

**2. Результаты научных исследований по завершённым космическим проектам, полученные российскими учеными в 2014-2015 годах**

**Спектры ионов железа в событиях солнечных космических лучей в 1989 и 2003 гг. (эксперимент ПЛАТАН)**

Серия экспериментов ПЛАТАН (ПЛАстиковый Трековый АНАлизатор) выполнялась на орбитальных станциях Салют, Мир и МКС с 1978 по 2004 гг.

Целью экспериментов было изучение тяжелой компоненты солнечных и галактических космических лучей (СКЛ и ГКЛ) малых энергий (от десятков до сотен МэВ/нуклон). Камеры, собранные из слоев твердотельного трекового детектора, экспонировались на внешней поверхности орбитальных станций.

Мощные вспышки СКЛ были зарегистрированы аппаратурой ПЛАТАН в сентябре-октябре 1989 (станция Мир, камера ПЛАТАН-3) и октябре-ноябре 2003 гг. (МКС, камера ПЛАТАН-М). На рис. 1 представлен зарядовый состав частиц, зарегистрированных в экспериментах ПЛАТАН-3 (а) и ПЛАТАН-М (б). Основной вклад в зарядовый спектр вносит пик железа СКЛ. Помимо этого наблюдаются небольшие пики четных зарядов вплоть до аргона ( $Z=18$ ). Полученное в эксперименте зарядовое разрешение позволяет надежно выделить частицы железа.

Для событий СКЛ 1989 г. и 2003 г. измерены энергетические спектры ионов железа на орбитальных станциях в интервалах энергий 5–200 МэВ/нуклон (1989 г., рис.2а) и 25–90 МэВ/нуклон (2003 г., рис.2б). С помощью модели НИИЯФ МГУ (Р.А. Ныммик) измеренные спектры трансформировались в околоземное пространство вне магнитосферы Земли

(рис. 2а,б). Спектры с большой точностью аппроксимировались степенной функцией от энергии с показателями  $\alpha 3,26 \pm 0,03$  (1989 г.) и  $\alpha 4,04 \pm 0,09$  (2003 г.) (табл. 1). Сопоставление показателей спектров железа и спектров протонов (OMNIWEB) для событий 1989 г. и 2003 г. показывает сильное обогащение элементного состава событий 1989 г. ионами железа (табл. 1).

Проведено сравнение результатов эксперимента ПЛАТАН-3 (1989 г.), пересчитанных в околоземное пространство, с данными, полученными вне магнитосферы Земли: приборы VLET и CRT, спутник IMP-8 (рис. 3а). Наблюдается общее согласие данных, полученных разными методиками. Заметен некоторый сдвиг между спектрами приборов VLET и CRT, связанный по-видимому с погрешностью в калибровке приборов. Данные эксперимента ПЛАТАН-М (2003 г.), пересчитанные во внемагнитосферное пространство, сравниваются с результатами измерений прибора SIS (ACE) (рис. 3б). При общем согласии данных, полученных разными методиками, наблюдается значительный выброс в спектре прибора SIS ( $E \sim 90$  МэВ/нуклон) по-видимому, связанный со сбоем в одном из энергетических каналов прибора

## **Выводы**

Спектры железа СКЛ в событиях 1989 и 2003 гг. измерены аппаратурой ПЛАТАН детально и с большой точностью в интервале энергий от десятков до нескольких сотен МэВ/нуклон. Данные аппаратуры ПЛАТАН трансформировались в околоземное пространство вне магнитосферы Земли. Результаты расчетов хорошо согласуются с данными внемагнитосферных экспериментов.

Спектры событий 1989 и 2003 гг. с большой точностью аппроксимируются степенной функцией энергии в рассматриваемом интервале энергий. События 1989 г. значительно превосходят по флюенсу

железа события 2003 г. Наблюдается сильное обогащение элементного состава событий 1989 г. ионами железа.

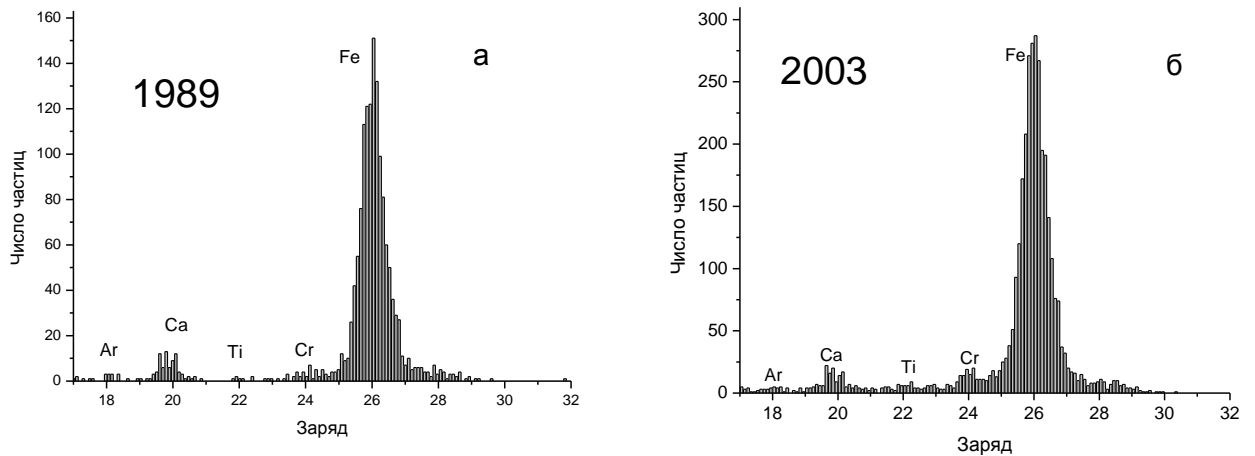


Рис.1 Зарядовый состав частиц, зарегистрированных в экспериментах ПЛАТАН-3 (а) и ПЛАТАН-М (б). Основной вклад в зарядовый спектр вносит пик железа.

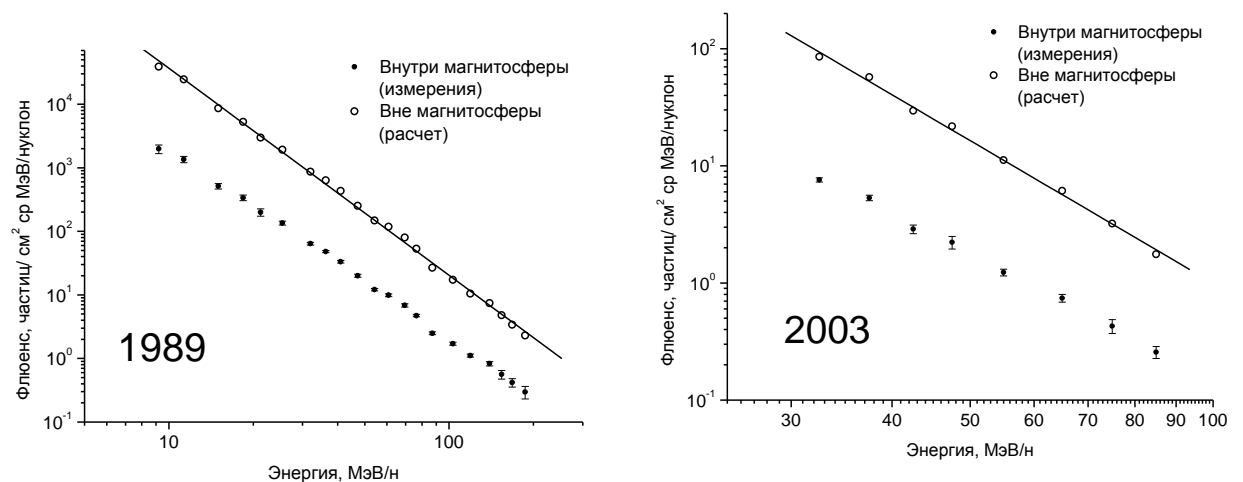
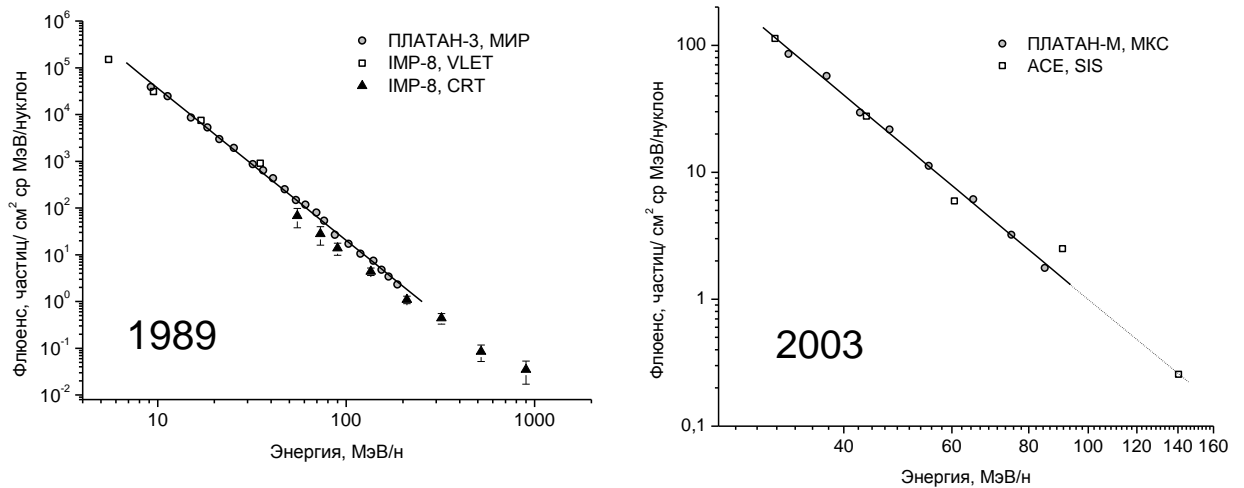


Рис. 2 Спектры железа СКЛ, измеренные на орбитальных станциях в экспериментах ПЛАТАН-3 (а) и ПЛАТАН-М (б) внутри магнитосферы Земли. Пересчет спектров к границе магнитосферы выполнен с помощью модели НИИЯФ МГУ (Р.А. Ныммик). Внемагнитосферные спектры аппроксимированы степенной функцией энергии.



**Рис. 3** Сравнение внемагнитосферных измерений спектра железа СКЛ с данными экспериментов ПЛАТАН-3 (а) и ПЛАТАН-М (б) пересчитанными во внемагнитосферное пространство. Наблюдается общее согласие данных, полученных разными методиками.

**Таблица 1.** Показатели спектра ионов железа СКЛ (эксперимент ПЛАТАН) и протонов (OMNIWEB) в мощных событиях 1989 и 2003 гг.

События СКЛ	Показатель степенного спектра Fe	Показатель степенного спектра p
Сентябрь октябрь 1989 г.	$-3,26 \pm 0,03$	$-4,01 \pm 0,18$
Октябрь ноябрь 2003 г.	$-4,04 \pm 0,09$	$-3,77 \pm 0,65$

Д.Г. Баранов, Ю.Ф. Гагарин, В.А. Дергачев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, С.-Петербург

[v.dergachev@mail.ioffe.ru](mailto:v.dergachev@mail.ioffe.ru)

Р.А. Ныммик, М.И. Панасюк

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им.  
Д.В Скобельцына*  
[nymmik@srd.sinp.msu.ru](mailto:nymmik@srd.sinp.msu.ru)