения КЛ, в поведении которых мог бы проявиться предиктор. В каждом возмущении знаком + отмечены параметры, значения которых превысили критические уровни. На рисунке показаны примеры геомагнитных возмуще-

ний, в которых в качестве предикторов проявились увеличения одного из значений  $C_{20}^+$ ,  $C_{00}^+$ ,  $C_{10}^+$ , и амплитуды суточной анизотропии  $A_{11}$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проводимый в ИКФИА СО РАН мониторинг космической погоды на основе измерений КЛ на мировой сети нейтронных мониторов с помощью метода глобальной съемки показывает эффективные результаты по прогнозу геомагнитных возмущений. Вероятность прогноза интенсивных магнитных бурь с внезапным началом и  $Dst < -50$  нТл за 2019–2022 гг. составила  $\sim 0.8$ .

Работа выполнена в рамках Госзадания, регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 122011700180-7. Авторы благодарны за предоставленные данные NMDB [[www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)] при поддержке программы Европейского союза FP7 (контракт № 213007).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю. Мониторинг геомагнитных возмущений на основе метода глобальной съемки в реальном времени. *Солнечно-земная физика*. 2019. Т. 5, № 3. С. 110–115.

Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю. Мониторинг предвестников геомагнитных возмущений по данным наземных измерений космических лучей. *Изв. РАН. Сер. физ.* 2017. Т. 81, № 2. С. 219–221.

Дворников В.М., Сдобнов В.Е., Сергеев А.В. Способ прогноза спорадических геоэффективных возмущений солнечного ветра. *Патент РФ № 1769602*. 1995.

Dorman L.I., Belov A.V., Eroshenko E.A., et al. Possible cosmic ray using for forecasting of major geomagnetic storms, accompanied by Forbush effects. *Proc. 28<sup>th</sup> Intern. Cosmic Ray Conf.*, Tsukuba. 2003. Vol. 6. P. 3553–3556.

Munakata K., Bieber J.W., Yasue S., et al. Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network. *J. Geophys. Res.* 2000. Vol. 105. P. 27457–27468.

URL: <http://www.nmdb.eu>.

URL: [http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global\\_survey\\_real\\_time.html](http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html).

URL: [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/present-month/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/present-month/index.html).