

ПРОГНОЗ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

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

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шефера СО РАН,
обособленное подразделение Федерального исследовательского центра
«Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия
a_zverev@mail.ru

FORECASTING GEOMAGNETIC DISTURBANCES WITH THE USE OF GROUND-BASED MEASUREMENTS OF COSMIC RAYS

A.S. Zverev, S.A. Starodubtsev, V.G. Grigoryev, P.Yu. Gololobov

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

Аннотация. Представлен метод прогноза геомагнитных возмущений на основе реализации метода глобальной съемки в реальном времени с использованием базы данных мировой сети нейтронных мониторов NMDB. С целью выбора эффективных критериев для определения предвестников геомагнитных возмущений и их возможной временной динамики, проведен ретроспективный анализ связи параметров углового распределения космических лучей за 2013–2018 гг. с наблюдавшимися в этот период геомагнитными возмущениями. Определены новые критерии изменений параметров распределения космических лучей, наблюдаемые перед попаданием Земли в области геоэффективных возмущений солнечного ветра.

Ключевые слова: космические лучи, нейтронный монитор, глобальная съемка, геомагнитные бури, зональные компоненты, предвестники.

Abstract. A method for forecasting geomagnetic storms using the realization the global survey method in real time is presented. The method is based on data of the world-wide neutron monitor network NMDB. In order to choose effective criteria for identification of predictors of geomagnetic disturbances and their possible temporal variations, the retrospective analysis of relationship between the parameters of cosmic ray angular distribution and geomagnetic disturbances which were observed during 2013–2018 was conducted. There are obtained the new criteria for the parameters of cosmic ray angular distribution that are observed before the arrival of geoeffective disturbances of solar wind to the Earth.

Key words: cosmic rays, neutron monitor, global survey, geomagnetic storms, zonal components, predictors.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных направлений в области современных исследований вариаций интенсивности космических лучей (КЛ) является прогноз геоэффективных возмущений солнечного ветра. Проведенные ранее [Dvornikov et al., 1995]; исследования вариаций жесткостного спектра КЛ показали возможность долгосрочного прогноза спорадических геоэффективных возмущений солнечного ветра. Из дальнейших работ [Munakata et al., 2000; Dorman et al., 2003] следует, что наиболее интенсивные геомагнитные бури ($K_p > 7$) имеют явные предвестники в поведении интенсивности и углового распределения галактических КЛ, как по данным нейтронных мониторов, так и мюонных телескопов. Разработанный в ИКФИА СО РАН в конце 1960-х — начале 1970-х гг., на основе измерений мировой сети нейтронных мониторов, метод глобальной съемки [Крымский и др., 1981], позволяет определять параметры углового распределения КЛ за каждый час наблюдений. С созданием международной базы данных нейтронных мониторов NMDB [<http://www01.nmdb.eu>] появилась возможность использовать метод глобальной съемки в режиме реального времени. Это позволило, реализовать методику краткосрочного (от нескольких часов до ~1 сут) прогноза геомагнитных бурь в режиме реального времени [http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html]. Как показали проведенные нами исследования, основ-

ными параметрами распределения КЛ эффективно реагирующими на приближение к Земле геоэффективных возмущений межпланетной среды, являются изменения амплитуд зональных (северо-южных) компонент углового распределения КЛ C_{10} и C_{20} [Григорьев et al., 2017].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЙ МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе обработки методом глобальной съемки данных из базы нейтронных мониторов NMDB за 2013–2018 гг., нами определены параметры трехмерного распределения КЛ в межпланетном пространстве, обусловленные первыми двумя сферическими гармониками. Для анализа использованы результаты расчета величин зональных (северо-южных) компонент высокочастотной части изотропной C_{00} , суточной C_{10} и полусуточной C_{20} вариаций интенсивности КЛ. При этом учитывались величины суммарных значений положительных $\sum C^+ = C^+_{00} + C^+_{10} + C^+_{20}$ и отрицательных $\sum C^- = C^-_{00} + C^-_{10} + C^-_{20}$, возрастаний этих компонент, которые, соответственно, являются дополнительными предвестниками начала геомагнитной бури и наступления главной фазы возмущения. Также привлечена к анализу и информация об амплитуде суточной анизотропии (A_{11}). В результате анализа событий геомагнитных бурь с амплитудой $Dst < -50$ нТл за весь вышеуказанный период, определены уровни критических величин положительных

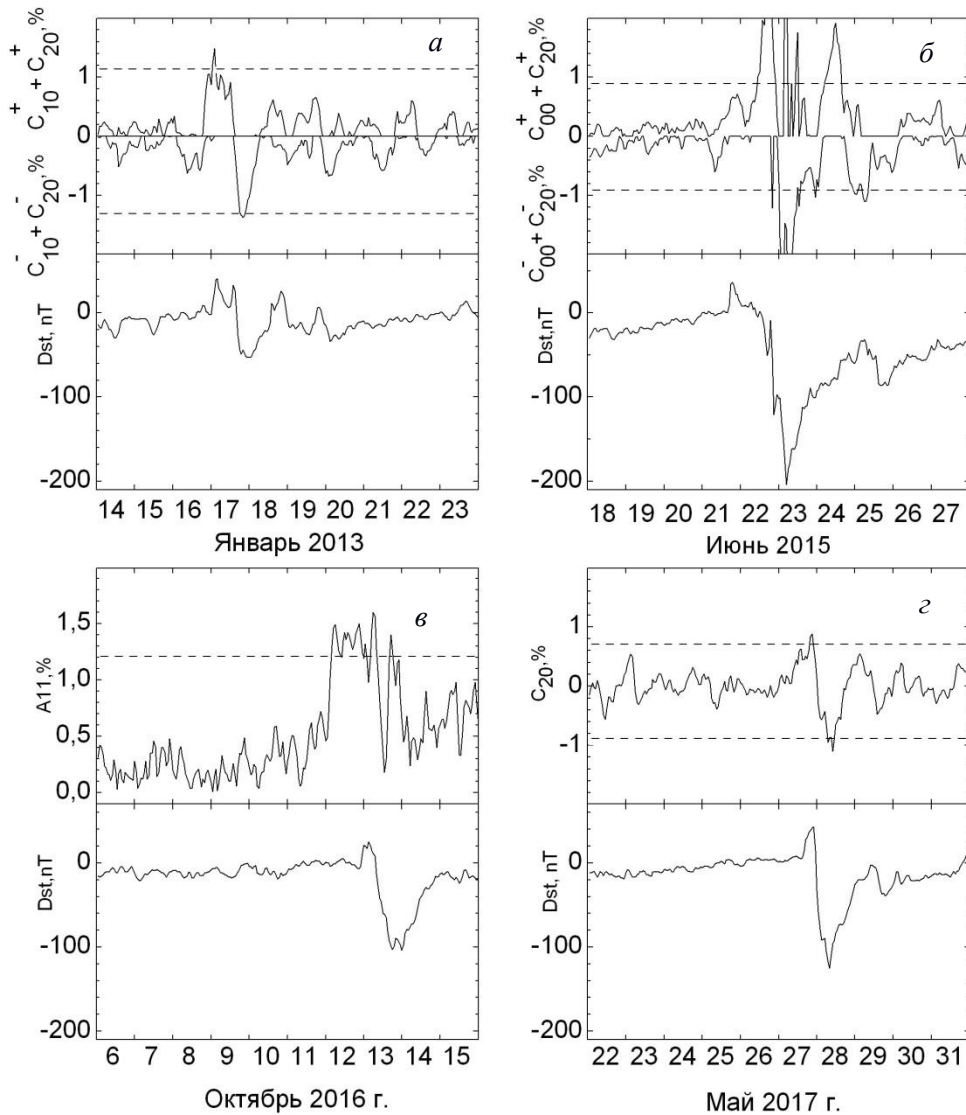


Рис. Характеристики предвестников геомагнитных бурь в периоды 4-х геомагнитных возмущений

зональных компонент анизотропии КЛ C_{00}^+ , C_{10}^+ , C_{20}^+ , которые наиболее эффективно проявились перед началами геомагнитных возмущений. Кроме того, установлены критические уровни резкого уменьшения отрицательных значений зональных компонент C_{00}^- , C_{10}^- , C_{20}^- , которые проявляются на главной фазе геомагнитных бурь. Также следует отметить, что превышение амплитуды A_{11} величины 1.2 %, может служить дополнительным предупреждением о возможной геомагнитной буре.

В таблице приведены критические значения положительных и отрицательных параметров зональных компонент распределения КЛ и их сумм, которые определены как предикторы геомагнитных возмущений в 2013–2017 гг. Приведены ошибки (δ) определения этих параметров.

На рисунке показаны вариации Dst -индекса и значения комбинированных и отдельных параметров распределения КЛ, использовавшихся для определения предикторов геомагнитных бурь в периоды 4-х возмущений, наблюдавшихся в 2013, 2015, 2016 и 2017 гг. Прерывистые линии означают критические уровни, превышение которых можно считать

Критические значения положительных и отрицательных параметров зональных компонент распределения КЛ и их сумм

Годы	C^\pm	$C_{00}, \%$	$C_{10}, \%$	$C_{20}, \%$	$\delta, \%$	$\sum C_{00}+C_{10}+C_{20}, \%$
2013	C^+	0.8	0.8	0.8	0.03	1.1
	C^-	-0.9	-0.9	-0.9	0.03	-1.3
2014	C^+	0.8	0.8	0.8	0.03	1.1
	C^-	-0.9	-0.9	-0.9	0.03	-1.3
2015	C^+	0.7	0.7	0.7	0.03	0.9
	C^-	-0.8	-0.8	-0.8	0.03	-1.2
2016	C^+	0.7	0.7	0.7	0.03	0.9
	C^-	-0.8	-0.8	-0.8	0.03	-1.2
2017	C^+	0.7	0.7	0.7	0.03	0.9
	C^-	-0.8	-0.8	-0.8	0.03	-1.2

предупреждением о возможном начале возмущения. Как следует из рисунка, проявление предикторов по отдельным зональным компонентам распределения КЛ или их комбинированным суммам, а также по anomalously большой амплитуде суточной анизотропии КЛ A_{11} наблюдается перед началом геомагнитных бурь с заблаговременностью от нескольких часов до суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование международной базы данных измерений мировой сети нейтронных мониторов NMDB [<http://www01.nmdb.eu>] позволяет на ее основе проводить непрерывный мониторинг предвестников геомагнитных возмущений в режиме реального времени.

2. Результаты проводимого мониторинга доступны в сети Интернет по адресу [http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html].

Благодарим авторов базы NMDB [<http://www01.nmdb.eu>] за предоставление данных измерений мировой сети нейтронных мониторов. Работа выполнена с использованием оборудования уникальной научной установки «Российская национальная наземная сеть станций космических лучей» и при поддержке гранта РФФИ № 18-42-140002-р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю. Мониторинг предвестников геомагнитных возмущений по данным наземных измерений космических лучей // Изв. РАН. Серия физ. 2017. Т. 81, № 2. С. 219–221. DOI: [10.7868/S0367676517020193](https://doi.org/10.7868/S0367676517020193).

Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Кривошапкин П.А. и др. Космические лучи и солнечный ветер. Новосибирск: Наука, 1981. 224 с.

Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. On a possibility of prediction the level of geomagnetic disturbance from effects in cosmic rays // Proc. 24-th Int. Cosmic Ray Conf. Rome. 1995. V. 4. P. 1098–1101.

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-th Int. Cosmic Ray Conf. Tsukuba. 2003. V. 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. V. 105. P. 27457–27468. DOI: [1029/2004GL021469](https://doi.org/10.1029/2004GL021469).

URL: <http://www01.nmdb.eu>.

URL: http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html.

URL: http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/currents_real_time.html.