

## ВЫДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ.

А.В. Белов<sup>1</sup>, Е.А. Ерошенко<sup>1</sup>, Д.В. Иванушь<sup>1</sup>, Е.Г. Клепач<sup>1</sup>, Е. Мавромичалаки<sup>2</sup>,  
Х. Сарланис<sup>2</sup>, Д. Суватзоглу<sup>2</sup>, В.Г. Янке<sup>1</sup>

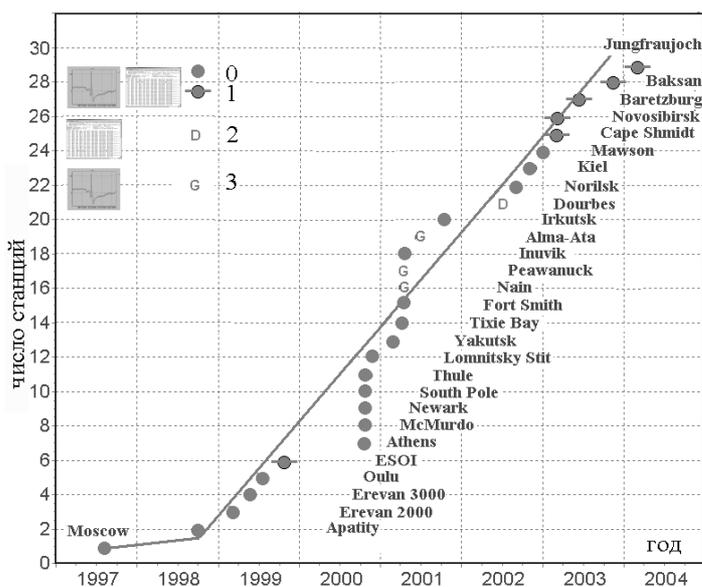
(1) *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН*

(2) *Физический факультет Афинского университета*

Исследования анизотропии космических лучей на основе данных мировой сети нейтронных мониторов и мюонных телескопов проводятся, практически, с начала наземных наблюдений. Разработан ряд мощных методов выделения анизотропии космических лучей из данных наземных детекторов, но до сих пор такие исследования проводились только ретроспективно. Сегодня имеется уже достаточное число станций, ведущих мониторинг в реальном времени и представляющих данные в Интернет. Поэтому можно ставить задачу выделения анизотропии космических лучей в реальном времени. В работе обсуждаются возможности решения такой задачи, и приведены первые результаты её практического решения.

### Введение.

Непрерывный мониторинг космических лучей (КЛ) наземными детекторами проводится вот уже более полувека. Однако в последние годы он изменился



**Рис.1.** Динамика числа станций КЛ, публикующих данные в Интернете в реальном времени. Вид представления: 0 и 1 - цифровое и графическое, 1-отладка, 2 – только цифровое, 3- только графическое.

качественно, и его возможности существенно расширились. Интернет дает возможность, наряду с данными локальных детекторов, оперативно собирать и обрабатывать данные удаленных станций КЛ. Это позволяет определять характеристики релятивистских КЛ не ретроспективно, а в режиме реального времени. Кроме того, эти характеристики можно анализировать совместно с другими регулярно обновляемыми рядами солнечных, межпланетных и геофизических данных. Таким образом, мы можем использовать наземные наблюдения не только в обычных научных исследованиях, но и для решения повседневных практических задач космической погоды.

### Методы выделения анизотропии космических лучей.

Основным методом выделения вариаций первичных КЛ является метод глобальной съемки [1,2], в котором практически объединены три метода. Метод функций связи позволяет связать вариации КЛ на уровне наблюдения, с ожидаемыми вариациями на границе атмосферы. Метод траекторных расчетов движения частиц в магнитном поле Земли позволяет перейти к вариациям за пределами магнитосферы. И,

наконец, метод сферического анализа позволяет выделить значимые для конкретной задачи сферические гармоники для дальнейшего анализа. Разработаны различные варианты метода глобальной съёмки. Для использования его в реальном времени за основу был взят вариант, который кратко описан в [3]. Пусть  $A_0 R^{-\gamma}$  - вариация плотности КЛ,  $x, y, z$  - три компоненты первой гармоники,  $C_x^i, C_y^i, C_z^i$  - приемные коэффициенты для каждой компоненты [4];  $W^i(R, R_c^i, h^i)$  - функции связи для детектора  $i$ , расположенном на уровне  $h^i$  в пункте с жесткостью геомагнитного обрезания  $R_c^i$ . Ограничиваясь нулевой и первой сферическими гармониками, для вариации скорости счета различных детекторов  $i$  можно написать систему уравнений:

$$\frac{\delta I^i}{I^i} = \int_{R_c^i}^{\infty} A_0 R^{-\gamma} \cdot W^i(R, R_c^i, h^i) \cdot dR + (C_x^i \cdot x + C_y^i \cdot y + C_z^i \cdot z) + \delta_{err}^i, \quad (1)$$

где невязка  $\delta_{err}^i$  включает, например, возможные аппаратурные вариации, магнитосферные вариации, неадекватность используемой модели вариаций.

Исследования анизотропии КЛ, основанные на различных модификациях метода глобальной съёмки, проводятся несколькими независимыми группами [5-7]. Нами [7] такие результаты получены за длительный период, практически полностью охватывающий 20-23 циклы солнечной активности за исключением одного 4х-летнего пробела.

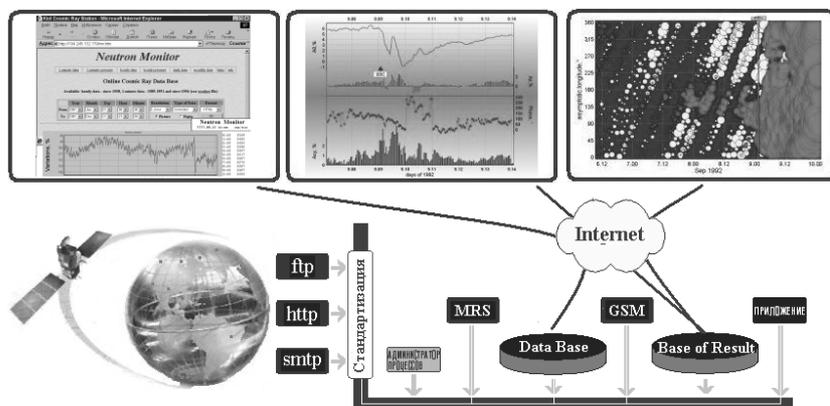
Для исследований в реальном времени очень удобен еще один простой и эффективный метод - метод "кольца станций". Это практически "безмодельный" подход, использующий высокоширотные мониторы в достаточно узком кольце широт. Различия вариаций КЛ, регистрируемых этими мониторами, определяются различиями их долготы, и это позволяет просто и наглядно представлять долготную зависимость вариаций. Этот метод можно применять для выделения предповышений и предпонижений, предшествующих многим Форбуш-эффектам. Такие эффекты обычно появляются перед приходом к Земле межпланетной ударной волны (иногда за 20 часов и ранее). Они сильно анизотропны и характеризуются негармоническим долготным распределением интенсивности КЛ. Долготная зависимость КЛ резко меняется вблизи направления силовой линии ММП и зависит от характера движущегося возмущения и его источника. Эти эффекты могут служить предвестниками приближающихся возмущений [8].

Для определения основных характеристик КЛ в реальном времени разработан алгоритм, реализующий следующую схему: 1) сбор данных с сети станций КЛ, работающих в реальном времени, и включение их в базу данных; 2) анализ данных методом глобальной съёмки; 3) публикация в Интернет в реальном времени результатов анализа. На выходе системы мы имеем основные характеристики вариаций галактических КЛ (вариацию плотности, ее энергетический спектр, величину и направление анизотропии), оценку изменения жесткости обрезания на отдельных станциях во время больших геомагнитных бурь. Именно они должны служить исходным экспериментальным материалом для научных задач солнечно-земной физики и прогностических задач.

## **Организация сбора данных и формирование базы данных.**

Сегодня около двух десятков станций представляют свои данные в Интернете в реальном времени. В этом случае мы имеем типичный пример распределенной базы данных - набор логически связанных между собой данных, которые физически распределены в некоторой компьютерной сети.

Взаимодействие с такой распределенной базой данных проводится через приложения, которые могут быть классифицированы как не требующие доступа (локальные приложения) и требующие доступ (глобальные приложения) к другим фрагментам базы данных. Для организации сбора данных была выбрана схема (рис.2) раздельного решения задачи. На глобальные приложения возложена задача сбора данных. Анализ данных



**Рис.2.** Схема организации сбора данных и формирование базы данных.

проводит локальное приложение, результаты работы которого также доступны в реальном времени. Такой подход обусловлен тем, что для каждой станции индивидуальны и протокол обмена (ftp, http, smtp) и форма представления данных, и частота обновления данных (от минуты до часа), и устойчивость

связи (в случае полярных спутников связи, связь отсутствует в течение многих часов). Кроме того, эти данные часто еще не готовы для окончательной публикации. Поэтому в процессе сбора данных необходимо параллельно проводить контроль данных и их унификацию. Практика показала, что эффективный и простой вариант сбора данных можно реализовать на сервере под управлением ОС Linux. Все глобальные приложения выполнены на языке Perl, и при необходимости сбор данных можно перенести на сервер с другой операционной системой. С некоторыми удаленными станциями имеется только электронная почтовая связь и в ближайшее время в этих пунктах трудно ожидать появления полноценного Интернета. Одна из реальных возможностей в таких случаях, - это передача данных в виде почтовых сообщений и их автоматическая обработка на почтовом сервере.

### **Анализ данных и публикация результатов в Интернет.**

Если привлечь число станций в 2-3 раза превышающее число степеней свободы решаемой системы уравнений, можно гарантировать точность получаемых результатов сравнимую с точностью исходных данных. Это осуществимо при хорошо работающей сети станций, реально же необходимо большее число станций, поскольку процедура решения системы уравнений выбраковывает некоторые станции, не отвечающие принятым критериям качества данных. Практика показала, что достаточное число станций 25-30. Не останавливаясь на деталях методики решения задачи, отметим проблему выбора базового периода, относительно которого определяются вариации. Дело в том, что из-за возможного дрейфа станций, базовый период должен быть как можно ближе к текущему моменту. Особенно чувствителен к возможному дрейфу станций вектор анизотропии, из-за этого иногда возникает ложное вращение вектора. Частая смена базового периода, требует применения процедуры сшивания, которая реализуется достаточно просто при ретроспективной обработке данных. Но при работе в реальном времени сшивание результатов требует специального подхода.

Результат анализа методом глобальной съемки помещается в базу данных, которая уже содержит данные за предшествующий период ([ftp://cr0.izmiran.rssi.ru/FTP\\_XYZ](ftp://cr0.izmiran.rssi.ru/FTP_XYZ)). В этой базе содержатся:  $A_0$  - амплитуда (вариация плотности КЛ с жесткостью 10 ГВ) и показатель спектра  $\gamma$  нулевой гармоник;  $x, y, z$  -

составляющие анизотропии первой гармоники; полный вектор анизотропии  $A_1$  и его составляющая  $A_{xy}$  в плоскости земного экватора; для контроля качества решения даны невязки для каждой станции и дисперсия  $\sigma^2$  решения системы (1). За текущий месяц результат доступен по ftp (<ftp://cr0.izmiran.rssi.ru/GSM>) и публикуется в графическом виде <http://cr0.izmiran.rssi.ru/AnisotropyCR/main.htm>.

Данные непрерывного мониторинга КЛ с момента основания сети станций (1953 г.) доступны по адресу [ftp://cr0.izmiran.rssi.ru/CosRay!/FTP\\_NM/C](ftp://cr0.izmiran.rssi.ru/CosRay!/FTP_NM/C). Обновление данных для станций, оперативно публикующих свои данные, осуществляется также в реальном времени.

### **Выводы и дальнейшие перспективы.**

Пробные расчеты показывают, что уже тех нейтронных мониторов, которые сегодня представляют свои данные в Интернет в реальном времени, достаточно, чтобы с приемлемой точностью определять основные характеристики вариаций КЛ, в частности, величину и направление их анизотропии. Ожидаемое добавление новых данных реального времени еще более улучшит качество результатов.

Дальнейшие перспективы связаны с усовершенствованием модели вариации КЛ и методики сбора данных, с привлечением данных мюонных телескопов. Особенно важно включить в анализ данные мониторинга параметров межпланетной среды, который также проводится в реальном времени. Это позволит оценивать вектор градиента КЛ и получать дополнительные данные о размерах, структуре и эффективности межпланетных возмущений. Сеть наземных наблюдений КЛ в реальном времени близка к тому, чтобы стать полноценным ресурсом для решения различных практических задач космической погоды.

Эта работа и работа российской сети станций космических лучей частично поддержана РФФИ (гранты 04-02-16763, 03-07-90389), ГК 10002-251/П-06/048-051/200404-046, американо-канадские станции фондом NSF USA (грант ATM-0000315). Авторы благодарны сотрудникам всех станций, на данных которых базируется наша работа: Alma-Ata, Apatity, Baksan, Barendsburg, Calgary, Cape Shmidt, Climax и Haleakala (Университет Чикаго, NSF гранты ATM-9613963, ATM-942-0790), Erevan, ESOI, Fort Smith, Hermanus, Inuvik, Irkutsk, Jungfrauoch, Kiel, Larc, Lomnický štít, McMurdo, Magadan, Mexico, Moscow, Nain, Norilsk, Novosibirsk, Newark, Oulu, Potchefstroom, Peawanuck, Tixie bay, Rome (UNIRoma-Tre and IFSI-CNR Collaboration), Sanae, South Pole, Thule, Tsumeb, Yakutsk, Beijing, Tibet, Kergelen, Terra Adelia, Mawson и Kingston.

### **Список литературы**

1. Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Чирков Н.Р. и др. // Геомагн. и Аэрон.. 1966. **6**. 991.
2. Mori S. // Nuovo Cimento. 1968. V. **58**. P. 1.
3. Baisultanova L., Belov A., Dorman L., Yanke V // Proc. 20-th ICRC. Moscow. 1987. V. **4**. P. 231.
4. Yasue S., Mori S., Sakakibara S., Nagashima K. // Report of the Cosmic Ray Research Laboratory. No **7**. Nagoya. Japan. 1982. P. 225.
5. Крымский Г.Ф., Кривошапкин П.А., Григорьев В.Г. и др. // Изв. АН сер. физ.. 2003. Т. **67**. No 4. С. 496-498.
6. Dvornicov V., Sdobnov V. // International JGA. February 2002. V. **3**. No. 3. P. 1-11.
7. Belov A.V. Bieber J.W, Eroshenko E.A. Evenson P., Pyle R., Yanke V., // *Journal Advances in Space Res.* 2003. V.31, N4, P. 919.
8. Belov A.V., Dorman L.I., Eroshenko E.A., Iucci N., Villaresi G., Yanke V.G. // Proc. 24-th ICRC. Roma. 1995. V.4. P. 888-891.