

# **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ЖЕЛЕЗА СКЛ НА ОРБИТЕ МКС В 2002-2004 гг.**

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

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе  
Российской академии наук.

**Р.А. Ныммик, М.И. Панасюк**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики  
им. Д.В. Скобельцына

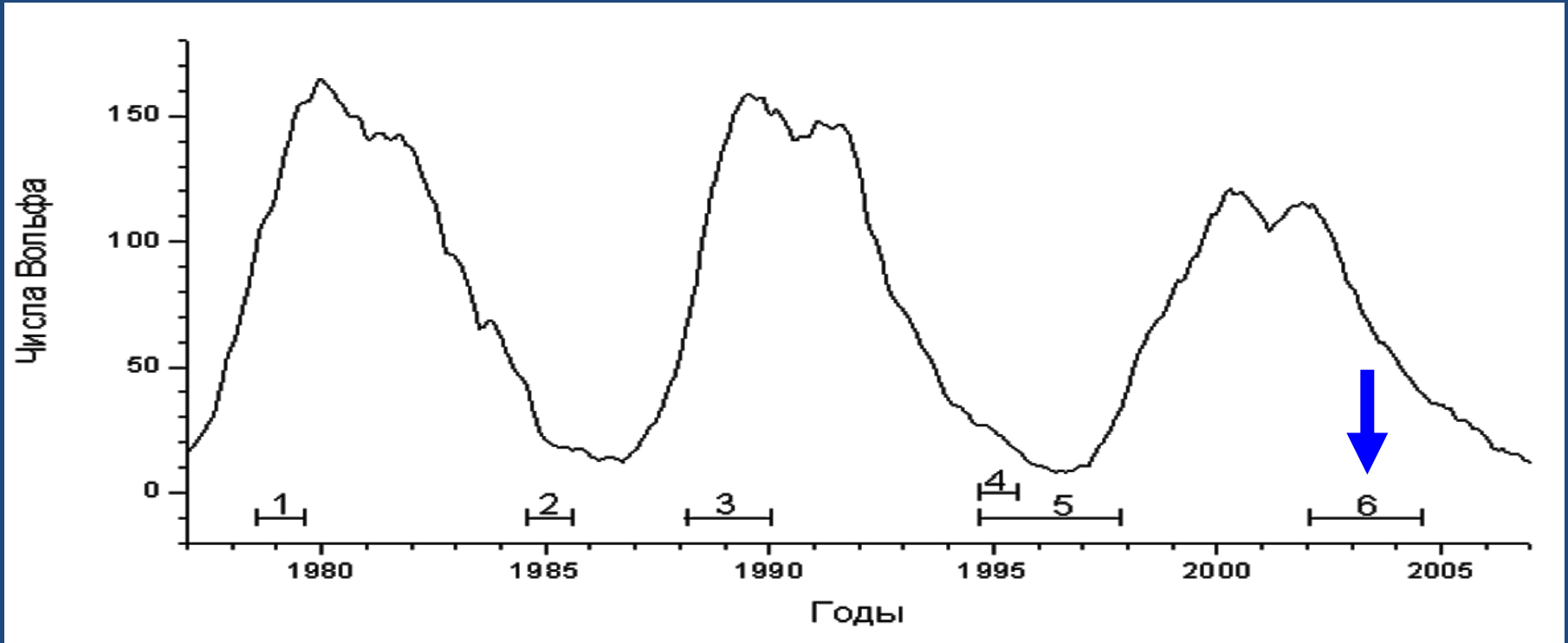
# Аннотация

Пластиковый трековый детектор экспонировался на внешней поверхности Международной космической станции (МКС) в период 2002-2004 гг. (эксперимент ПЛАТАН-М). В результате анализа треков частиц, зарегистрированных в детекторе, был измерен энергетический спектр железа СКЛ в диапазоне 30-150 МэВ/нуклон. Определяющий вклад в интегральный поток частиц за все время экспозиции прибора ПЛАТАН-М дала серия событий СКЛ в октябре-ноябре 2003 г., связанных с четырьмя уникально мощными рентгеновскими вспышками класса X.

Проведено сопоставление спектра с результатами, полученными на станции ACE вне магнитосферы Земли, трансформированными на орбиту МКС. Энергетическое разрешение спектра железа СКЛ оказалось в эксперименте ПЛАТАН-М в два раза лучше, а ошибки измерений в два раза меньше по сравнению с измерениями прибора SIS на станции ACE. В одном из каналов прибора SIS обнаружено существенное превышение показаний над аналогичными измерениями прибора ПЛАТАН-М на уровне шести стандартных ошибок, что является указанием на сбой в работе прибора SIS.

Подтверждены возможности модели проникновения СКЛ внутрь магнитосферы Земли, что позволяет сопоставлять результаты измерений в межпланетном пространстве и на околоземных орбитах спутников и космических станций.

Ранее с 1978 г. по 1997 г. было выполнено пять экспозиций аппаратуры на ОС *Салют-6*, *Салют-7* и *Мир* на одной и той же орбите с наклоном к плоскости экватора  $51.6^\circ$  и высоте 350-400 км: эксперименты ПЛАТАН-1 – ПЛАТАН-5, длительностью соответственно 13, 12, 23, 10 и 37.5 месяцев

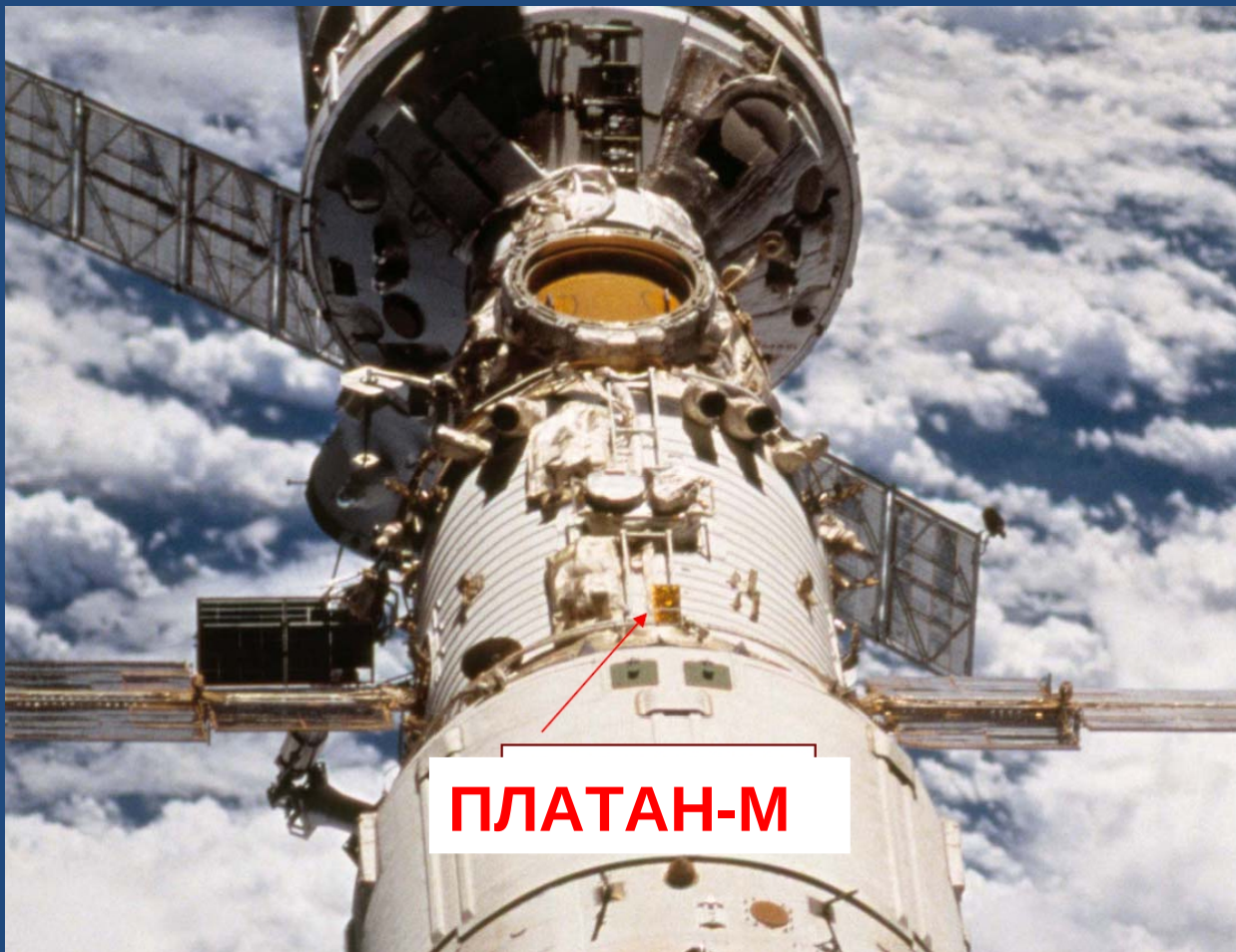


Экспозиции аппаратуры ПЛАТАН на орбитальных станциях *Салют-6* (1 – ПЛАТАН-1), *Салют-7* (2 – ПЛАТАН-2), *Мир* (3, 4, 5 – ПЛАТАН-3, 4, 5) и *МКС* (6 – ПЛАТАН-М) в 21, 22 и 23 циклах солнечной активности.

- Камера ПЛАТАН-М с твердотельным трековым детектором-лавсаном экспонировалась на наружной поверхности МКС в 2002-2004 гг.
- Флюенс частиц железа (СКЛ и ГКЛ) был измерен в энергетическом диапазоне 30-150 МэВ/нуклон

ПЛАТАН (ПЛАстиковый Трековый АНализатор) является автономным, пассивным, интегральным твердотельным трековым детектором.

# Эксперимент ПЛАТАН-М на МКС





# Камера ПЛАТАН-М после окончания экспозиции перед снятием и возвращением на Землю

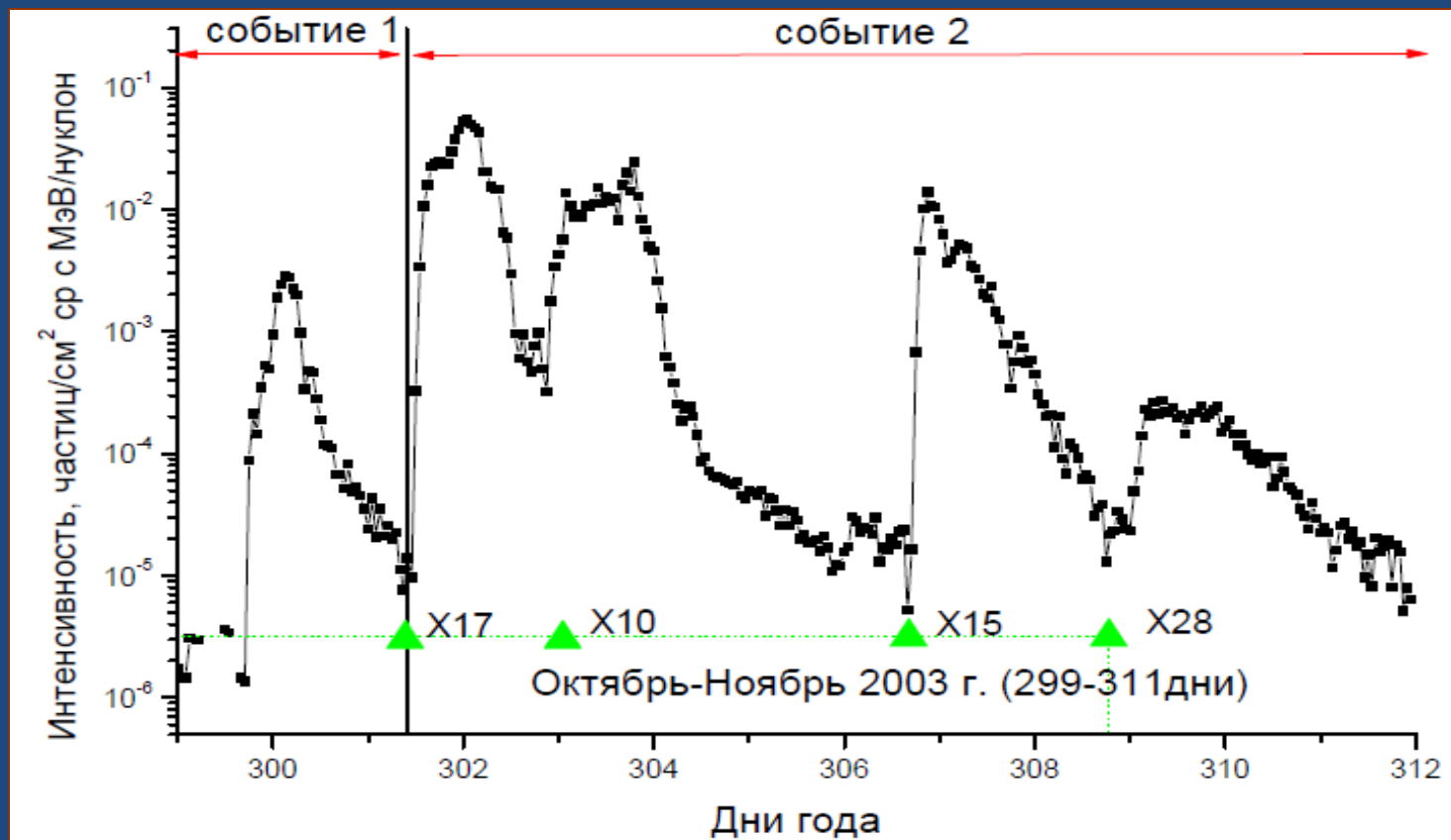


**ПЛАТАН-М, МКС**  
**G=1350 см<sup>2</sup> ср**

Большой геометрический фактор аппаратуры ПЛАТАН позволяет выявить важные детали в спектрах частиц .


На поверхности теплозащитной пленки, покрывающей детектор, наблюдаются многочисленные следы повреждений от локального мусора в окрестности станции

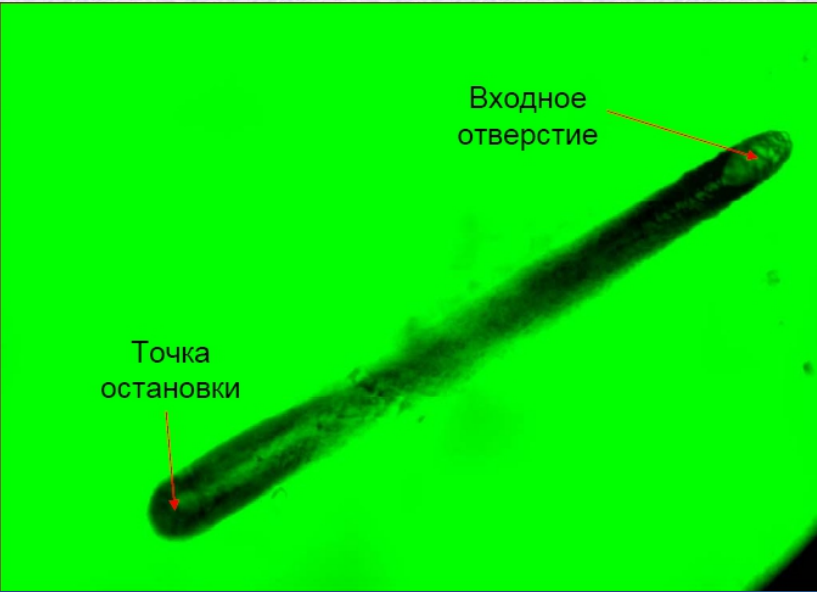
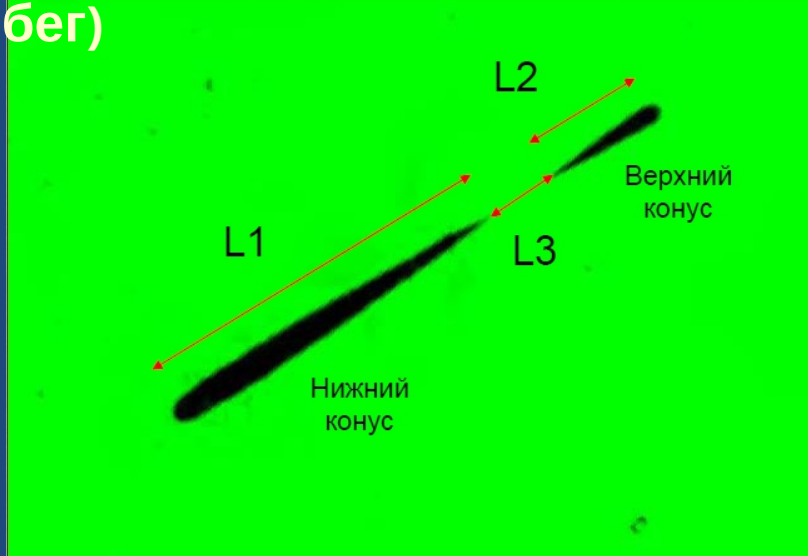
# Временной ход интенсивности ионов железа в 2003 г.




Определяющий вклад (~ 85%) в спектр частиц железа в экспозиции 2002-2004 гг. дает серия событий 2003 г., связанная с уникально мощными рентгеновскими вспышками, происходившими в одной и той же активной области.

Для определения заряда частиц использован LR-метод (L – длина конусов, R – остаточный пробег)

Трек тяжелого ядра в двух последовательных слоях детектора-лавсана: в слое перед остановкой, 

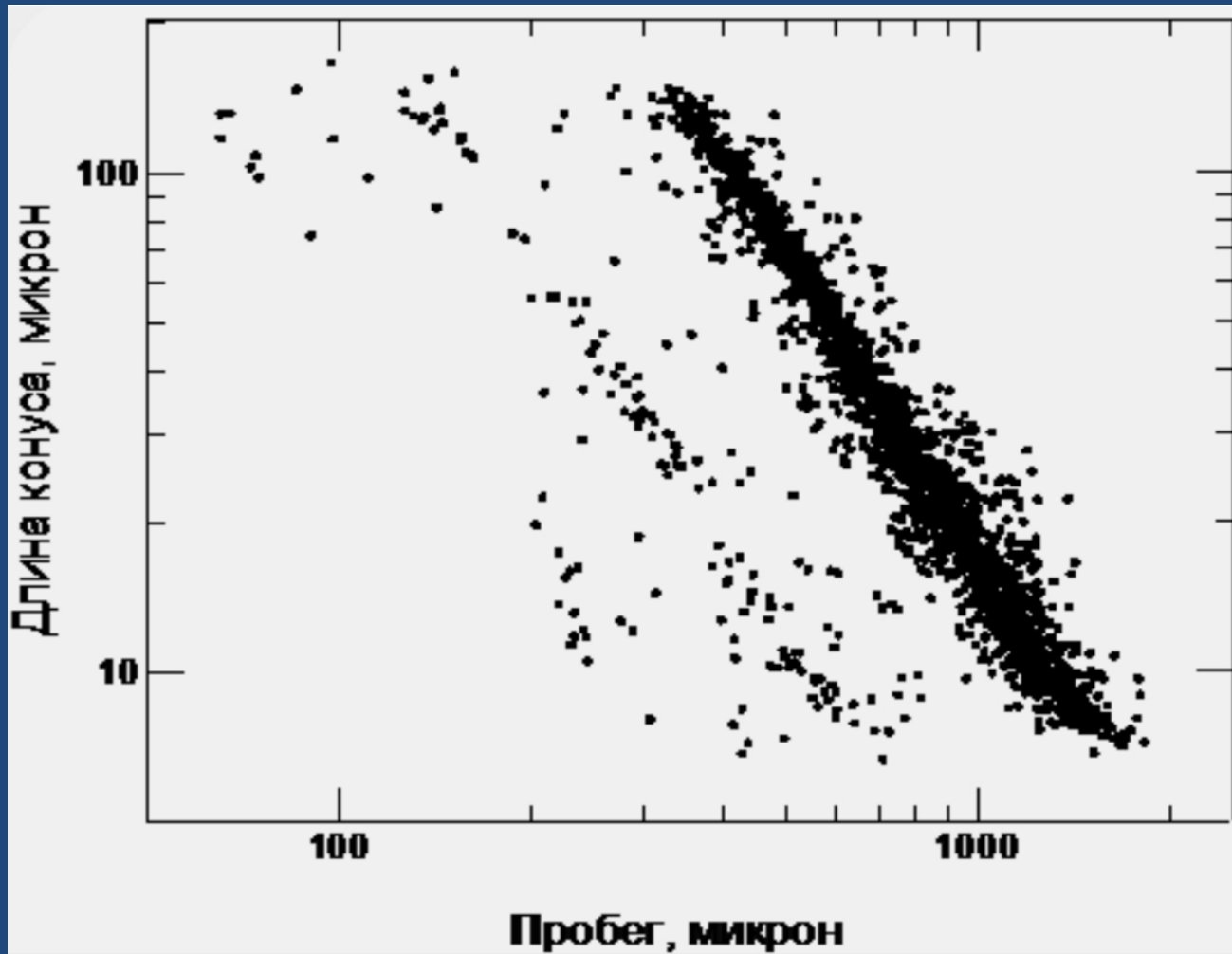


 В слое с точкой остановки.  
 $L_1 \sim \frac{E_1}{x=f(R_1)}$  и  
 $L_2 \sim \frac{E_2}{x=f(R_2)}$ ,  
 где:  
 $R_1$  и  $R_2$  – расстояния до точки остановки.

В качестве детектора использованы стопки слоев лавсана (полиэтилентерефталата) толщиной 6–10 мм при толщине слоев от 15 до 180 мкм.

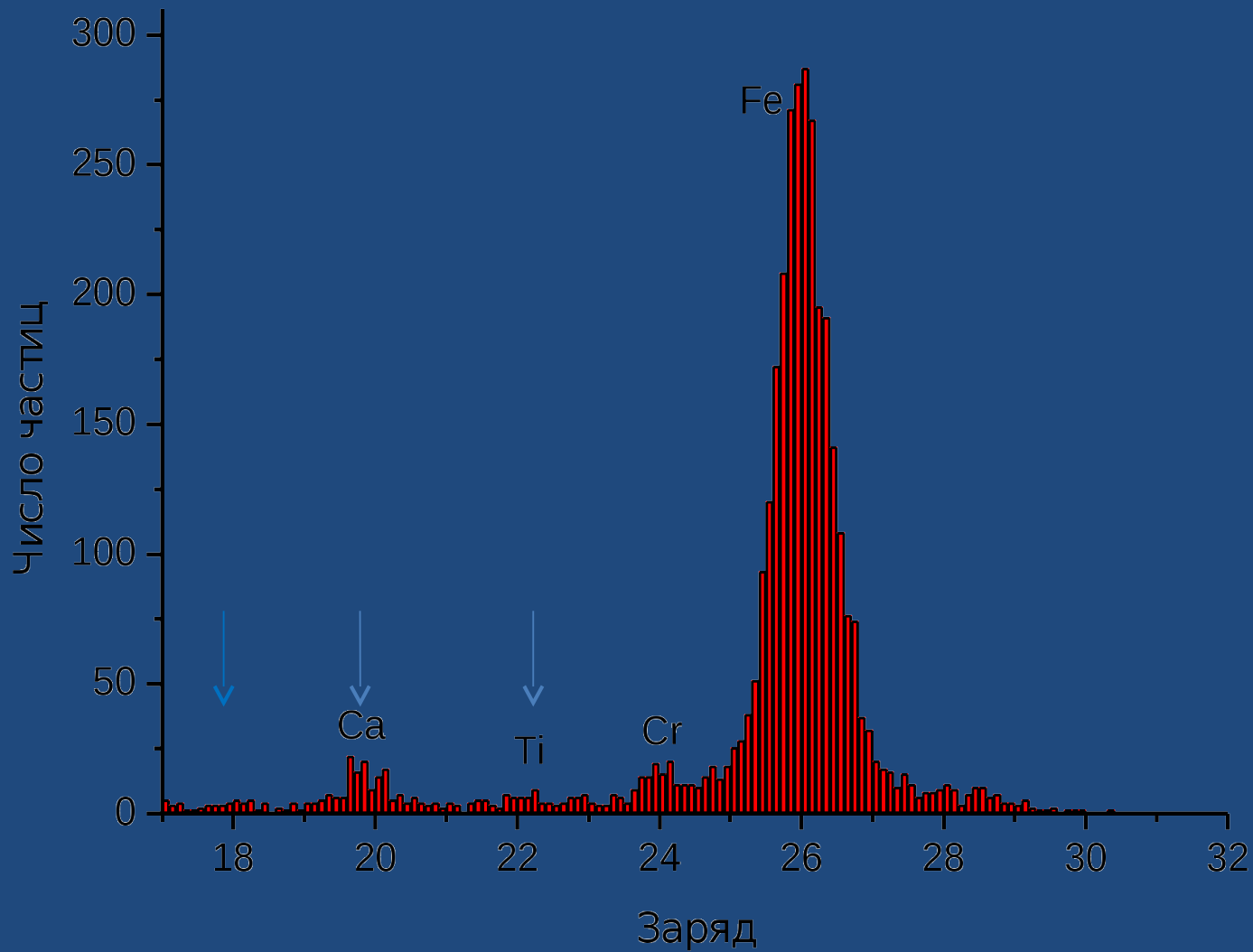


# Зависимость длины конуса треков частиц СКЛ от расстояния до точки остановки в детекторе-лавсане



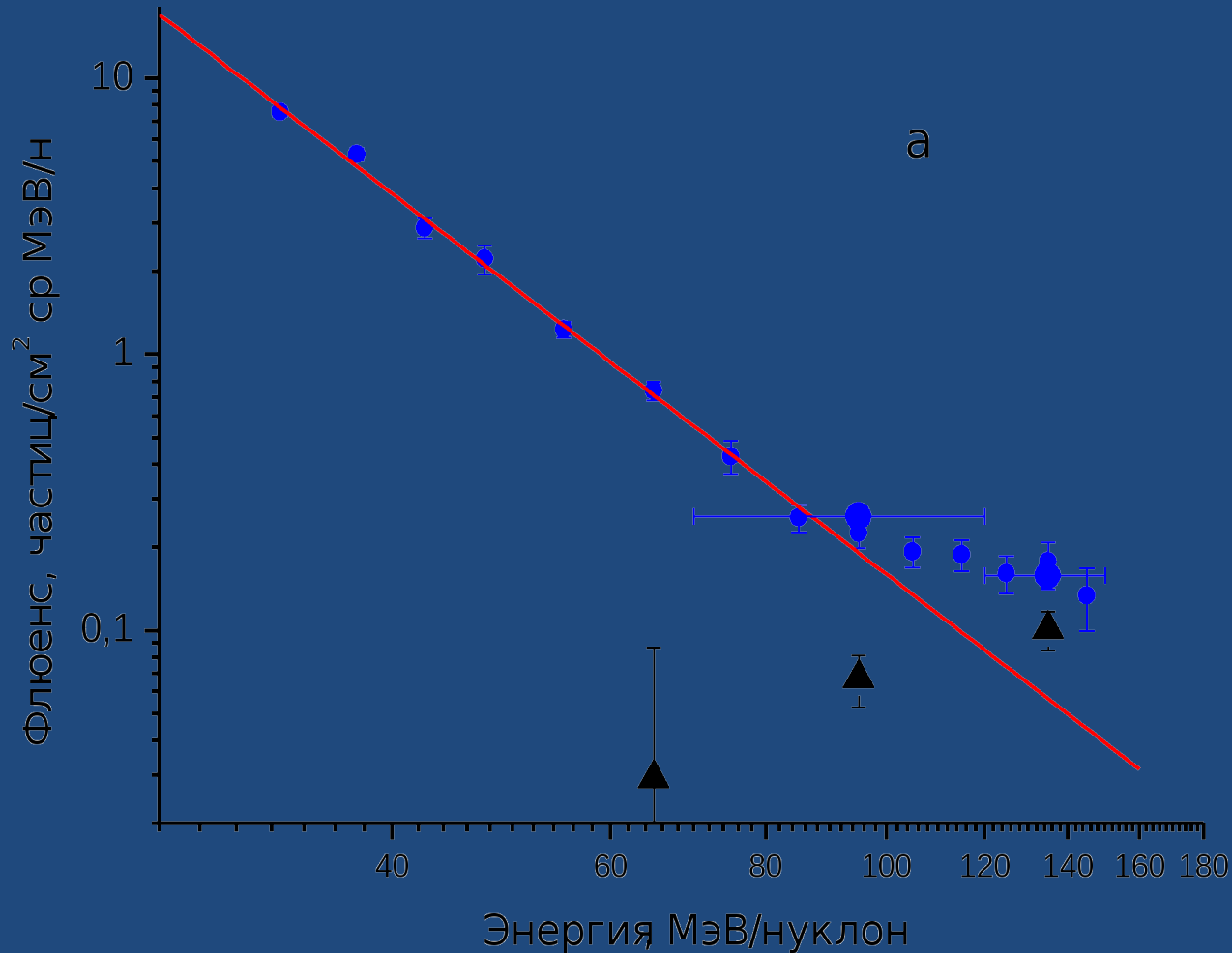
Ядра с определенным зарядом выделяются по сгущению точек на LR диаграмме ( $L_i = f(R_i)$ )

# Распределение по зарядам тяжелых ядер космических лучей



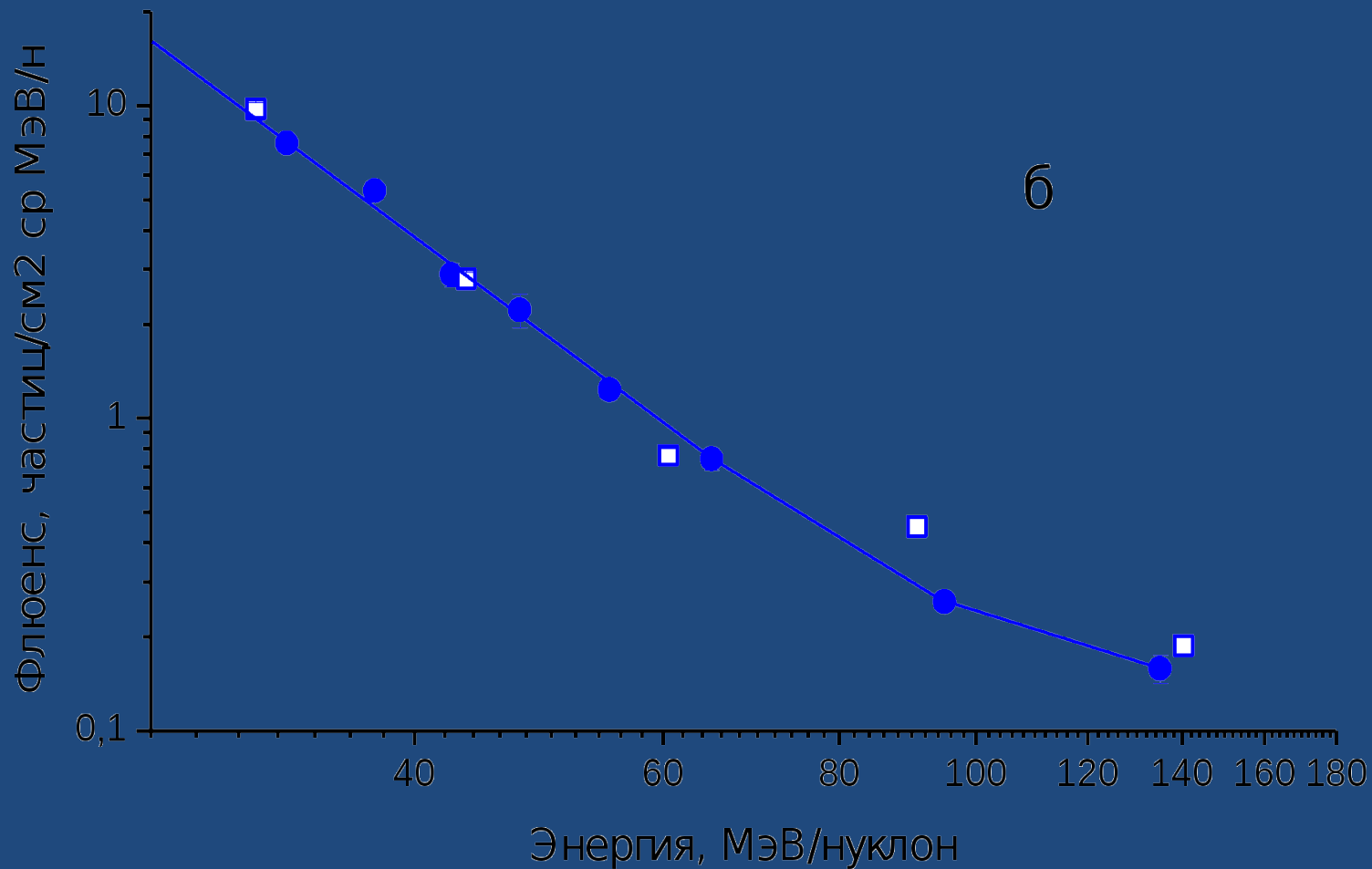
- В распределении проявляются более распространённые ядра с чётным зарядом от аргона до железа.
- Ядра железа выделяется с эффективностью ~ 100 %.

- Солнечная и галактическая компоненты железа выделены в энергетическом спектре – рис. а.
- Результаты эксперимента ПЛАТАН-М (~400 км) сравниваются с данными прибора SIS на станции ACE (1.5 млн. км), которые были трансформированы на орбиту SIS, используя модель проникновения заряженных частиц внутрь магнитосферы Земли – рис. б.



а Флюенс железа измеренный в эксперименте ПЛАТАН-М – ●;  
**прямая линия** – аппроксимация спектра солнечных вспышек;  
 ▭ – спектр ядер ГКЛ; ● – среднее пяти точек при энергии от 70 до 120 МэВ/нуклон и трех точек при энергии от 120 до 150 МэВ/нуклон.



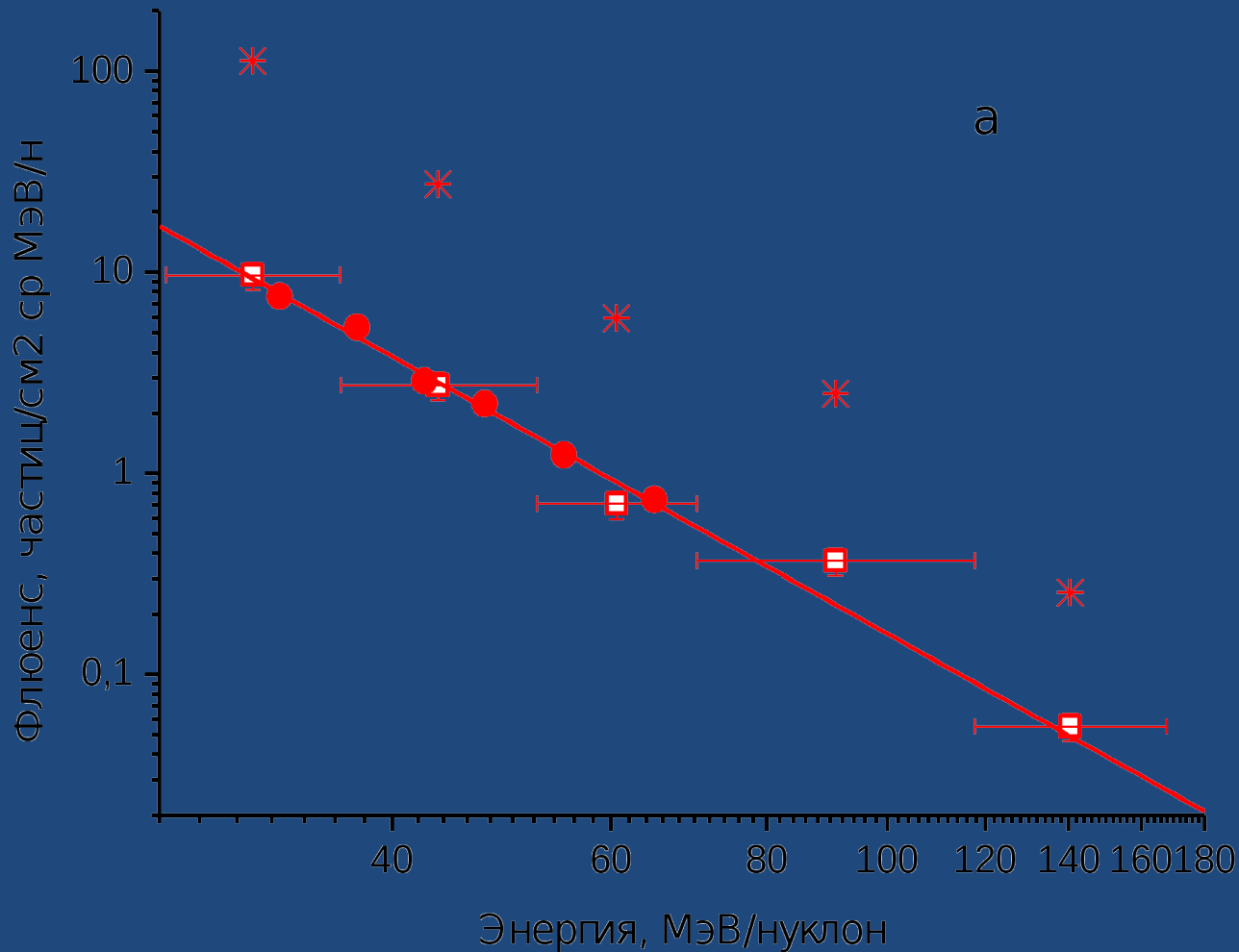


**б Флюенс железа, измеренный прибором ПЛАТАН-М – ● в сравнении с измерениями прибора SIS на станции ACE, трансформированными на орбиту МКС – □ .**

- Наблюдается принципиальное совпадение показаний двух независимых приборов, но выявляются и погрешности измерения потоков ионов СКЛ в отдельных каналах электронного прибора SIS, основным из которых является результат измерения в канале  $70,2 \div 117,3$  МэВ/н. При этой энергии проявляется особенно значительное превышение над данными прибора ПЛАТАН на уровне 6 стандартных ошибок.

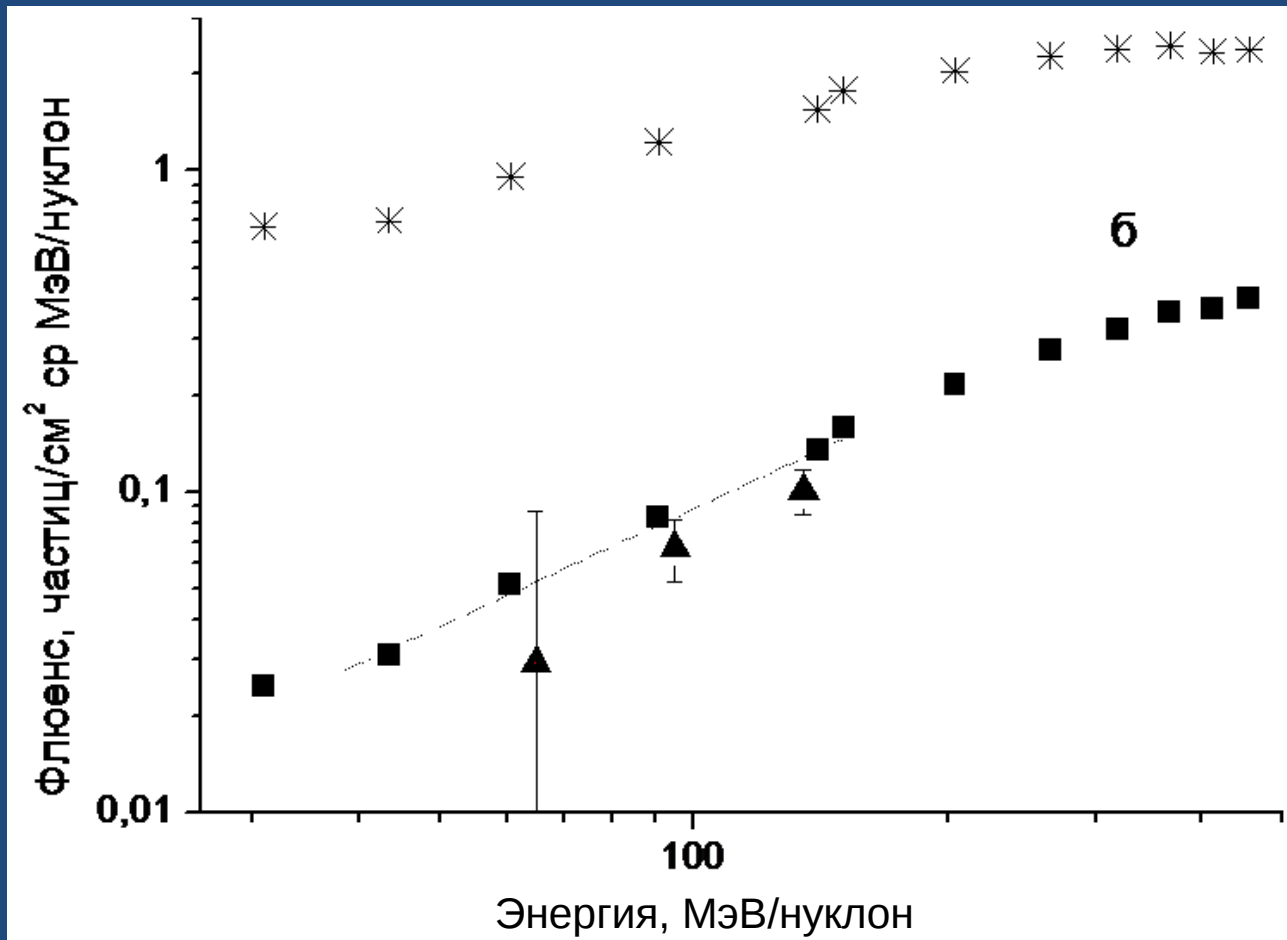
- Энергетический спектр флюенса железа солнечной и галактической компонент измеренных в 2002-2004 гг. приборами SIS и ПЛАТАН-М.

Сравнения данных, полученных на орбитальной станции и в межпланетном пространстве на станциях АСЕ и МКС, демонстрирует эффективность работы модели по преобразованию энергетических спектров заряженных частиц в внутрь магнитосферы Земли.



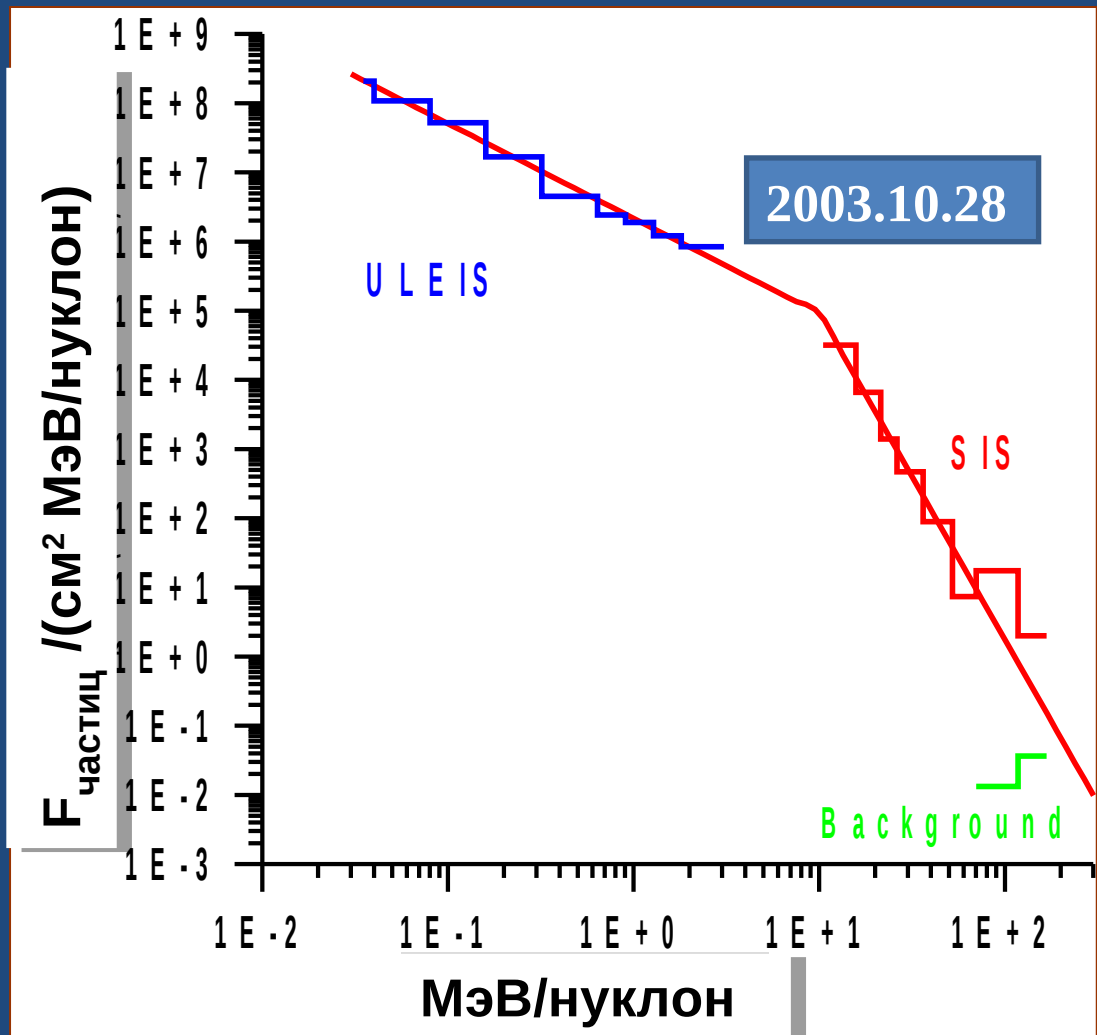
**а Флюенс ионов железа СКЛ, измеренный в эксперименте ПЛАТАН-М на МКС и прибором SIS на станции ACE.**

**● – данные прибора ПЛАТАН-М; ☒ – данные прибора SIS; □ – данные прибора SIS, трансформированные на орбиту МКС.**

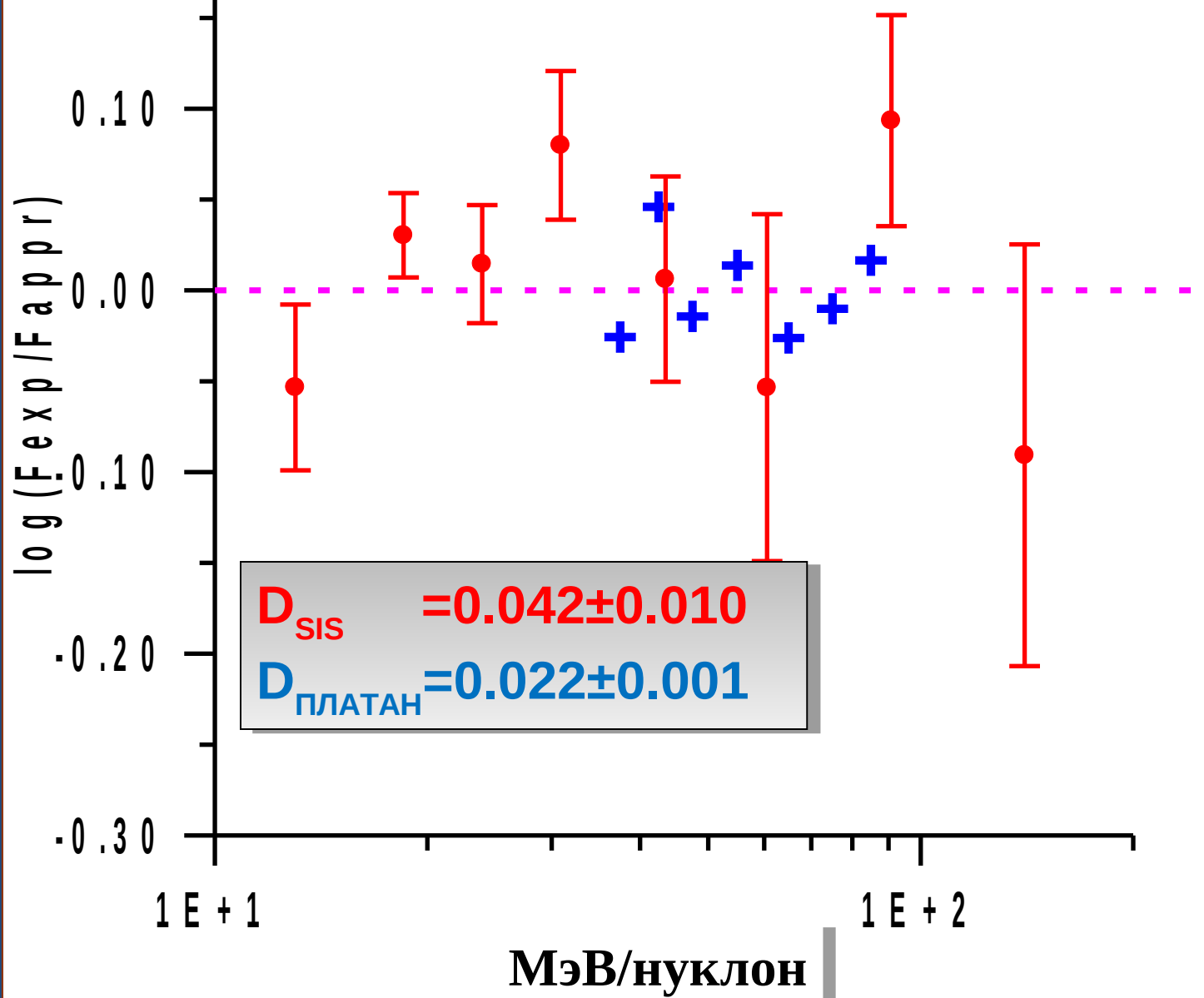


**б** Флюенс ядер железа ГКЛ, измеренный в эксперименте ПЛАТАН-М на МКС – ☒ и приборами SIS и CRIS на станции ACE – □; ■ – данные приборов SIS и CRIS, трансформированные на орбиту МКС.





Аппроксимация события 28 октября (2003.10.28) по первым шести каналам прибора SIS. Наблюдается расхождение с аппроксимацией в 7-ом и 8-ом каналах. Завышение в 3 и 4 раза соответственно.



Сравнение ошибок измерений  
аппаратурой SIS и ПЛАТАН-М

# ВЫВОДЫ

- В эксперименте ПЛАТАН-М на МКС с визуальным трековым детектором измерен энергетический спектр флюенса частиц железа в диапазоне 30-150 МэВ/нуклон в экспозиции 2002-2004 гг.
- В спектре выделены две компоненты: ионов железа СКЛ и ядер железа ГКЛ
- Проведено сравнение полученных спектров с расчетными спектрами, измеренными на межпланетной станции ACE электронной аппаратурой SIS, трансформированными на орбиту МКС. Энергетическое разрешение спектра, измеренного прибором ПЛАТАН-М, по крайней мере, в два раза выше, а ошибки в два раза меньше по сравнению с прибором SIS. Спектры ГКЛ на МКС и на ACE в пределах погрешности практически полностью соответствуют друг другу на обеих станциях

- Спектр СКЛ, измеренный прибором SIS полностью совпадает со спектром прибора ПЛАТАН, в трех из пяти энергетических интервалах.
- В канале при средней энергии 91 МэВ/нуклон спектр СКЛ прибора SIS существенно превышает показания аппаратуры ПЛАТАН-М с расхождением на уровне 6 стандартных ошибок, что указывает на сбой в работе аппаратуры прибора SIS 28 октября 2003 г.
- Проведена оценка флюенса ядер железа ГКЛ внутри МКС в течение рабочей экспозиции аппаратуры ПЛАТАН-М  
Флюенс ядер железа ГКЛ в диапазоне 30-150 МэВ/нуклон внутри МКС, по крайней мере, не ниже флюенса снаружи МКС.
- Используемая модель проникновения заряженных частиц в магнитосферу Земли с хорошей точностью описывает трансформацию энергетических спектров КЛ, что позволяет сопоставить данные, полученные различными методиками внутри и вне магнитосферы Земли и раскрывает большие возможности для прогнозирования ожидаемых потоков ядер ГКЛ в различных фазах цикла солнечной активности внутри и вне магнитосферы Земли.