

**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СУТОЧНОЙ АНИЗОТРОПИИ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ СТАНЦИЙ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ**

В.Д. Потапова, С.А. Стародубцев, В.Г. Григорьев

**APPLIED ASPECTS OF RESEARCH INTO DAILY COSMIC RAY ANISOTROPY FROM DATA
OF NEUTRON MONITOR STATIONS**

V.D. Potapova, S.A. Starodubtsev, V.G. Grigoryev

В конце 1960-х – начале 1970-х годов в ИКФИА СО РАН для определения параметров функции распределения космических лучей (КЛ) и изучения свойств солнечного ветра был разработан метод глобальной съемки. В нем вся мировая сеть станций КЛ используется как единый многонаправленный прибор. В данной работе с помощью этого метода мы определяли параметры первой гармоники функции распределения КЛ за каждый час измерений 1981–1998 гг. Установлено, что в анализируемый период времени в более чем 60 % случаев (218 из 365 событий), за 1–3 сут перед приходом на Землю крупномасштабных возмущений солнечного ветра, в направлении от Солнца наблюдалась устойчивая (не менее 3 часов) радиальная компонента суточной анизотропии КЛ с амплитудой более 0.4 %. Сделан вывод, что это может служить предвестником геомагнитных бурь.

In the late 1960s and at the beginning of 1970 at IKFIA, SB RAS, the method of global survey was developed for definition of distribution function parameters of cosmic rays and studying of solar wind properties. In this method, the whole world network of cosmic ray stations is used as the one multidirectional device. In this paper, by means of this method we have determined parameters of the first harmonic of distribution function of cosmic rays per each hour of measurements for 1981–1998. It has been found that during the analyzed period in more than 60 % of cases (218 from 365 events), for the time period from 1 up to 3 days before the arrival to the Earth of large-scale disturbances of the solar wind, in the direction from the Sun the stable (not less than 3 hours) radial component of daily cosmic ray anisotropy with the amplitude more than 0.4 % has been observed. The conclusion that it can serve as a precursor of geomagnetic storms has been made.

Введение

В ИКФИА СО РАН многие годы проводятся работы по прогнозированию прихода на орбиту Земли межпланетных ударных волн по данным измерений интенсивности космических лучей (КЛ), воздействие которых на магнитосферу Земли приводит к возникновению геомагнитных бурь. Бури, в свою очередь, могут влиять на качество и надежность космических и наземных технологических систем и подвергать опасности жизнь и здоровье человека. Поэтому разработка методов прогноза сильных геофизических возмущений является актуальной задачей современности.

Метод глобальной съемки

В конце 1960-х – начале 1970-х гг. в ИКФИА СО РАН для определения параметров функции распределения КЛ и изучения свойств солнечного ветра был разработан метод глобальной съемки. В нем вся мировая сеть станций КЛ используется как единый многонаправленный прибор. В основу этой методики положена связь тока \vec{W} с анизотропией КЛ \vec{A} , выражаемая соотношением:

$$\vec{W} = \vec{c}A / (\gamma + 2), \quad (1)$$

где \vec{c} – скорость частиц, приближенно равная скорости света; γ – показатель дифференциального энергетического спектра [Алтухов и др., 1973]. Использование вместо анизотропии \vec{A} понятия тока \vec{W} лучше отражает физический смысл явлений конвекции и диффузии частиц.

Прежде чем включить данные мировой сети нейтронных мониторов в совместный анализ, нужно учесть, что каждый прибор регистрирует излучение из большой области небесной сферы, определяемой его географическим положением, ориентацией в

пространстве и диаграммой направленности.

Переход от интенсивности, регистрируемой расположенным на Земле прибором, к распределению частиц в околосолнечном пространстве за пределами магнитосферы выполняется с помощью геометрической теории вариаций КЛ [Дорман, 1963; Чирков, 1967].

С учетом всего вышесказанного и использованием асимптотической диаграммы направленности и метода «приемных векторов» интенсивность, выраженная через распределение КЛ, определяется выражением

$$I_{\text{инт}} = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (r_n^m Z_n^{m*} + r_n^{m*} Z_n^m), \quad (3)$$

где r_n^m и Z_n^m – комплексные коэффициенты, полностью определяющие распределение и асимптотическую диаграмму в системе угловых координат Φ, Ψ ; * – комплексное сопряжение.

Для определения изотропной интенсивности ($n=0$) необходим один прибор. Для определения первой сферической гармоники при условии, что распределение не содержит более высоких гармоник, – четыре прибора и для определения первых двух гармоник – девять приборов, надлежащим образом размещенных по земной поверхности. Если число приборов достаточно, то вектор $\vec{A}(t)$ для каждого момента времени может быть найден из системы линейных алгебраических уравнений вида

$$I = \vec{A}\vec{R}, \quad (4)$$

Поскольку приборы, размещенные в пунктах с различными геомагнитными порогами, имеют различающиеся коэффициенты связи, то и интегральные векторы \vec{A} [Крымский и др., 1966], для каждого прибора различны. Система уравнений (3) примет вид

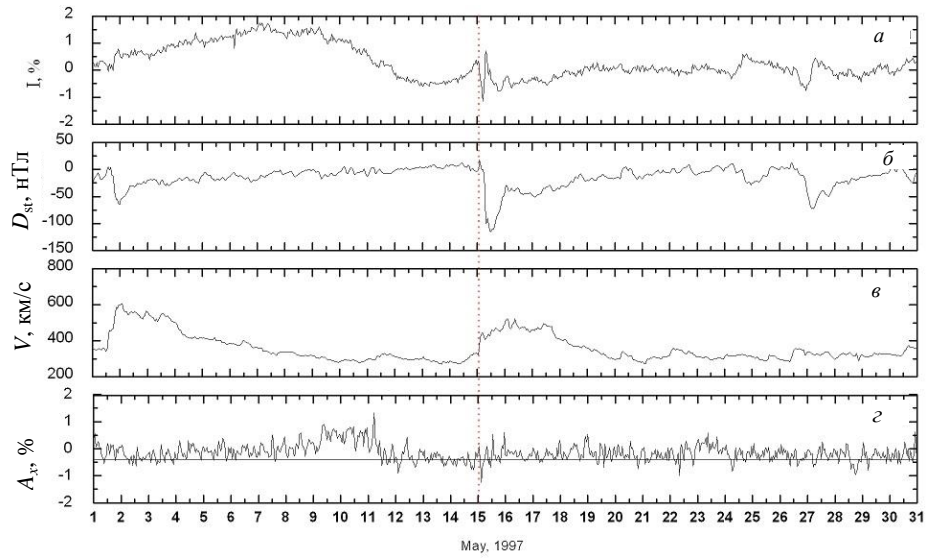


Рис. 1. Зависимость от времени изотропной интенсивности КЛ (а), D_{st} -индекса геомагнитного поля (б), скорости солнечного ветра (в), радиальной компоненты суточной анизотропии КЛ (г) в мае 1997 г.

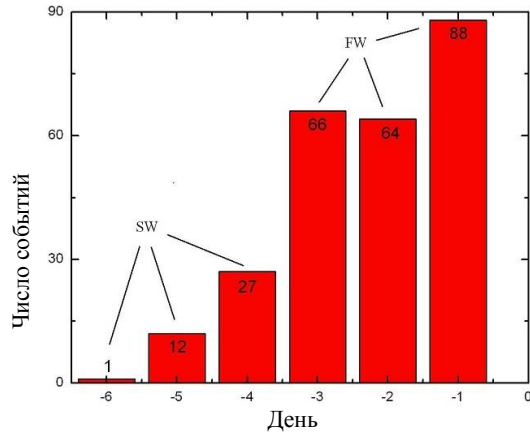


Рис. 2. Распределение числа событий, в которых наблюдались предвестники крупномасштабных возмущений солнечного ветра.

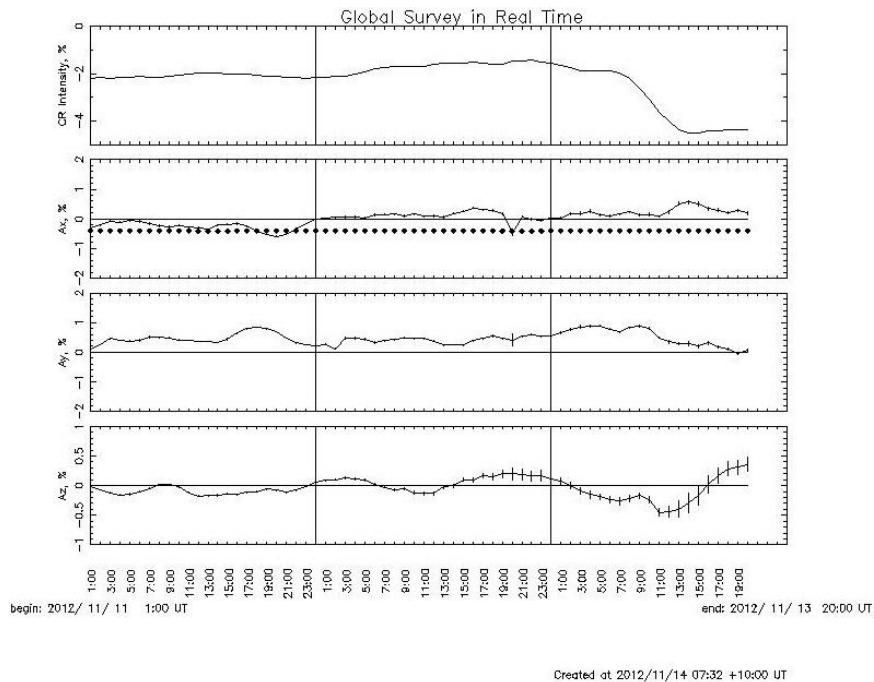


Рис. 3. Сверху вниз: зависимость от времени изотропной интенсивности КЛ, радиальной (A_x), тангенциальной (A_y) и северо-южной (A_z) компонент суточной анизотропии КЛ, полученных методом глобальной съемки в реальном времени.

$$I^j = \sum_{n=0}^l \sum_{m=0}^n (a_n^m x_n^{m,j} + b_n^{m,0} y_n^{m,j}) K_n^j; j=1, 2, \dots, K, \quad (5)$$

где a и b уже не зависят от j .

Метод глобальной съемки позволяет определять анизотропию КЛ в каждый момент времени и делает возможным исследование быстрых флуктуаций анизотропии, связанных с динамикой межпланетной среды.

Экспериментальные данные и результаты

В данной работе с помощью метода глобальной съемки мы определяли параметры первой гармоники функции распределения КЛ (или суточной анизотропии КЛ) за каждый час измерений 1981–1998 гг. Использовались часовые данные сети нейтронных мониторов, поступающие в известную базу данных NMDB в режиме реального времени. В качестве дополнительной информации мы использовали часовые данные прямых измерений скорости солнечного ветра, выполненные на космических аппаратах, и D_{st} -индекса геомагнитной активности.

На рис. 1 показана зависимость от времени изотропной интенсивности КЛ (a), D_{st} -индекса геомагнитного поля (b), скорости солнечного ветра (v), радиальной компоненты суточной анизотропии КЛ (z) в мае 1997 г. Красным пунктиром показано время начала геомагнитной бури, черным – критический уровень для выработки прогноза.

Видно, что наблюдаемое в начале 15 мая 1997 г. возмущение геомагнитного поля имеет предиктор в виде значительных и устойчивых величин радиальной компоненты $A_r > 0.4\%$ с 11 по 15 мая.

В исследуемый период с 1981 по 1998 г. нами было зафиксировано 365 событий, сопровождавшихся геомагнитными бурями, – из них 218 событий имели предвестники 1–3 сут до прибытия на орбиту Земли крупномасштабных возмущений солнечного ветра. На рис. 2 показано распределение числа событий, в которых наблюдались предвестники крупномасштабных возмущений солнечного ветра.

Использование данных сети станций КЛ позволяет определить параметры анизотропии КЛ с большей точностью. На рис. 3 показана зависимость от времени изотропной интенсивности КЛ, радиальной (A_x), тангенциальной (A_y) и северо-южной (A_z) компонент суточной анизотропии КЛ, полученных методом глобальной съемки в режиме реального времени. Прогноз основан на факте появления устойчивой радиальной компоненты анизотропии КЛ в направлении от Солнца с амплитудой более 0.4 %.

Заключение

Установлено, что в анализируемый период в более чем 60 % случаев (218 из 365 событий) за 1–3 сут перед приходом на Землю крупномасштабных возмущений солнечного ветра, которые вызывали геомагнитные бури, в направлении от Солнца наблюдалась устойчивая (не менее 3 ч) радиальная компонента суточной анизотропии КЛ с амплитудой более 0.4 %. Сделан вывод, что это может служить предвестником геомагнитных бурь, а метод глобальной съемки является полезным инструментом для прогноза космической погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алтухов А.М., Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И. Динамические эффекты в космических лучах // Распределение галактических космических лучей и динамика структурных образований в солнечном ветре. Якутск, 1973. С. 198–248.

Дорман Л.И. Вариации космических лучей и исследование космоса. М.: АН СССР, 1963. 1028 с.

Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Чирков Н.П. и др. Распределение космических лучей и приемные векторы детекторов. I. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1966. Т. 6, № 8. С. 991–996.

Чирков Н.П. К исследованию распределения космических лучей методом приемных векторов. Дисс. ... к.ф.-м.н. НИИЯФ МГУ. 1967.

Институт космофизических исследований и аэронавигации им. Ю.Г. Шафара СО РАН, Якутск, Россия