

УДК 539.126.33:524.1-567

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГЛОБАЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ МЮОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Н. С. Барбашина, А. Н. Дмитриева, К. Г. Компаниец, А. С. Михайленко,  
А. А. Петрухин, Д. А. Тимашков, С. С. Хохлов, В. В. Шутенко,  
Е. И. Яковлева<sup>1</sup>, И. И. Яшин

*Разрабатывается метод, дающий возможность заблаговременно прогнозировать возмущения в магнитосфере Земли, вызванные вспышками на Солнце или изменениями магнитного поля в гелиосфере, так как поток космических частиц достигает Земли гораздо раньше, чем корональные выбросы плазмы. Для сканирования небесной полусферы используются широкоапертурные мюонные детекторы. В Научно-образовательном центре НЕВОД (НИЯУ МИФИ, Москва) создана уникальная система мюонных годоскопов. Анализируются данные мюонного годоскопа УРАГАН по двумерной динамике потока мюонов во время форбуш-эффекта 14 ноября 2006 г. Показаны изменения интенсивности потока мюонов, зарегистрированных под различными направлениями с интервалом 30 минут. Полученные результаты демонстрируют чувствительность потока мюонов к движению облаков солнечной плазмы, что открывает перспективы использования мюонных детекторов для зондирования межпланетного пространства на больших расстояниях от Земли и прогнозирования геомагнитных возмущений.*

**Ключевые слова:** форбуш-эффект, геомагнитные бури, мюонный годоскоп, космические лучи.

---

Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Федеральное агентство по образованию г. Москва, Каширское шоссе, 31.

<sup>1</sup> E-mail: EIYakovleva@mephi.ru

Возмущения магнитного поля Земли (геомагнитные бури) стоят в ряду общепланетарных явлений, которые могут приводить к катастрофическим последствиям: вызывать нарушение радиосвязи, проблемы в электронных системах управления, что ставит под угрозу жизни пассажиров авиалайнеров и современных железнодорожных экспрессов.

Регистрация возмущений магнитного поля Земли ведется различными методами: как с помощью измерений напряженности поля на спутниках, так и на поверхности Земли непосредственно во время развития возмущений. В настоящее время разрабатывается метод прогнозирования этого явления, основанный на анализе вариаций потока космических лучей. Метод основан на том, что первичное космическое излучение отклоняется магнитными полями, которые связаны с движущимися облаками солнечной плазмы. Вследствие этого в потоке космических лучей появляется уменьшение потока в направлении магнитного облака, приближающегося к Земле. В момент, когда облако окутывает Землю, наблюдаются глобальное уменьшение интенсивности космического излучения – форбуш-эффект (ФЭ), и сильные возмущения земной магнитосферы. Данный подход дает возможность заблаговременно прогнозировать возмущения в магнитосфере Земли, вызванные вспышками на Солнце или изменениями магнитного поля в гелиосфере, так как поток космических частиц достигает Земли гораздо раньше, чем корональные выбросы плазмы, движущиеся в межпланетном пространстве.

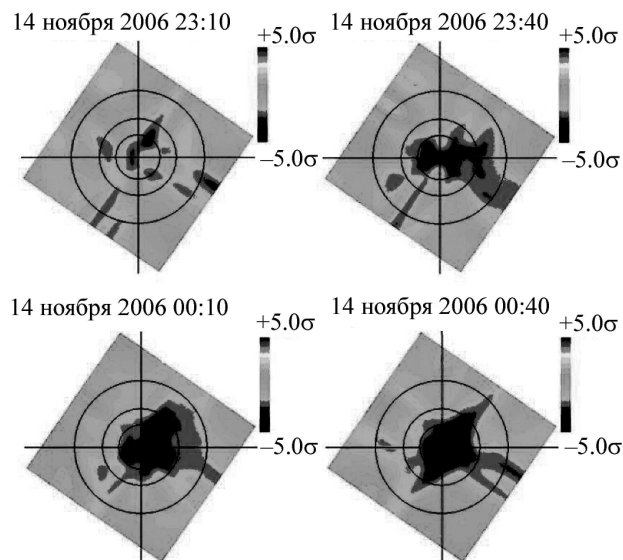


Рис. 1: Вариации потока мюонов, измеренные детектором УРАГАН 14 ноября 2006 года под различными зенитными углами с интервалом 30 минут.

Для сканирования небесной полусферы используются широкоапертурные мюонные детекторы, которые позволяют восстанавливать треки частиц с высокой угловой и пространственной точностью. Такие детекторы не только измеряют полную интенсивность космического излучения на поверхности Земли (80% которого составляют мюоны), но и регистрируют частицы одновременно с различных направлений небесной полусферы (годоскопический режим). В настоящее время в Научно-образовательном центре НЕВОД (НИЯУ МИФИ, Москва) создана уникальная система мюонных годоскопов, которая обеспечивает регистрацию потока мюонов космических лучей в широком диапазоне зенитных и азимутальных углов в режиме реального времени [1, 2].

С 2006 года на детекторах НОЦ НЕВОД идут непрерывные эксперименты по мониторингу вариаций потока мюонов во время возмущений в магнитосфере Земли. На рис. 1 приведены результаты обработки данных мюонного годоскопа УРАГАН во время ФЭ 14 ноября 2006 г. Показаны изменения интенсивности потока мюонов, зарегистрированных с различных направлений с интервалом 30 минут. Окружности соответствуют зенитным углам  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ . Статистическая обеспеченность каждого рисунка около 5 млн событий. Пуассоновские флуктуации сглажены с помощью специального фурье-фильтра. Темный цвет соответствует недостатку мюонов в данный интервал времени.

На рисунке хорошо видна двумерная динамика уменьшения потока мюонов и его эволюция во время ФЭ. Полученные результаты демонстрируют чувствительность потока мюонов к движению облаков плазмы, которые могут вызвать геомагнитные бури в солнечном ветре. Возможности мюонных детекторов позволяют зондировать межпланетное пространство на больших расстояниях от Земли и использовать вариации потока мюонов для заблаговременного обнаружения источников геомагнитных возмущений.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД при поддержке Роснауки, Рособразования и РФФИ (грант № 08-02-01204-а).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Н. С. Барбашина и др., Приборы и техника эксперимента, № 6, 20 (2000).
- [2] Н. С. Барбашина и др., Приборы и техника эксперимента, № 2, 26 (2008).

*По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.*

Поступила в редакцию 7 апреля 2010 г.