

Behavior of the cosmic ray vector anisotropy before the interplanetary shocks

Belov, A.(1), Dryn, E.(2), Eroshenko, E. (1), Kryakunova, O. (2), Oleneva, V. (1), Yanke V.(1).

(1) *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), 142190 Troitsk, Moscow region, RF*

(2) *Institute of Ionosphere, Republic of Kazakhstan,*

Contact person: Belov Anatoly: abelov@izmiran.ru

Abstract.

The behavior of the galactic cosmic ray density and vector anisotropy in the periods of geomagnetic storms with sudden storm commencements are investigated by the results derived from neutron monitor network data over the 1965-2006 years using the global survey method. It is shown that in average the anisotropy directly before the sudden storm commencement have a perceptible increase, and the more the following Forbush decrease the more is an increase of anisotropy. Approach of a shock wave starts to affect the cosmic ray anisotropy and density about five hours prior to the shock arrival at Earth. Changes of the anisotropy direction, especially for western sources of Forbush effects, may be revealed significantly earlier.

УДК 524.1 - 352

ПОВЕДЕНИЕ ВЕКТОРНОЙ АНИЗОТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВБЛИЗИ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

© 2008 Белов А.¹, Асипенка А.¹, Дрынъ Е.², Ерошенко Е.¹, Крякунова О.², Оленева В.¹, Янке В.¹

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, /Троицк, 142190, Россия*

² *Институт ионосферы, Алма-Ата, 050020, Казахстан*

E-mail: abelov@izmiran.ru

По результатам, полученным методом глобальной съёмки, исследовано поведение плотности и векторной анизотропии галактических космических лучей в периоды с внезапными началами геомагнитных бурь (SSC). Показано, что средняя анизотропия непосредственно перед SSC существенно увеличивается и её увеличение тем больше, чем больше последующее Форбуш-понижение. На усреднённых величинах анизотропии и плотности КЛ приближение ударной волны начинает сказываться приблизительно за 5 часов до её прихода. Изменения направления анизотропии (особенно для западных источников Форбуш-эффекта) можно видеть значительно раньше.

ВВЕДЕНИЕ

О том, что наблюдаемые на Земле космические лучи (КЛ) реагируют на приближение ударной волны задолго до её прихода, известно давно [1,2], и в последние 15 лет эта тема особенно активно

развивается [3-8]. Эффект приближающейся ударной волны (предвестник) является сложным сочетанием предвозрастания и предпонижения и предполагает необычное угловое распределение интенсивности КЛ, которое трудно представить суммой первых сферических гармоник. Тем не менее, он должен отражаться в изменениях нулевой и первой сферических гармоник [7].

Цель данной работы - на большом статистическом материале изучить изменения плотности и первой гармоникой анизотропии КЛ перед приходом межпланетных ударных волн к Земле.

ДАнные И МЕТОды

Для анализа использованы расчёты вариаций плотности и анизотропии КЛ, выполненные методом глобальной съёмки [9] за каждый час для 50 лет (1957-2006 гг.) (<http://cr20.izmiran.rssi.ru/AnisotropyCR/Index.php>), объединенные с параметрами солнечного ветра и характеристиками геомагнитной активности (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html>). Получившаяся таким образом база данных стала одним из главных инструментов нашего анализа. Активно использовалась и другая база данных, созданная в ИЗМИРАНе и объединяющая информацию о межпланетных возмущениях и Форбуш-эффектах. Среди >5900 выделенных Форбуш-эффектов (ФЭ) 1548 начинаются вместе с внезапным началом (SSC) магнитной бури; 1317 из них относятся к периоду 1964-2006 гг., который, в основном, изучается в данной работе.

При исследовании анизотропии мы используем, главным образом, составляющую A_{xy} первой гармоники - проекцию векторной анизотропии на плоскость земного экватора. Именно эта составляющая создаёт солнечно-суточную анизотропию и суточные волны, хорошо знакомые всем, кто имел дело с данными нейтронных мониторов. Преимущества экваториальной составляющей A_{xy} в том, что она определяется отдельно для каждого часа и не зависит от процедуры сшивания результатов глобальной съёмки, полученных для отдельных временных интервалов. Не менее важно то, что мы определяем абсолютную величину A_{xy} , а это нелегко сделать для другой составляющей полного вектора анизотропии – северо-южной компоненты A_z , направленной вдоль земной оси [10].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для всех 1548 Форбуш-эффектов, начинающихся вместе с SSC, в час, предшествующий часу регистрации SSC, средняя величина $A_{xyb}=0.76\pm 0.01\%$ и для 1317 ФЭ в 1964-2006 гг. она такая же. Средняя величина A_{xy} , рассчитанная для всех 376402 часов в 1964-2006 гг. (исключены только периоды наземных возрастаний солнечных КЛ), оказалась $A_{xy}=0.6165\pm 0.0007\%$, т.е. анизотропия КЛ перед SSC значительно **выше средней**. Однако не следует сразу же связывать выявленное увеличение анизотропии с приближающейся ударной волной. Форбуш-эффекты часто идут сериями, и значительная часть ФЭ начинается на возмущённом фоне. Чтобы исключить возмущенные периоды перед SSC оставим только те события, которые начинаются не ранее, чем через 48 часов после предыдущего и в которых межпланетная обстановка у Земли в час, предшествующий SSC, была достаточно спокойной: скорость солнечного ветра <550 км/с и напряженность межпланетного магнитного поля <9 нТл. Для такой выборки ($t_A > 48$ ч), составляющей 368 событий, $A_{xyb}=0.73\pm 0.02\%$. Для тех же спокойных межпланетных условий (131316 часов) **средняя величина** $A_{xy}=0.574\pm 0.001\%$, т.е. она заметно ниже, чем для всех часов. Таким образом, разница между средней A_{xy} и её величиной перед SSC составляет более 6 стандартных статистических отклонений и её можно считать значимой. Из этого следует, что полученное различие обусловлено не более ранними возмущениями, а приближающейся ударной волной и межпланетным возмущением, следующим за ней.

Сравним теперь составляющие A_x и A_y . Для спокойного солнечного ветра (131316 часов) $A_x=0.070\pm 0.001\%$, а $A_y=0.370\pm 0.001\%$. Для тех же спокойных, но предшоковых условий (368 часов) $A_x=0.05\pm 0.02\%$, а $A_y=0.47\pm 0.03\%$. Различия, в основном, относятся к A_y , и они меньше, чем в A_{xy} . Это означает, что перед SSC анизотропия меняется не только по величине, но и по направлению.

Чтобы проверить, связана ли анизотропия перед началом события (A_{xyb}) с величиной последующего Форбуш-эффекта A_f и анизотропией внутри него, мы взяли события, начавшиеся в спокойных условиях (как определено выше). Чтобы уменьшить возможное участие событий,

обусловленных **высокоскоростными потоками** солнечного ветра из корональных дыр, а также сложных ФЭ, связанных с несколькими источниками, мы оставили только ФЭ с минимумом плотности КЛ, отстоящим от начала события не более чем на сутки. На рис. 1 показаны величины ФЭ и максимальные значения $A_{ХУm}$ экваториальной составляющей анизотропии внутри ФЭ в зависимости от величины $A_{ХУь}$. Можно видеть, что величина ФЭ растёт с увеличением $A_{ХУь}$. Связь между величинами $A_{ХУь}$ и A_F для этой группы событий характеризуется коэффициентом корреляции 0.46. Значительно более тесная связь наблюдается между $A_{ХУь}$ и $A_{ХУm}$ (коэффициент корреляции 0.74). Можно видеть, что величина анизотропии КЛ, наблюдаемой перед приходом межпланетного возмущения, статистически связана с величиной будущего Форбуш-эффекта и анизотропией внутри него и, по-видимому, в какой-то мере ими определяется.

Изменения анизотропии КЛ можно заметить не только непосредственно перед приходом ударной волны, но и раньше, что показывает рис. 2, где поведение плотности КЛ и величина $A_{ХУ}$ усреднены методом наложения эпох. Перед SSC плотность КЛ, в основном, постепенно растёт (восстановление после предыдущих Форбуш-понижений). Но в последние 12 часов этот постепенный рост сначала замедляется, а затем сменяется некоторым спадом, особенно заметным в последний час перед SSC. Величина $A_{ХУ}$ в начале близка к среднему значению. За 5-7 часов до прихода ударной волны начинается её постепенный рост, который ускоряется к моменту SSC и продолжается после него. Максимальных значений анизотропия КЛ достигает через 3-4 часа после SSC. Естественно предположить, что влияние ударной волны на значительную часть КЛ будет ощущаться на расстоянии одного ларморова радиуса ρ от фронта. В использованной ранее выборке из 332 событий, начавшихся на спокойном фоне, средняя напряжённость ММП перед SSC составила 5.1 ± 0.1 нТл. У протонов с жесткостью 10 ГВ в таком поле ларморов радиус $\rho \approx 0.043$ а.е., и ударная волна, имеющая скорость 500 км/с, проходит такое расстояние за 3.6 часа.

Сравнение распределения $A_{ХУь}$ по величине с распределением всех $A_{ХУ}$ в 1964-2006 гг. показывает, что маленькие величины $A_{ХУ}$ (<0.6%) перед ударной волной встречаются реже, чем в другое время, а величины $A_{ХУ} > 0.6\%$, наоборот, чаще. Особенно заметно это превышение для $A_{ХУь} > 1.1\%$.

В усреднённом поведении анизотропии ($A_{ХУ}$) удаётся выделить эффект приближающейся ударной волны, но он сравнительно невелик. Скорее всего, для отдельных событий и групп ФЭ изучаемый эффект должен быть больше, но мы его уменьшаем при усреднении. На рис. 3 показано поведение плотности и экваториальной составляющей первой гармоники анизотропии ($A_{ХУ}$) перед и сразу после SSC, усредненное по 66 событиям, связанными с западными солнечными источниками (ассоциированные вспышки западнее W20), во время которых область наибольшей модуляции КЛ находится западнее Земли. Видно, что в таких событиях вектор анизотропии поворачивается к Солнцу примерно за 20-30 часов до прихода ударной волны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ поведения векторной анизотропии КЛ, полученной по данным мировой сети нейтронных мониторов, способен дать информацию о приближающихся ударных волнах. Для отдельных групп событий предвестники достаточно велики и становятся заметны более чем за сутки до начала геомагнитной бури. **Анализ поведения плотности и векторной анизотропии КЛ желательно дополнить изучением углового распределения КЛ, найденного без выделения сферических гармоник.**

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 07-02-00915 и 07-02-13525, программа Президиума РАН «Нейтронная физика»), а также европейского проекта в рамках FP7 (NMDB 213007). Авторы благодарят также всех ответственных за работу станций мировой сети нейтронных мониторов, своевременно предоставляющих свои данные для исследований (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/ThankYou/main.htm>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bloch Ya.L., Dorman, L.I., Kammer, N.S. // Proc. 6th ICRC. 1959. V.4. P.77.
2. Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Кривошапкин П.А. и др.//Космические лучи и солнечный ветер. Новосибирск: Наука, СО АН СССР. 1981. 224 с.
3. Belov A.V., L.I. Dorman, E.A. Eroshenko, N. Iucci, G. Villaresi, and V. Yanke. //Proc. 24th ICRC. Rome 1995. V.4. P.888.
4. Nagashima K., K. Fujimoto, and I. Morishita, //J. Geophys. Res. 1994. V.99. P.21419
5. Ruffolo D., J.W. Bieber, P. Evenson, and R. Pyle, Precursors to Forbush decreases and space weather prediction. //Proc. 26th ICRC. 1999. V.6. P.440.
6. Munakata K., J. W. Bieber, S. Yasue, C. Kato, M. Koyama, S. Akahane, K. Fujimoto, Z. Fujii, J. E. Humble, and M. L. Duldig, // J. Geophys. Res. 2000. V.105. P.27457.
7. Belov A.V., J.W. Bieber, E.A. Eroshenko, P. Evenson, R. Pyle, and V.G. Yanke, //JASR. 2003. V.31. N4. P. 919.
8. Leerunnavarat K., Ruffolo D., and Bieber J.W. //Astrophys. J. 2003. P. 593587.
9. Belov A., Baisultanova L., Eroshenko E., Mavromichalaki H., Yanke V., Pchelkin V., Plainaki C., Mariatos G.// J. Geophys. Res. 2005. V.110. A09S20.
10. Belov A.V., Dorman, L.I., Eroshenko, E.A., Oleneva, V.A. //Proc. 21st ICRC. 1990. V.6. P.357.

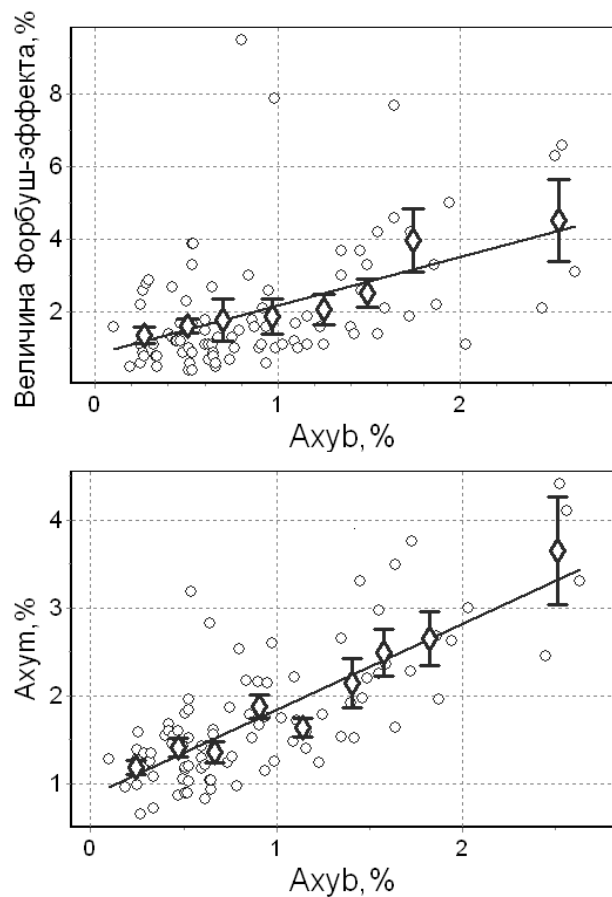


Рис. 1. Связь величины последующего Форбуш-понижения (верхняя панель) и максимальной амплитуды $A_{хум}$ первой гармоники анизотропии КЛ в нём (нижняя панель) от величины первой гармоники анизотропии $A_{хyb}$ непосредственно перед ударной волной.

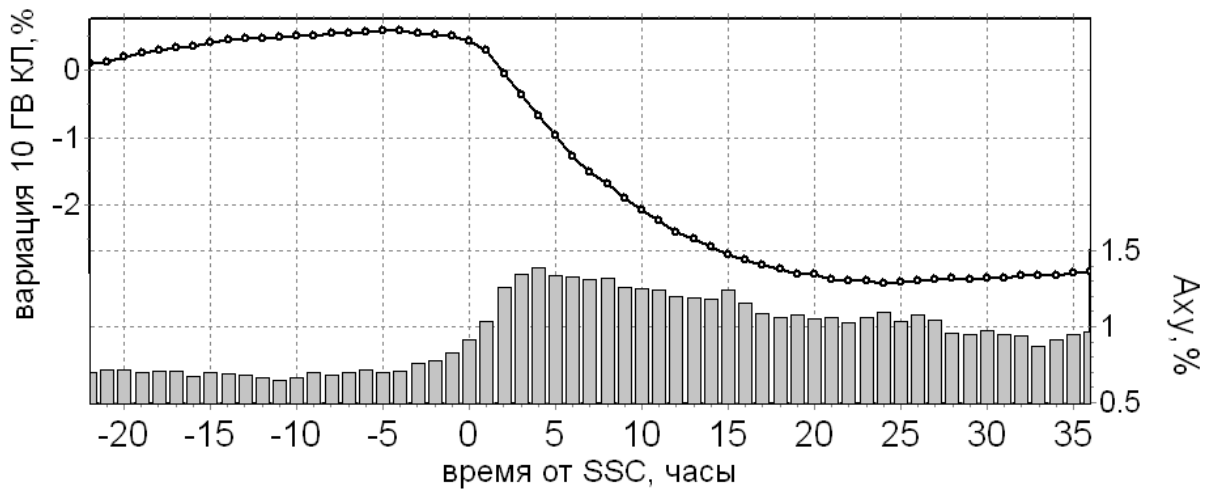


Рис. 2. Усреднённые для 332 Форбуш эффектов изменения плотности и амплитуды первой гармоники анизотропии КЛ перед и после SSC.

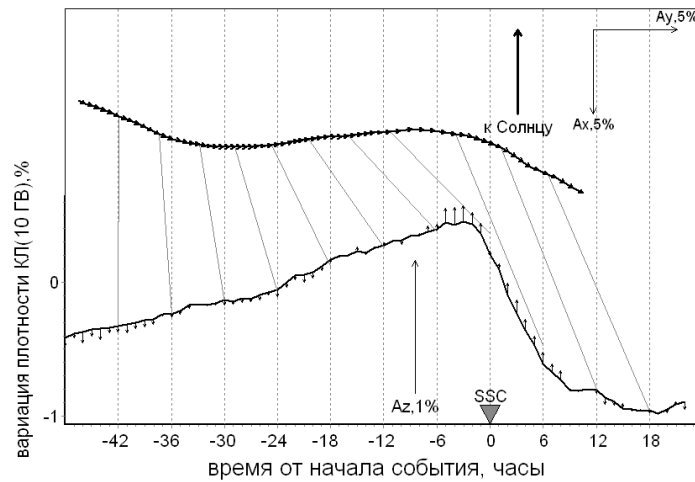


Рис. 3. Усредненные вариации плотности (нижняя кривая) и анизотропии (верхняя кривая) космических лучей перед Форбуш-понижениями, обусловленными западными источниками. Поведение экваториальной составляющей анизотропии A_{xy} дано в виде векторной диаграммы, кривые плотности и анизотропии соединены линиями через каждые 6 часов.