

МОНИТОРИНГ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЛОБАЛЬНОЙ СЪЕМКИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

MONITORING OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES USING THE GLOBAL SURVEY METHOD IN REAL TIME

В.Г. Григорьев

*Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия, grig@ikfia.ysn.ru*

С.А. Стародубцев

*Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия, starodub@ikfia.ysn.ru*

П.Ю. Гололобов

*Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия, gpeter@ikfia.ysn.ru*

V.G. Grigoryev

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research
and Aeronomy SB RAS,
Yakutsk, Russia, grig@ikfia.ysn.ru*

S.A. Starodubtsev

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research
and Aeronomy SB RAS,
Yakutsk, Russia, starodub@ikfia.ysn.ru*

P.Yu. Gololobov

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research
and Aeronomy SB RAS,
Yakutsk, Russia, gpeter@ikfia.ysn.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. Проведен анализ за 2013–2018 гг. поведения компонент трехмерного углового распределения космических лучей в межпланетном пространстве. Эти компоненты обусловлены первыми двумя сферическими гармониками. Установлено, что основными параметрами, реагирующими на приближение к Земле геоэффективных возмущений межпланетной среды, являются изменения амплитуд зональных (северо-южных) компонент распределения космических лучей. С целью выбора эффективных критериев определения предвестников геомагнитных возмущений и их возможной временной динамики проведен ретроспективный анализ связи поведения указанных компонент с наблюдавшимися за исследованный период геомагнитными возмущениями.

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

Abstract. A method for forecasting geomagnetic storms using the realization of the global survey method in real time is presented. The method is based on data from the worldwide network of neutron monitors NMDB. Using this method, we analyze the behavior of components of three-dimensional angular distribution of cosmic rays in the interplanetary medium, which were due to the first two spherical harmonics, over the period from 2013 to 2018. We have established that the main parameters that respond to the arrival of geoeffective disturbances of the interplanetary medium at Earth are changes in amplitudes of zonal (north-south) components of cosmic ray distribution. In order to select effective criteria for identifying predictors of geomagnetic disturbances and their possible temporal variations, we have made a retrospective analysis of the relationship between behaviors of the above components and geomagnetic disturbances occurring during the period of interest.

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

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных и актуальных направлений современных исследований вариаций интенсивности космических лучей (КЛ) является прогноз геоэффективных возмущений солнечного ветра (СВ). Проведенные ранее [Дворников и др., 1988, 1995; Dvornikov, Sdobnov, 1995] исследования вариаций жесткого спектра КЛ показали возможность долгосрочного прогноза спорадических геоэффективных возмущений СВ. Из дальнейших работ [Munakata et al., 2000; Belov et al., 2001; Dorman et al., 2003; Munakata et al., 2005] следует, что наиболее интенсивные геомагнитные бури ($K_p > 7$) имеют явные предвестники в поведении интенсивности и углового распределения галактических КЛ по данным как нейтронных мониторов, так и мюонных телескопов.

В настоящее время уже имеются методики прогноза возмущений межпланетной среды на основе анализа анизотропии КЛ по данным ограниченного числа станций [<http://neutronm.bartol.udel.edu/spaceweather>; <http://cr0.izmiran.rssi.ru/AnisotropyCR/mainhtm>; <http://www.mustang.uni-gre-ifswald.de/spaceweather.htm>]. С 2008 г. в ИКФИА СО РАН с целью изучения возможности прогноза наземных проявлений космической погоды организован и проводится непрерывный мониторинг по определению параметров суточной анизотропии КЛ в режиме реального времени по часовым данным только одной станции — Якутского спектрографа КЛ им. А.И. Кузьмина [Grigoryev et al., 2008; http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/currents_real_time.html]. Анализ результатов мониторинга показал, что с вероятностью около

0.7 появление устойчивой отрицательной радиальной компоненты суточной анизотропии $A < -0.4$ % одновременно по данным нейтронного монитора и наземного мюонного телескопа, которые имеют различную чувствительность к энергии регистрируемых КЛ, связано с приближением к Земле области возмущенного СВ.

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 высокочастотную и низкочастотную части изотропной интенсивности, а также восемь компонент первых двух гармоник углового распределения КЛ за каждый час наблюдений. Важно отметить, что в этом случае все детекторы КЛ, расположенные на поверхности Земли и имеющие свои собственные характеристики (пороги геомагнитного обрезания, приемные конусы и пр.), выступают как единый многонаправленный прибор. На основе полученных этим методом результатов мы провели исследование поведения вектора суточной анизотропии КЛ \vec{A}_{11} перед началом геомагнитных бурь с $Dst \leq -50$ нТл, наблюдавшихся в 2012–2013 гг. [Григорьев, Стародубцев, 2015]. Было установлено, что за период от нескольких часов до суток перед началом большинства геомагнитных бурь в поведении вектора \vec{A}_{11} отмечаются характерные изменения, которые не наблюдаются в периоды спокойного СВ. Однако использование этих изменений \vec{A}_{11} в качестве предвестников имеет серьезный недостаток — они проявляются и при возмущениях СВ, которые не сопровождаются геомагнитными бурями. Связь между возмущениями СВ и последующими наблюдениями бурь была детально рассмотрена в работах [Shadrina et al., 2012a, b, 2014; Plotnikov et al., 2014], и для ее понимания на основе проведенного в них анализа была предложена так называемая форбуш-буревая классификация событий.

С созданием в 2007 г. и последующим развитием международной базы данных нейтронных мониторов NMDB [<http://www.nmdb.eu>] впервые появилась возможность использования метода глобальной съемки в режиме реального времени. Это, в свою очередь, позволило нам на основе проведенных исследований распределения КЛ методом глобальной съемки 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, основными параметрами распределения КЛ, эффективно реагирующими на приближение к Земле геоэффективных возмущений межпланетной среды, являются изменения амплитуд зональных (северно-южных) компонент высокочастотной части изотропной интенсивности C_{00} и первых двух гармоник углового распределения КЛ C_{10} и C_{20} [Grigoryev et al., 2016; Григорьев et al., 2017]. Динамика этих изменений различна, но можно определить некоторые критические уровни, превышение которых для значительной любой из указанных трех компонент с большой вероятностью является предвестником геомагнитной бури.

В данной работе с целью выбора более эффективных критериев определения предвестников геомагнитных бурь и установления их временной динамики проведен единый ретроспективный анализ связи непрерывных часовых параметров распределения КЛ, полученных методом глобальной съемки за 2013–2018 гг., с наблюдавшимися геомагнитными возмущениями. Стоит отметить, что выбор этого периода времени обусловлен наличием известной базы данных сети нейтронных мониторов NMDB, включающей измерения большинства станций КЛ, работающих в настоящее время.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА

Основные принципы разработанного в ИКФИА СО РАН метода глобальной съемки описаны в монографии [Крымский и др., 1981]. Здесь мы приведем только его краткое описание. Для изучения распределения КЛ в межпланетном пространстве вся мировая сеть станций, оснащенная нейтронными мониторами, используется как единый многонаправленный прибор. При этом наблюдаемая каждым детектором интенсивность КЛ в основном определяется приемными характеристиками (приемными векторами) регистрирующего прибора, отражающими его геометрию, географическое положение и тип наблюдаемых вторичных частиц. Приборы, имеющие различные приемные вектора, регистрируют интенсивность I , которую можно определить следующим образом:

$$I = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (a_n^m x_n^m + b_n^m y_n^m),$$

где x_n^m, y_n^m — компоненты многомерного приемного вектора \vec{R}_n^m ; a_n^m, b_n^m — компоненты многомерного вектора распределения КЛ \vec{A}_n^m . Для используемых данных составляется система линейных уравнений, которая в матричном представлении имеет вид

$$I = MA,$$

где I — матрица-столбец наблюдательных данных; M — прямоугольная матрица компонент \vec{R}_n^m ; A — матрица-столбец компонент \vec{A}_n^m . Система уравнений решается методом наименьших квадратов в предположении, что разложение распределения КЛ в ряд по сферическим функциям быстро сходится. Поэтому, кроме изотропной составляющей, обычно учитывают только первые две гармоники распределения, эффекты от которых в эксперименте наблюдаются достаточно уверенно. В соответствии с этим в векторе \vec{A}_n^m определяют первые девять компонент, включая и вышеуказанные C_{00}, C_{10} и C_{20} .

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе проведенных в 2013–2018 гг. расчетов методом глобальной съемки определены параметры трехмерного углового распределения КЛ в межпла-

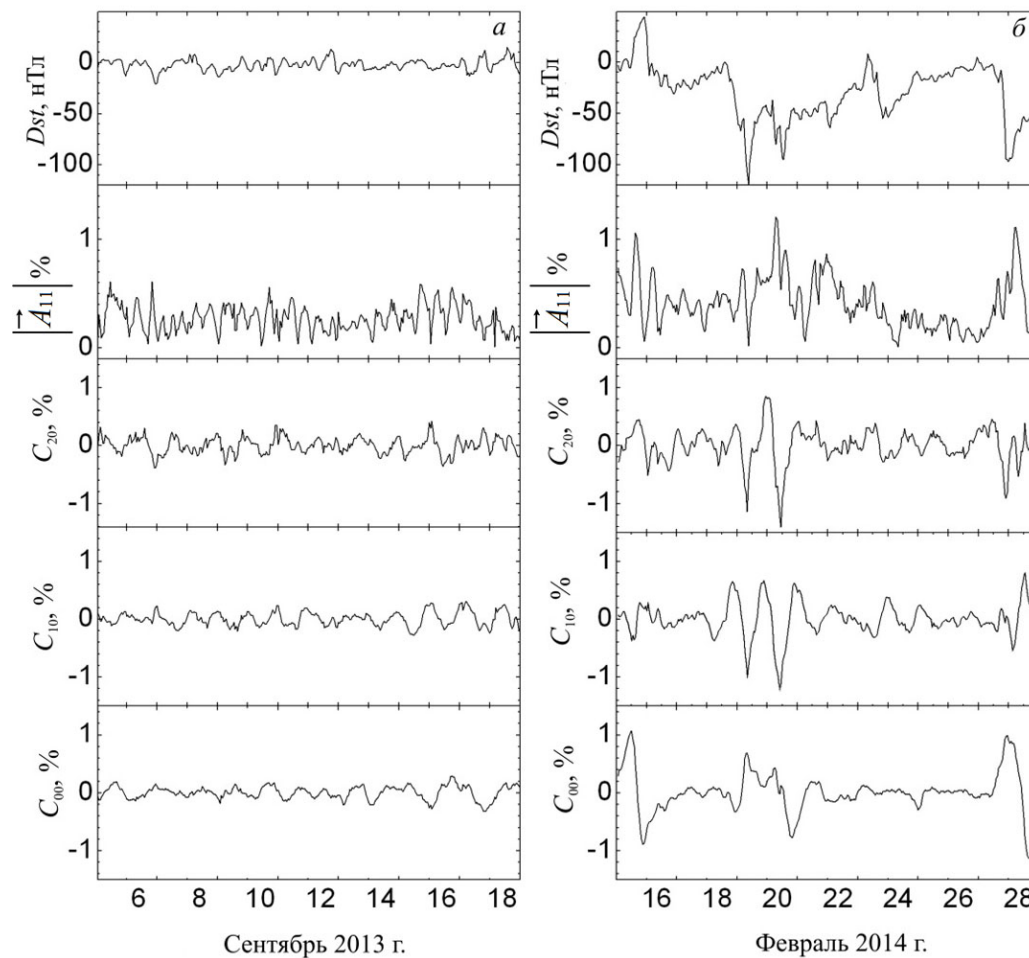


Рис. 1. *Dst*-индекс, компоненты распределения КЛ C_{00} , C_{10} , C_{20} и амплитуды суточной вариации КЛ $|\bar{A}_{11}|$ при отсутствии (а) и проявлении (б) геомагнитных возмущений

нетном пространстве, обусловленные первыми двумя сферическими гармониками. Для дальнейшего анализа использованы результаты расчета величин зональных компонент C_{00} , C_{10} и C_{20} . При этом учитывались суммарные значения с положительными $\sum C^+ = C_{00}^+ + C_{10}^+ + C_{20}^+$ и отрицательными $\sum C^- = C_{00}^- + C_{10}^- + C_{20}^-$ возрастаниями этих компонент, которые являются дополнительными предвестниками начала геомагнитной бури и наступления главной фазы возмущения. Также привлечена к анализу информация об амплитуде суточной анизотропии $|\bar{A}_{11}|$ и низкочастотной изотропной интенсивности КЛ I . На рис. 1 приведены зависимости от времени *Dst*-индекса, характеризующего геомагнитную активность, компонент распределения КЛ C_{00} , C_{10} , C_{20} и амплитуды суточной вариации интенсивности КЛ $|\bar{A}_{11}|$ при отсутствии (а) и проявлении (б) больших геомагнитных возмущений. Из рис. 1 видно, что при отсутствии возмущений максимальные значения этих параметров не превышают по модулю 0.5 % для зональных компонент и 0.7 % для амплитуды $|\bar{A}_{11}|$. В то же время в периоды больших гео-

магнитных возмущений эти значения, как правило, значительно превышают указанные величины.

В результате анализа событий геомагнитных бурь с $Dst < -50$ нТл за весь указанный выше период определены уровни критических величин положительных 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 этих компонент на главной фазе геомагнитных бурь. Также следует отметить, что превышение $|\bar{A}_{11}|$ величины 1.2 %, как правило, соответствует попаданию Земли в область крупномасштабного возмущения СВ, сопровождающегося понижением интенсивности КЛ, и может служить дополнительным предупреждением о возможном приближении геомагнитной бури.

В табл. 1 приведены новые критические значения положительных и отрицательных параметров зональных компонент распределения КЛ и их сумм, которые используются как предикторы в проводимом мониторинге геомагнитных возмущений. Приведены также ошибки δ определения этих параметров.

Таблица 1

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
2018	C^+	0.7	0.7	0.7	0.03	0.9
	C^-	-0.8	-0.8	-0.8	0.03	-1.2

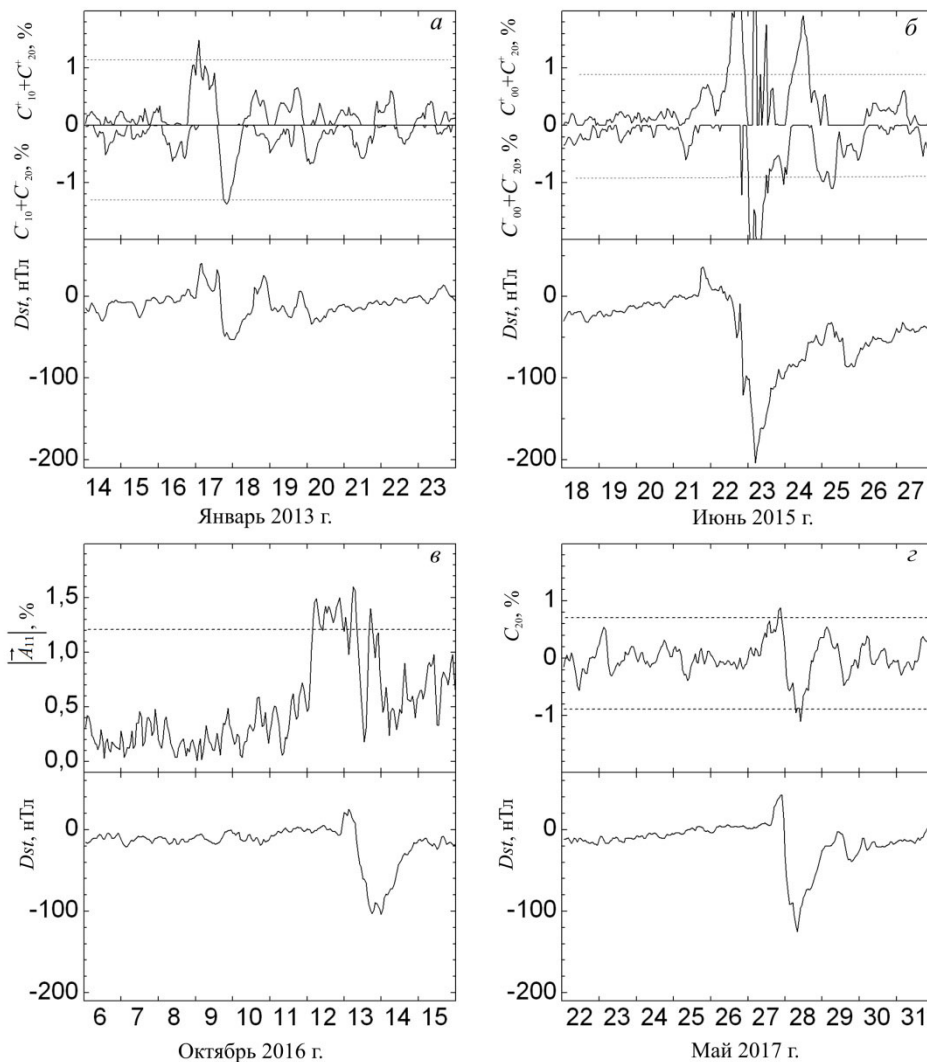


Рис. 2. Характеристики предвестников геомагнитных бурь в периоды четырех геомагнитных возмущений, наблюдавшихся в 2013, 2015, 2016 и 2017 г.

Из табл. 1 следует, что с понижением уровня солнечной активности критические значения зональных компонент с 2013 по 2018 г. уменьшились на величину ~10 %.

В качестве примера на рис. 2 показаны вариации Dst -индекса и значения комбинированных параметров распределения КЛ, использовавшихся для определения предикторов геомагнитных бурь в периоды

Таблица 2

Проявления предвестников геомагнитных бурь по годам

	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Всего геомагнитных бурь с $Dst < -50$ нТл	19	9	17	13	8	3
Имеют предвестники	11 (58 %)	8 (88 %)	15 (82 %)	11 (88 %)	8 (100 %)	2 (66 %)
Не имеют предвестников	8	1	2	2	0	1
Всего предвестников, связанных с $Dst > -50$ нТл	1	7	4	4	4	2
Предвестники, не связанные с возмущением Dst -индекса	6	5	3	7	1	1
Предвестники, связанные с форбуш-эффектами	5	2	2	6	0	0

четырёх возмущений, наблюдавшихся в 2013, 2015, 2016 и 2017 г. Пунктирные линии показывают критические уровни, превышение которых можно считать предупреждением о возможном начале возмущения. Рисунок 2, а, б показывает, что предикторами бурь соответственно являлись положительные суммы компонент $C_{10}+C_{20}$ и $C_{00}+C_{20}$. Отметим, что для геомагнитной бури в октябре 2016 г. (рис. 2, в) предиктором послужило устойчивое аномально большое значение амплитуды суточной вариации $|\bar{A}_{11}| > 1.2$ %.

Превышение критического уровня для положительного значения лишь одной компоненты C_{20} явилось предиктором магнитной бури в мае 2017 г. (рис. 2, г). На рис. 2, а, б, г показаны также случаи понижения отрицательных значений зональных компонент, которые соответствуют главной фазе геомагнитного возмущения. Как следует из рис. 2, проявление приведенных в табл. 1 предикторов по отдельным зональным компонентам распределения КЛ или их комбинированным суммам, а также по аномально большой амплитуде суточной анизотропии КЛ A_{11} наблюдается перед началом геомагнитных бурь с заблаговременностью от нескольких часов до суток. В табл. 2 представлены результаты проведенного нами анализа проявлений критических величин положительных предикторов и их связи с уровнем геомагнитной возмущенности или форбуш-эффектами с 2013 по 2018 г. Из табл. 2 следует, что в среднем около 80 % геомагнитных возмущений с $Dst < -50$ нТл имеют, согласно используемой нами методике, предиктор в КЛ до начала их проявлений на Земле. При этом установлено, что предикторы имеют все геомагнитные бури с $Dst < -100$ нТл. Отметим также, что предикторы в КЛ могут появляться перед регистрацией и небольших возмущений геомагнитного поля. Наблюдающиеся «ложные» предикторы в относительно спокойные геомагнитные периоды в основном связаны с возмущениями солнечного ветра, вызывающими понижения интенсивности КЛ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Проведенный на основе метода глобальной съемки ретроспективный анализ связи параметров распределения КЛ с наблюдавшимися в 2013–2018 гг. геомагнитными возмущениями позволил установить возможность определения эффективных предвестников геомагнитных бурь с $Dst < -50$ нТл.

2. Найден критические значения величин зональных компонент распределения КЛ, которые являются эффективными предвестниками геомагнитных возмущений с заблаговременностью от нескольких часов до суток.

3. Использование международной базы данных измерений мировой сети нейтронных мониторов NMDB [<http://www.nmdb.eu>] позволяет проводить непрерывный мониторинг геомагнитных возмущений в режиме реального времени.

4. Результаты проводимого мониторинга доступны на [http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html].

Мы благодарим авторов базы данных NMDB, созданной в рамках программы FP7 Европейского союза (контракт № 213007), за предоставленный открытый доступ к измерениям мировой сети нейтронных мониторов. Работа выполнена с использованием оборудования уникальной научной установки «Российская национальная наземная сеть станций космических лучей» [<http://ckp-rf.ru/usu/433536>; <http://cr.izmiran.ru/unu.html>] и при поддержке гранта РФФИ № 18-42-140002-р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Григорьев В.Г., Стародубцев С.А. Метод глобальной съемки в режиме реального времени и прогноз космической погоды // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79, № 5. С. 703–707. DOI: [10.7868/S0367676515050233](https://doi.org/10.7868/S0367676515050233).
- 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).
- Дворников В.М., Сергеев А.В., Сдобнов В.Е. Аномальные вариации космических лучей в жестком диапазоне 2–5 ГВ и их связь с гелиосферными возмущениями // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52, № 12. С. 2435–2437.
- Дворников В.М., Сдобнов В.Е., Сергеев А.В. Способ прогноза спорадических геоэффективных возмущений солнечного ветра // Патент РФ № 1769602. 1995.
- Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Кривошапкин П.А. и др. Космические лучи и солнечный ветер. Новосибирск: Наука, 1981. 224 с.
- Belov A.V., Bieber J.W., Eroshenko E.A., et al. Pitch-angle features in cosmic rays in advance of severe magnetic storms: neutron monitor observations // Proc. 27th International Cosmic Ray Conference. Hamburg. 2001. V. 9. P. 3507–3510.
- Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. On a possibility of prediction the level of geomagnetic disturbance from effects in cosmic rays // Proc. 24th International Cosmic Ray Conference. 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. 28th International Cosmic Ray Conference. Tsukuba. 2003. V. 6. P. 3553–3556.

Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A., Krivoschapkin P.A., et al. Cosmic ray anisotropy based on Yakutsk station in real time // Adv. Space Res. 2008. V. 41. P. 943–946. DOI: [10.1016/j.asr.2007.04.072](https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.04.072).

Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A., Gololobov P.Yu. Dynamics of zonal components of cosmic ray distribution during geomagnetic storm periods // Proc. of Science, PoS(ICRC2015)076. 2016.

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: [10.1029/2000JA000064](https://doi.org/10.1029/2000JA000064).

Munakata K., Kuwabara T., Yasue S., et al. A “loss cone” precursor of an approaching shock observed by a cosmic ray muon hodoscope on October 28, 2003 // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L03S04. DOI: [10.1029/2004GL021469](https://doi.org/10.1029/2004GL021469).

Plotnikov I.Ya., Shadrina L.P., Starodubtsev S.A., et al. Coronal mass ejection, geomagnetic storms and ground-based cosmic ray intensity decreases // Proc. 10th International Conference “Problems of Geocosmos”. St. Petersburg, Russia, October 6–10, 2014. P. 351–354.

Shadrina L.P., Barkova E.S., Plotnikov I.Ya., et al. Large-scale solar wind disturbances as a reason of intense geomagnetic storms // Proc. 9th International Conference “Problems of Geocosmos”. St. Petersburg, Russia, October 8–12, 2012a. P. 381–386.

Shadrina L.P., Plotnikov I.Ya., Starodubtsev S.A. Forbush decreases in the absence of geomagnetic storms // Proc. 9th International Conference “Problems of Geocosmos”. St. Petersburg, Russia, October 8–12, 2012b. P. 387–391.

Shadrina L.P., Krimsky G.F., Plotnikov I.Ya., et al. Interplanetary shock geoeffectiveness during a growth phase of solar activity // Proc. 10th International Conference “Problems of Geocosmos”. St. Petersburg, Russia, October 6–10, 2014. P. 388–391.

URL: http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html (дата обращения 1 февраля 2019 г.).

URL: http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/currents_real_time.html (дата обращения 1 февраля 2019 г.).

URL: <http://neutronm.bartol.udel.edu/spaceweather> (дата обращения 10 января 2019 г.).

URL: <http://cr0.izmiran.rssi.ru/AnisotropyCR/mainhtm> (дата обращения 10 января 2019 г.).

URL: <http://www.mustang.uni-greifswald.de/spaceweather.htm> (дата обращения 10 января 2019 г.).

URL: <http://www.nmdb.eu> (дата обращения 1 февраля 2019 г.).

URL: <http://ckp-rf.ru/usu/433536> (дата обращения 15 января 2019 г.).

URL: <http://cr.izmiran.ru/unu.html> (дата обращения 22 января 2019 г.).

REFERENCES

Belov A.V., Bieber J.W., Eroshenko E.A., Evenson P. Pitch-angle features in cosmic rays in advance of severe magnetic storms: neutron monitor observations. *Proc. 27th International Cosmic Ray Conference*. Hamburg, 2001, vol. 9, pp. 3507–3510.

Dorman L.I., Belov A.V., Eroshenko E.A., Pustil'nik L.A., Sternlieb A., Yanke V.G., Zukerman I.G. Possible cosmic ray using for forecasting of major geomagnetic storms, accompanied by Forbush effects. *Proc. 28th International Cosmic Ray Conference*. Tsukuba, 2003, vol. 6, pp. 3553–3556.

Dvornikov V.M., Sergeev A.V., Sdobnov V.E. Abnormal variations of cosmic rays in the rigidity range 2–5 GV and their relationship with heliospheric disturbances. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya fizicheskaya* [Bulletin of the Academy of Sciences of USSR: Physics]. 1988, vol. 52, no. 12, pp. 2435–2437. (In Russian).

Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Sergeev A.V. Method for prediction of sporadic geoeffective perturbations of solar wind. Patent RF no. 1769602, 1995.

Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. On a possibility of prediction the level of geomagnetic disturbance from effects in cosmic rays. *Proc. 24th International Cosmic Ray Conference*. Rome, 1995, vol. 4, pp. 1098–1101.

Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A. Global survey method in real time and space weather forecasting. *Bull. of RAS: Phys.* 2015, vol. 79, no. 5, pp. 649–653. DOI: [10.3103/S1062873815050226](https://doi.org/10.3103/S1062873815050226).

Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A., Gololobov P.Yu. Dynamics of zonal components of cosmic ray distribution during geomagnetic storm periods. *Proc. of Science*. PoS(ICRC2015)076. 2016.

Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A., Gololobov P.Yu. Monitoring geomagnetic disturbance predictors using data of ground measurements of cosmic. *Bull. of RAS: Phys.* 2017, vol. 81, no. 2, pp. 200–202. DOI: [10.3103/S1062873817020198](https://doi.org/10.3103/S1062873817020198).

Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A., Krivoschapkin P.A., Prikhodko A.N. Cosmic ray anisotropy based on Yakutsk station in real time. *Adv. Space Res.* 2008, vol. 41, pp. 943–946. DOI: [10.1016/j.asr.2007.04.072](https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.04.072).

Munakata K., Bieber J.W., Yasue S., Kato C., Koyama M., Akahane S., Fujimoto K., Fujii Z., Humble J.E., Duldig M.L. Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network. *J. Geophys. Res.* 2000, vol. 105, i. A12, pp. 27457–27468. DOI: [10.1029/2000JA000064](https://doi.org/10.1029/2000JA000064).

Munakata K., Kuwabara T., Yasue S., Kato C., Akahane S., Koyama M. A “loss cone” precursor of an approaching shock observed by a cosmic ray muon hodoscope on October 28, 2003. *Geophys. Res. Lett.* 2005, vol. 32, L03S04. DOI: [10.1029/2004GL021469](https://doi.org/10.1029/2004GL021469).

Krymsky G.F., Kuzmin A.I., Krivoschapkin P.A., Samsonov I.S., Skripin G.V., Transky I.A., Chirkov N.P. *Kosmicheskie luchy i solnechnyi veter* [Cosmic Rays and Solar Wind]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, 224 p. (In Russian).

Plotnikov I.Ya., Shadrina L.P., Starodubtsev S.A., Krimsky G.F. Coronal mass ejection, geomagnetic storms and ground-based cosmic ray intensity decreases. *Proc. 10th International Conference “Problems of Geocosmos”*. St. Petersburg, Russia, October 6–10, 2014, pp. 351–354.

Shadrina L.P., Barkova E.S., Plotnikov I.Ya., Starodubtsev S.A. Large-scale solar wind disturbances as a reason of intense geomagnetic storms. *Proc. 9th International Conference “Problems of Geocosmos”*. St. Petersburg, Russia, October 8–12, 2012a, pp. 381–386.

Shadrina L.P., Plotnikov I.Ya., Starodubtsev S.A. Forbush decreases in the absence of geomagnetic storms // *Proc. 9th International Conference “Problems of Geocosmos”*. St. Petersburg, Russia, October 8–12, 2012b, pp. 387–391.

Shadrina L.P., Krimsky G.F., Plotnikov I.Ya., Starodubtsev S.A. Interplanetary shock geoeffectiveness during a growth phase of solar activity. *Proc. 10th International Conference “Problems of Geocosmos”*. St. Petersburg, Russia, October 6–10, 2014, pp. 388–391.

URL: http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html (accessed February 1, 2019).

URL: http://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/currents_real_time.html (accessed February 1, 2019).

URL: <http://neutronm.bartol.udel.edu/spaceweather> (accessed January 10, 2019).

URL: <http://cr0.izmiran.rssi.ru/AnisotropyCR/mainhtm> (accessed January 10, 2019).

URL: <http://www.mustang.uni-greifswald.de/spaceweather.htm> (accessed January 10, 2019).

URL: <http://www.nmdb.eu> (accessed February 1, 2019).

URL: <http://ckp-rf.ru/usu/433536> (accessed January 15, 2019).

URL: <http://cr.izmiran.ru/unu.html> (accessed January 22, 2019).

Как цитировать эту статью:

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. DOI: [10.12737/szf-53201911](https://doi.org/10.12737/szf-53201911).