

Астапов И.И. (IAstapov@mephi.ru), **Барбашина Н.С.**, **Борог В.В.**, **Дмитриева А.Н.**,
Мишутина Ю.Н., **Петрухин А.А.**, **Сутько О.А.**, **Шутенко В.В.**, **Яковлева Е.И.**, **Яшин И.И.**

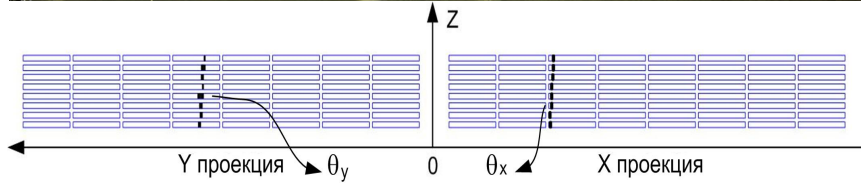
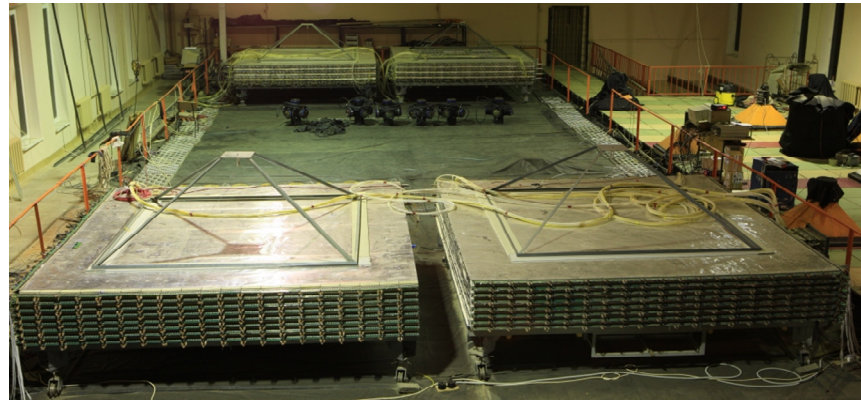
Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия
Научно-образовательный центр НЕВОД

nevod.mephi.ru
facebook.com/nevod.mephi
vk.com/nevod.mephi

Мюонный годоскоп УРАГАН

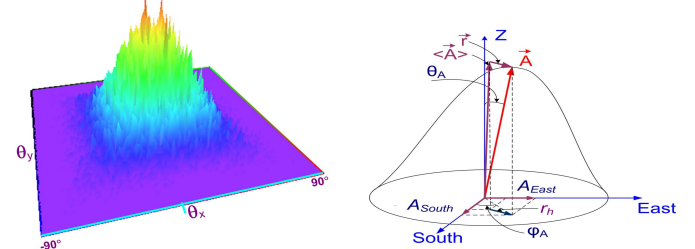
Мюонный годоскоп (МГ) УРАГАН – широкоапертурный координатно-трековый детектор, способный в непрерывном режиме регистрировать пространственно-угловые характеристики потока мюонов одновременно со всех направлений небесной полусферы.

МГ УРАГАН [1] состоит из 4 идентичных супермодулей (СМ) общей площадью 46 м², которые обеспечивают регистрацию частиц в широком диапазоне зенитных углов (от 0° до 80°). Каждый СМ состоит из восьми слоев газоразрядных камер (стримерных трубок), оснащенных двухкоординатной системой внешних считывающих стрипов, что обеспечивает высокую пространственную и угловую точность регистрации трека мюона (соответственно, 1 см и 0.7°).

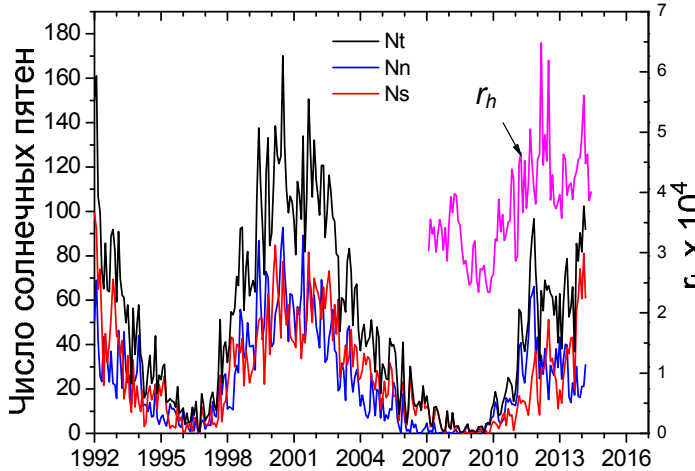


Каждую минуту угловое распределение потока мюонов записывается в двумерную угловую матрицу, которая представляет собой снимок верхней полусферы с экспозицией в 1 минуту.

Для исследования отклика вариаций потока мюонов, регистрируемых МГ УРАГАН, используется **вектор локальной анизотропии A** , который представляет собой сумму единичных векторов, имеющих направления реконструированных треков отдельных событий, нормированную на число мюонов. Вектор локальной анизотропии указывает среднее направление прихода мюонов, которое близко к вертикальному. Для исследования его отклонений от среднего направления используется **вектор относительной анизотропии r** , представляющий собой разницу между текущим значением вектора и средним вектором анизотропии, вычисленным за длительный промежуток времени. Особый интерес представляет **проекция этого вектора на горизонтальную плоскость r_h** .

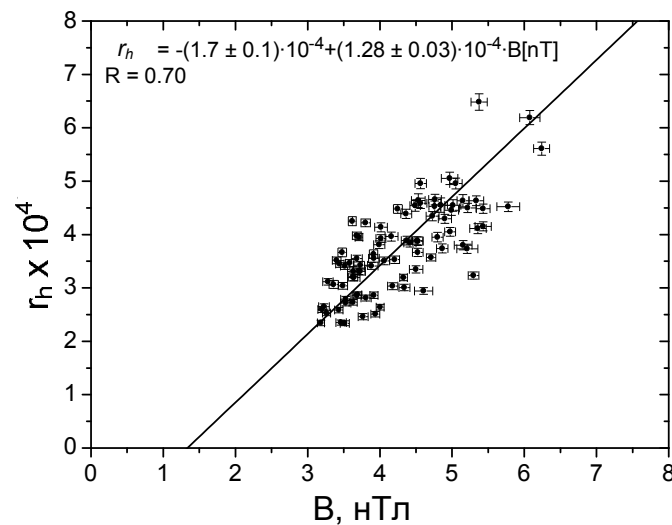


Долговременные изменения локальной анизотропии потока мюонов



Мюонный годоскоп УРАГАН был запущен в 2006 году в конце 23-го солнечного цикла.

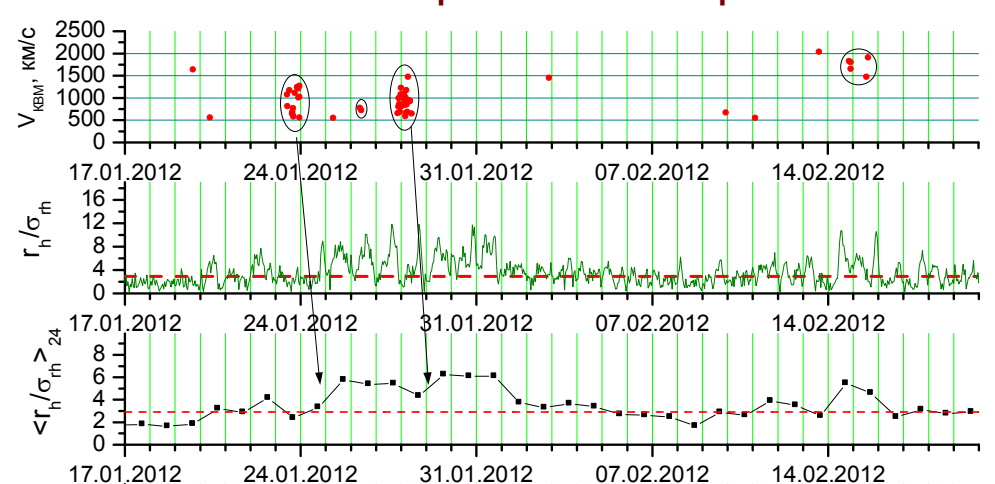
На графике (слева, верхний) приводится сравнение временных изменений среднесуточных значений проекции вектора r_h и солнечной активности. Можно заметить, что в 2009 году во время минимума солнечной активности наблюдается также минимум в изменениях r_h , а с ростом солнечной активности начинается и рост анизотропии потока космических лучей.



На нижнем графике приведена корреляция среднесуточных значений r_h со среднесуточными значениями магнитной индукции межпланетного магнитного поля B . Поведение параметра r_h сопоставимо с динамикой изменения межпланетного магнитного поля.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что проекция вектора локальной анизотропии на горизонтальную плоскость может использоваться для изучения изменений в гелиосфере.

Выделение возмущений локальной анизотропии, связанных с корональными выбросами.



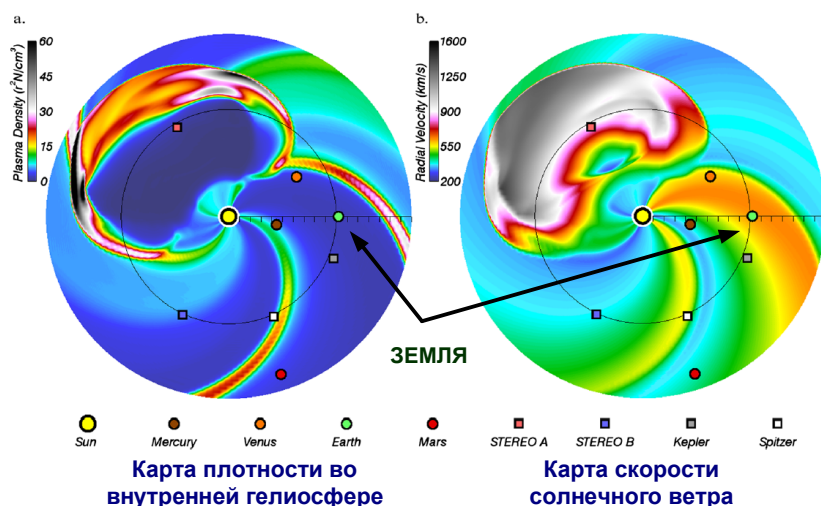
Отбор корональных выбросов масс осуществлялся по базе данных CACTUS [2]. Всего было отобрано 536 событий в период с 2008 по 2013 гг. со средней скоростью вылета более 500 км/с. На верхнем графике точками отмечено время начала корональных выбросов по данным коронографов LASCO C2/C3 и их средняя скорость. События, у которых время вылета с короны Солнца отличались менее чем на сутки, объединялись в группу, поскольку нет возможности учесть влияние отдельных явлений на поток космических лучей. Таким образом была выделена 391 группа событий. Одиночные события со скоростью менее 1000 км/с практически не вызывают эффекта в космических лучах.

На среднем графике показано поведение проекции вектора относительной анизотропии r_h на горизонтальную плоскость (пунктирной линией отмечено среднее). Как видно из графика, во время групп событий наблюдается значительное увеличение значений r_h и их разброс, но при этом достаточно сложно выделить начало этих возмущений и отделить один КВМ от другого по данным годоскопа. На нижнем графике приведено усреднение r_h за сутки. Такое усреднение позволяет соотнести возмущения r_h с конкретным КВМ или группой.

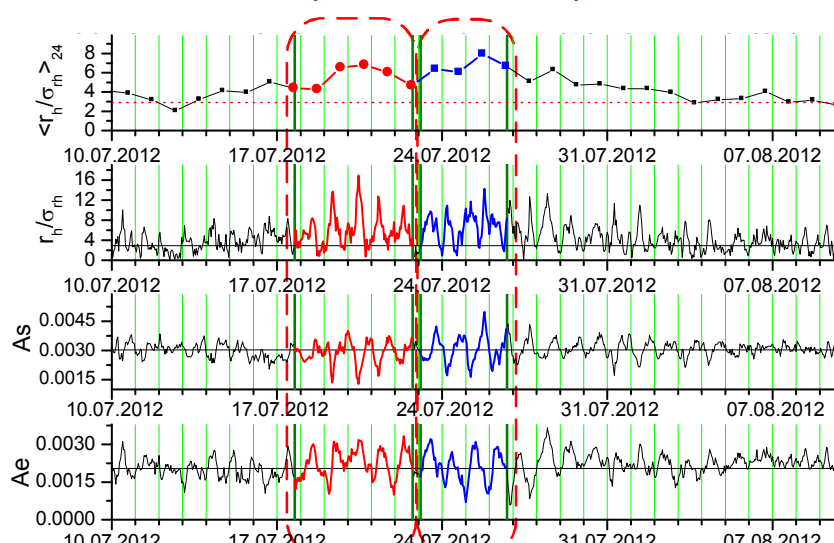
Среднее время возникновения КВМ в группе в 170 случаях приходилось на начало повышения среднесуточных значений $\langle r_h \rangle_{24}$, а в 105 случаях на максимальное значение $\langle r_h \rangle_{24}$, что может связано с тем, что более мощное событие в группе происходит первым. Таким образом, для 70% от всех исследуемых выбросов обнаруживается отклик локальной анизотропии потока мюонов, зарегистрированных на поверхности Земли.

Регистрация негеоэффективных выбросов в июле 2012 года

Модель Wang-Sheeley-Argе (WSA)-ENLIL – 12:00 UT on 24 July 2012.



Локальная анизотропия МГ УРАГАН в период с 10/07 по 10/08



В июле 2012 года произошло два мощных корональных выброса. Первый КВМ произошел 17/07, второй КВМ 23/07. Источником возмущений была одна и та же область на Солнце (AR 1520). Фронты этих выбросов были направлены в противоположную от Земли сторону, причем фронт КВМ 23/07 был зафиксирован лишь одним спутником STEREO-A [3,4]. Анализ Kp- и Dst-индексов в этот период показывает, что никаких возмущений в магнитосфере Земли в этот момент не наблюдалось.

Таким образом, можно говорить о негеоэффективности данных событий.

Анализ параметров локальной анизотропии потока мюонов, зарегистрированного мюонным годоскопом УРАГАН, показал, что в период с 10 июля по 10 августа 2012 наблюдались сильные вариации только в период прохождения КВМ через гелиосферу. Несмотря на то, что данные события не были геоэффективными и на Земле не было никаких возмущений, вариации потока мюонов значительно увеличились. Среднее значение r_h увеличилось в 2 и более раз, при этом значительно вырос и разброс его значений. Стоит также отметить, что событие 23 июля более мощное, чем событие 17 июля, что и показывает анализ r_h .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Параметры локальной анизотропии потока мюонов могут быть использованы для обнаружения и изучения корональных выбросов масс с помощью наземных мюонных годоскопов, способных регистрировать потоки частиц в широком диапазоне зенитных углов.

Использование мюонных годоскопов для обнаружения гелиосферных возмущений позволяет выделять и изучать события не только направленные в сторону Земли, но и направленные в противоположную от нас сторону, т.е. события, которые не являются геоэффективными.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД при поддержке Министерства образования и науки РФ (RFMEFI59114X0002) и гранта ведущей научной школы НШ-4930.2014.2.

[1] Барбашина и др. // ПТЭ. 2008. № 2. С. 26–32.

[2] <http://sidc.oma.be/cactus/>

[3] D. N. Baker et al. SPACE WEATHER, VOL. 11, 585–591 2013.

[4] C. T. Russell et al. The Astrophysical Journal, 770 (5pp), 2013