



Спектры ионов Fe в мощных событиях СКЛ

**Баранов Д.Г., Дергачев В.А.
*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург***

**Ныммик Р.А., Панасюк М.И.
*НИИЯФ МГУ, Москва***

18 августа 2016 года

Аннотация

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 малых энергий. Камеры, собранные из слоев твердотельного трекового детектора, экспонировались на внешней поверхности орбитальных станций.

Мощные вспышки СКЛ были зарегистрированы аппаратурой ПЛАТАН в сентябре-октябре 1989 г. (станция Мир) и октябре-ноябре 2003 г. (МКС).

Для двух групп событий СКЛ измерены энергетические спектры ионов железа на орбитальных станциях в интервалах энергий 5–200 МэВ/нуклон (1989 г.) и 25–90 МэВ/нуклон (2003 г.).

Сравнение результатов эксперимента ПЛАТАН, пересчитанными в околоземное пространство вне магнитосферы Земли, с немагнитосферными измерениями показало хорошее согласие данных, полученных разными методиками.

Спектры событий 1989 и 2003 гг. с хорошей 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.

Прибор ПЛАТАН

ПЛАТАН (ПЛАстиковый Трековый АНализатор) является автономным, пассивным, интегральным твердотельным трековым детектором. Информация о зарядовом и энергетическом спектрах частиц космических лучей накапливается в течение всего времени экспозиции. Он является пороговым детектором, регистрирующим частицы с высокой ионизацией, останавливающиеся в объеме детектора. При выбранном режиме технологической обработки детектора ядра железа регистрируются в лавсане при энергии меньше 50 МэВ/нуклон, что соответствует пробегу ~ 1.5 мм.

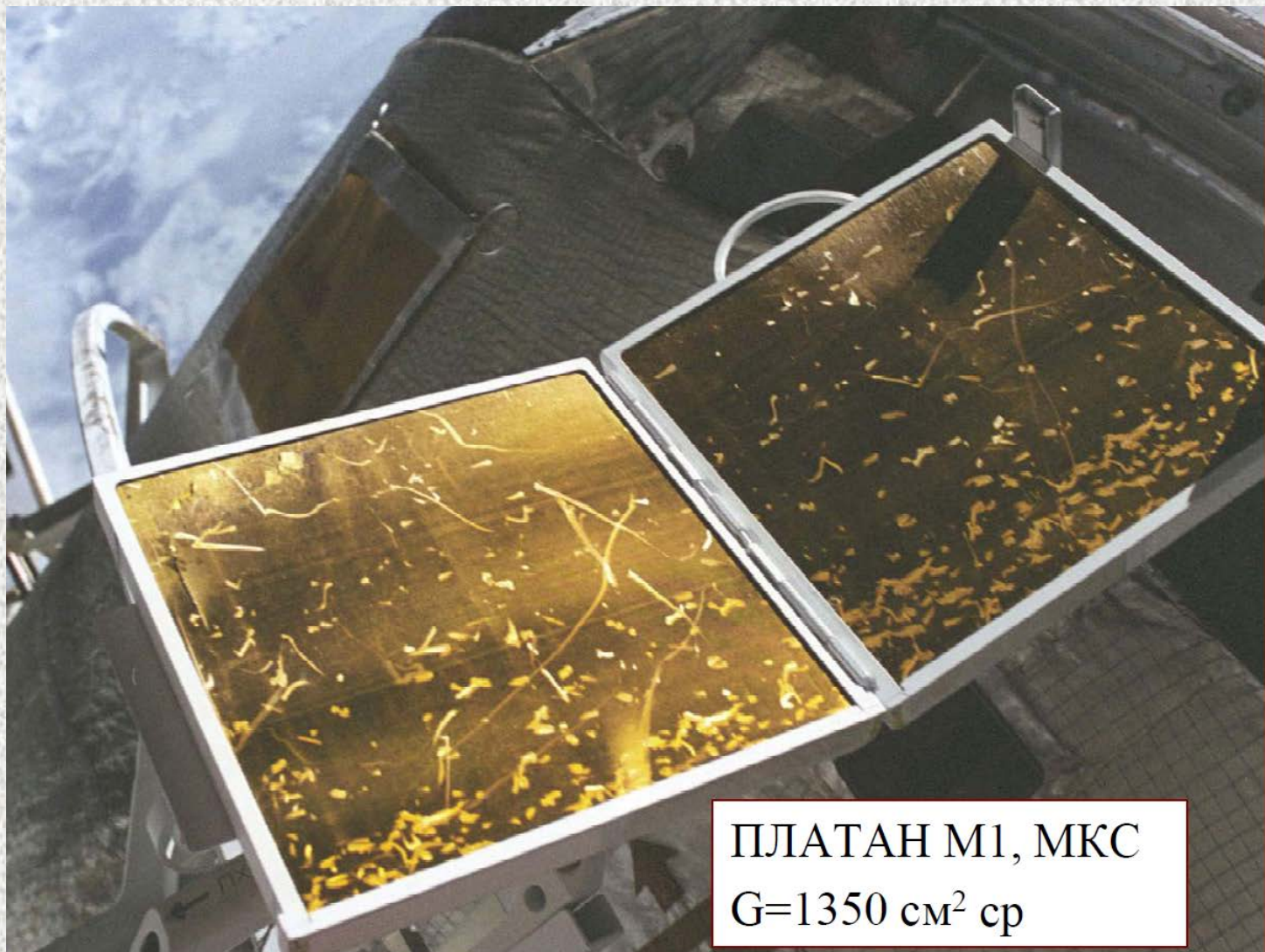
Эксперимент ПЛАТАН-М на МКС



Камера экспонировалась на внешней поверхности РС МКС

Камера ПЛАТАН-М экспонировалась на наружной поверхности *МКС*. Камера была установлена космонавтами на круговом поручне переходного отсека служебного модуля российского сегмента (РС) *МКС*. Плоскость раскрытой камеры направлена в зенит. На следующем слайде представлена фотография камеры в рабочем положении перед ее закрытием. На поверхности теплозащитной пленки, покрывающей детектор, наблюдаются многочисленные следы повреждений от локального мусора в окрестности станции.

После возвращения аппаратуры на Землю проведена многоэтапная физико-химическая обработка слоев детектора с целью извлечения накопленной информации.



ПЛАТАН М1, МКС
 $G=1350 \text{ см}^2 \text{ ср}$

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

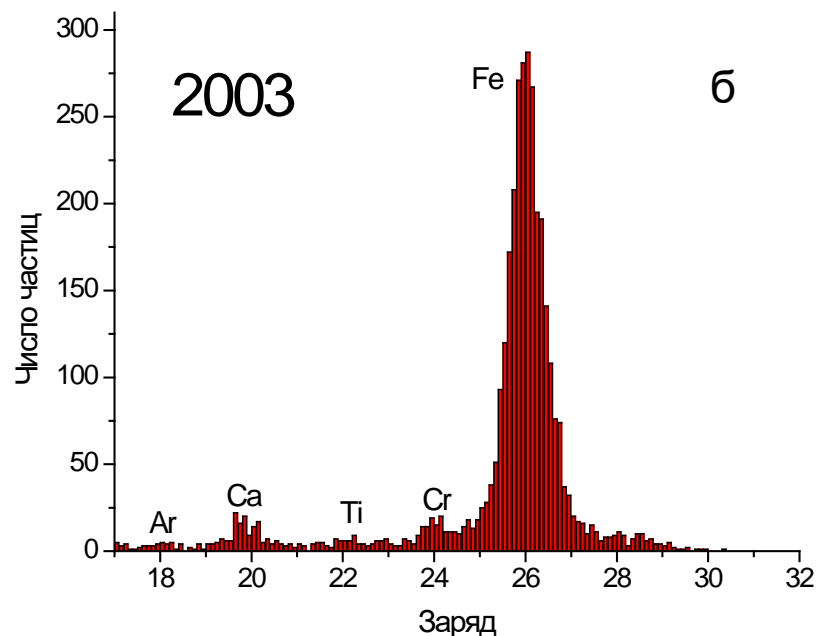
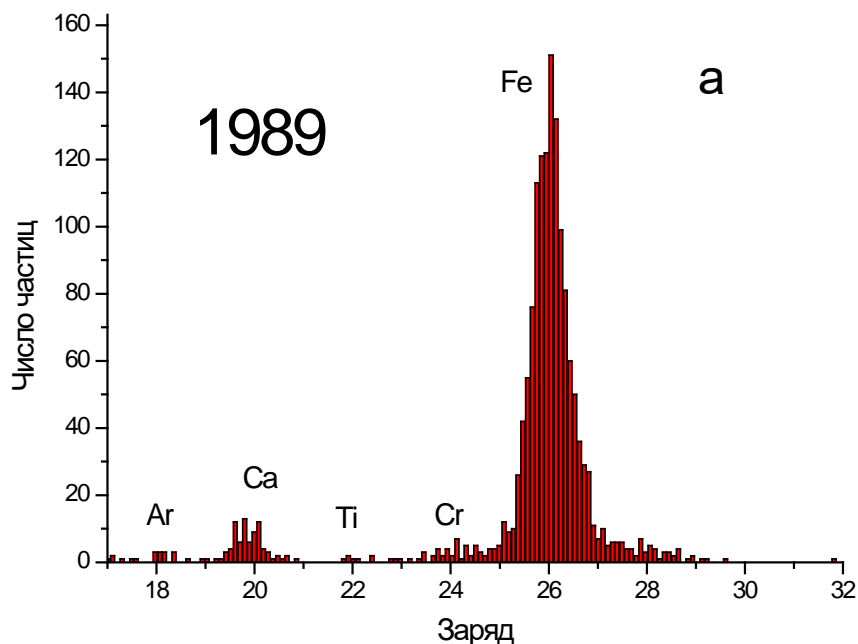
Экспонирование аппаратуры ПЛАТАН на орбитальных станциях

Эксперимент	Время экспозиции
ПЛАТАН-3, станция МИР	26.02.1988 - 11.01.1990
ПЛАТАН-М, станция МКС	26.01.2002 - 03.08.2004

Наиболее мощные вспышки СКЛ, зарегистрированные аппаратурой ПЛАТАН

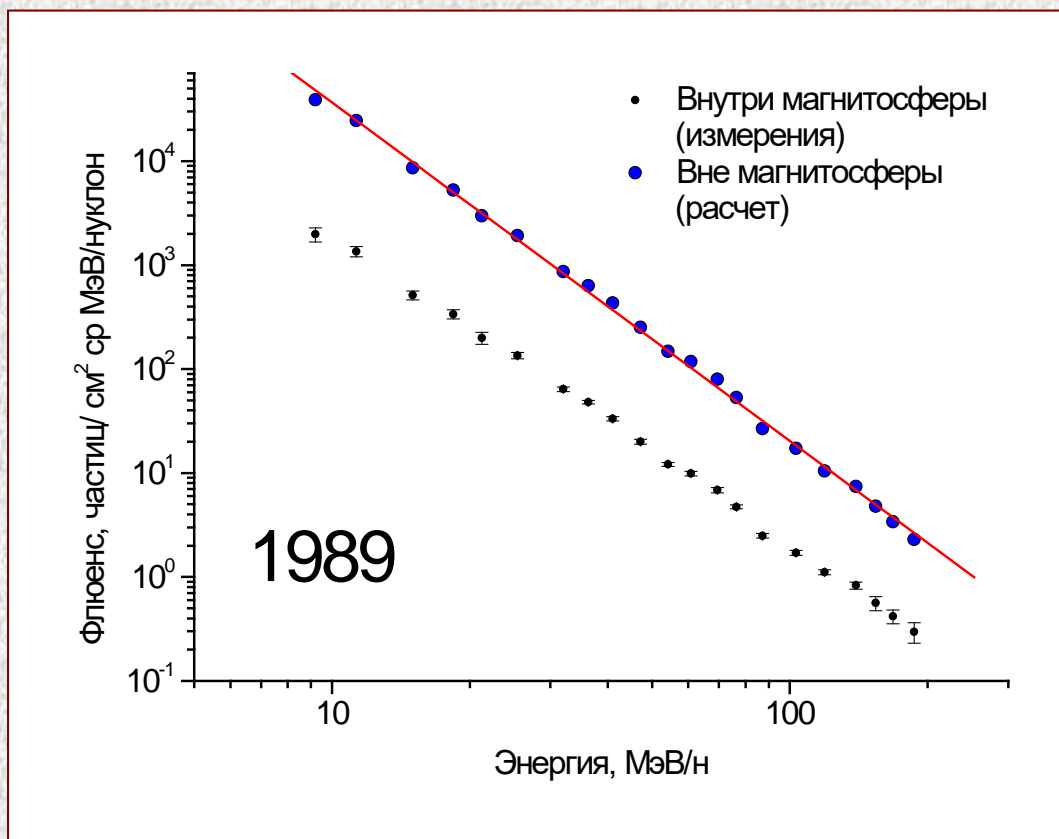
Начало вспышки	Класс вспышки	Максимум потока протонов E_p>10 МэВ (частиц/см² с ср)
Экспозиция ПЛАТАН-3		
Сент. 29, 1989	X9	4500
Окт. 19, 1989	X13	40000
Экспозиция ПЛАТАН-М		
Окт. 28, 2003	X17	29500
Окт. 29, 2003	X10	1570
Нояб. 04, 2003	X28	353

Зарядовый состав частиц, зарегистрированных в экспериментах ПЛАТАН-3 (а) и ПЛАТАН-М (б)



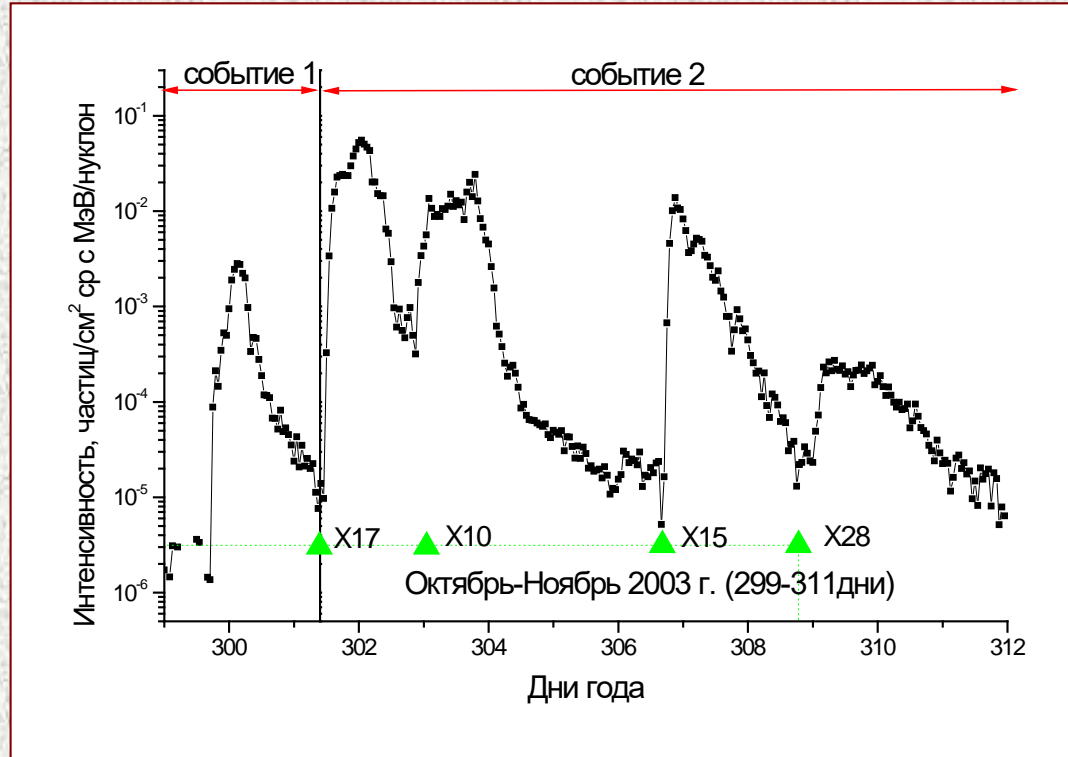
Основной вклад в зарядовый спектр вносит пик железа. Помимо этого наблюдаются небольшие пики четных зарядов вплоть до аргона ($Z=18$).

Энергетический спектр ионов железа СКЛ, измеренный в эксперименте ПЛАТАН-3



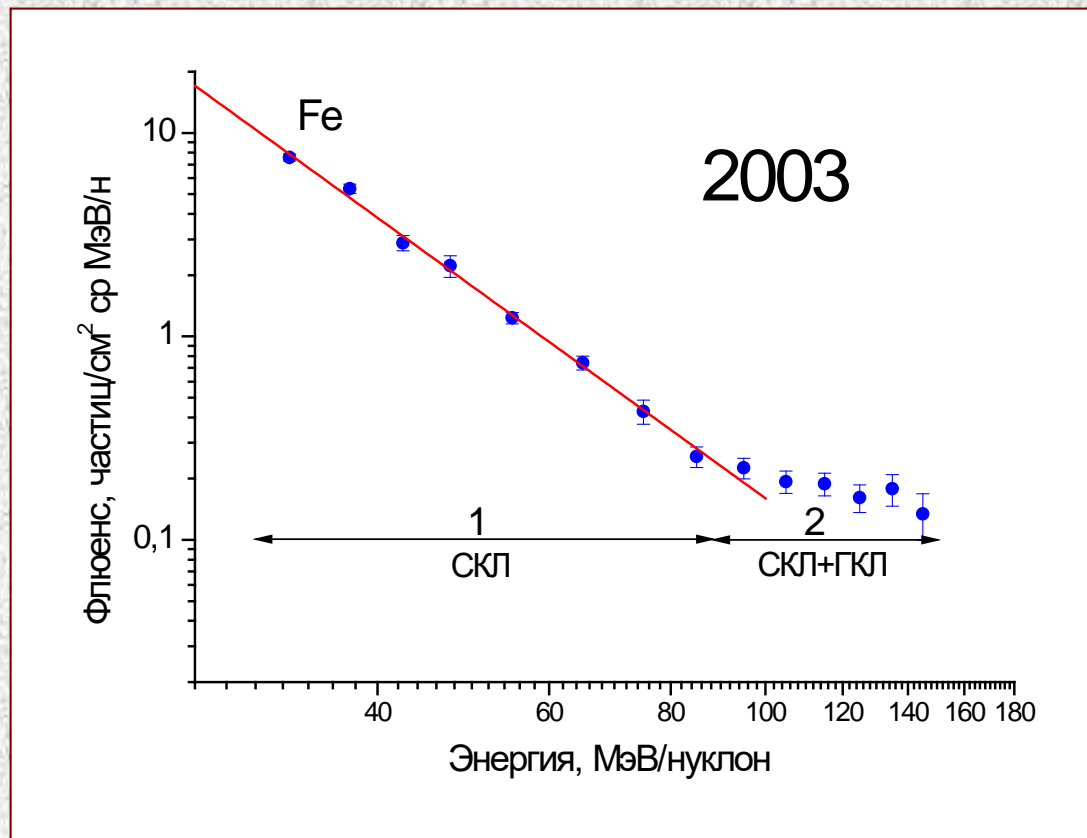
Спектры, измеренные на орбитальных станциях внутри магнитосферы Земли, с помощью модели НИИЯФ МГУ (Р.А. Ныммик) пересчитаны к границе магнитосферы. Внемагнитосферные спектры аппроксимированы степенной функцией энергии.

Серия мощных событий СКЛ в октябре-ноябре 2003 г.



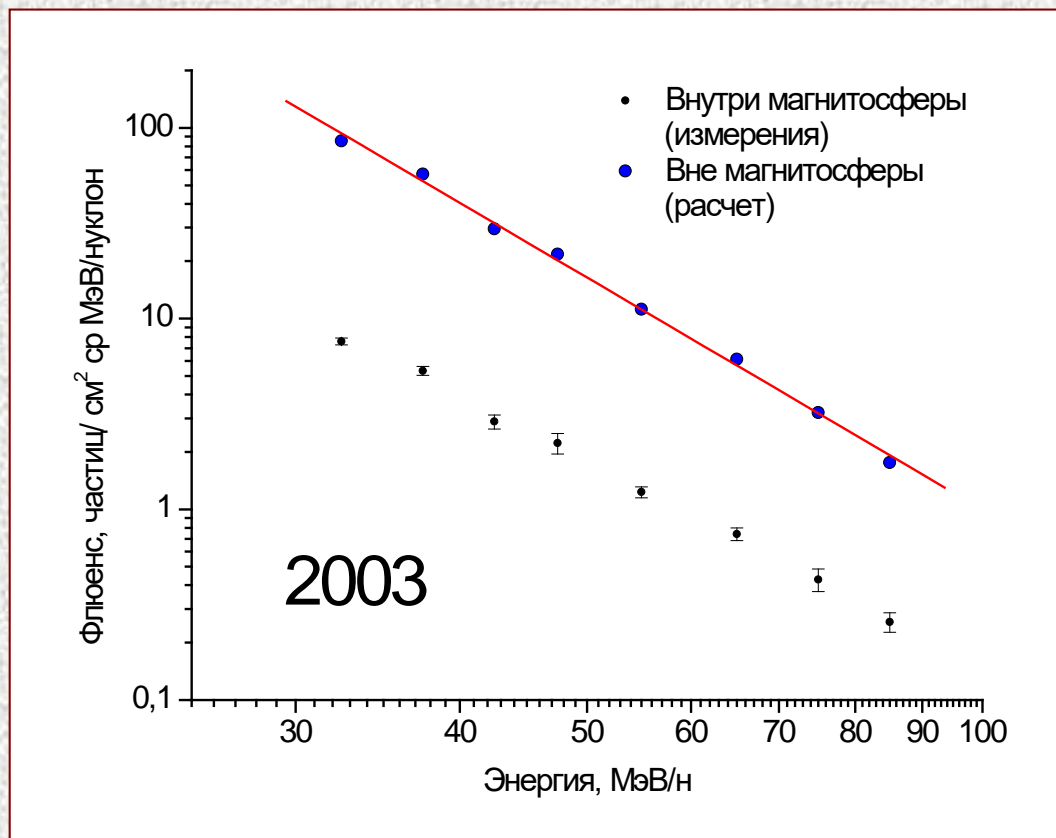
Временной ход интенсивности ионов железа (АСЕ, прибор SIS, 299-311 дни 2003 г.). Диапазон энергий: 10-168 МэВ/нуклон. Зеленые метки - рентгеновские вспышки. Красными стрелками указаны периоды двух генетически не связанных событий на Солнце.

Спектр ионов железа, измеренный в эксперименте ПЛАТАН-М на орбите МКС



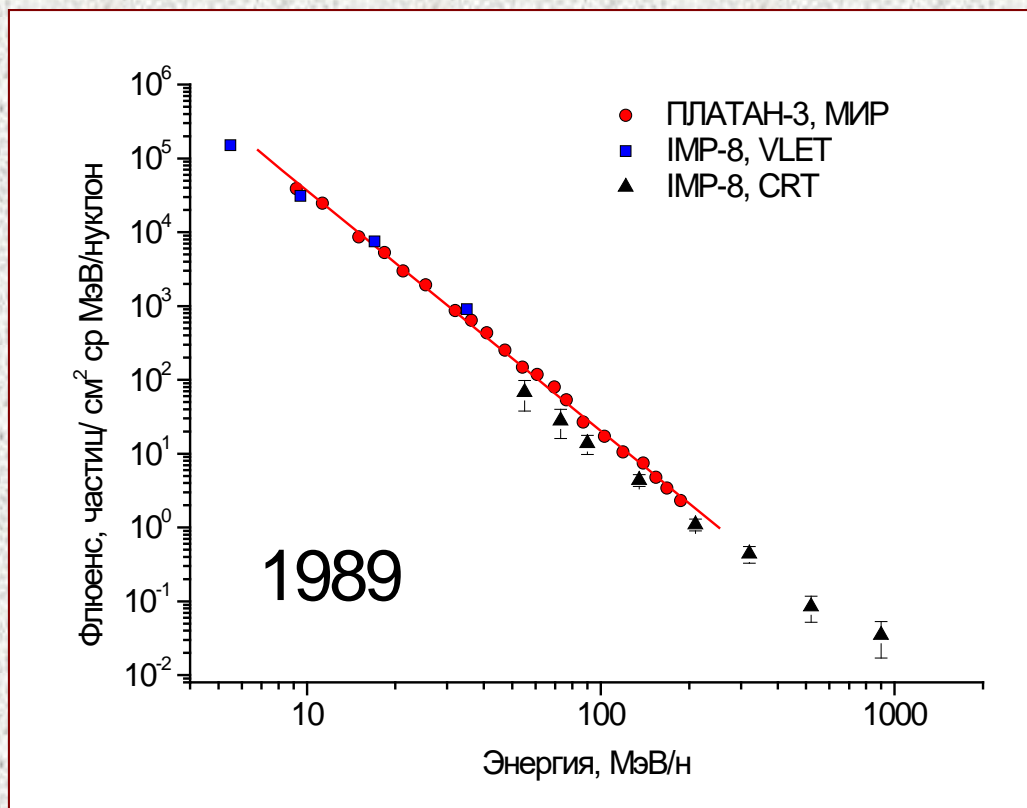
Флюенс Fe во вспышках 2003 г. приблизительно на порядок меньше, чем в событиях 1989 г. Вследствие этого при энергиях выше ~90 МэВ/нуклон в спектре становится заметен вклад ГКЛ (2). Поток СКЛ преобладает при низких энергиях (1).

Энергетический спектр ионов железа СКЛ, измеренный в эксперименте ПЛАТАН-М



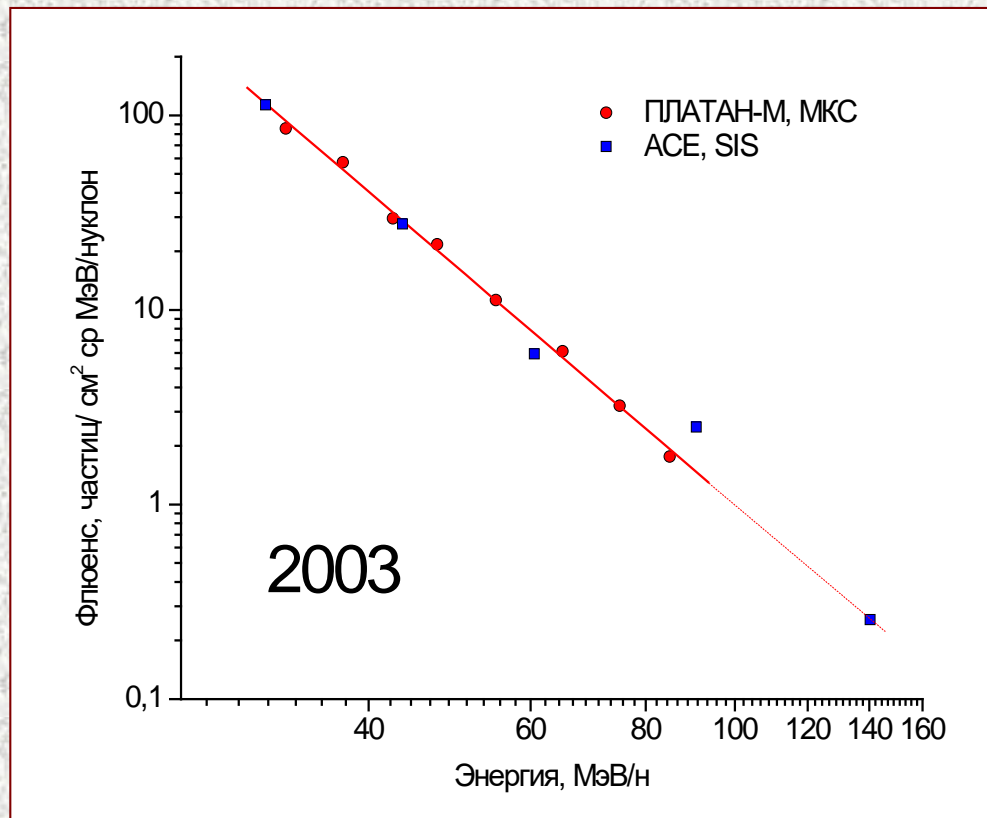
Для выделения спектра СКЛ флюенс был ограничен интервалом энергий от 25 до 90 МэВ/нуклон. Фон ГКЛ за время экспозиции был вычтен из общего флюенса. Спектр, измеренный на орбитальной станции, с помощью модели НИИЯФ МГУ (Р.А. Ныммик) пересчитан к границе магнитосферы и аппроксимирован степенной функцией энергии.

Сравнение внемагнитосферных измерений спектра железа СКЛ с данными эксперимента ПЛАТАН-3



Данные эксперимента ПЛАТАН, пересчитанные во внемагнитосферное пространство, сравниваются с результатами измерений приборов VLET и CRT (спутник IMP-8). Наблюдается общее согласие данных, полученных разными методиками. Заметен некоторый сдвиг между спектрами приборов VLET и CRT.

Сравнение немагнитосферных измерений спектра железа СКЛ с данными эксперимента ПЛАТАН-М

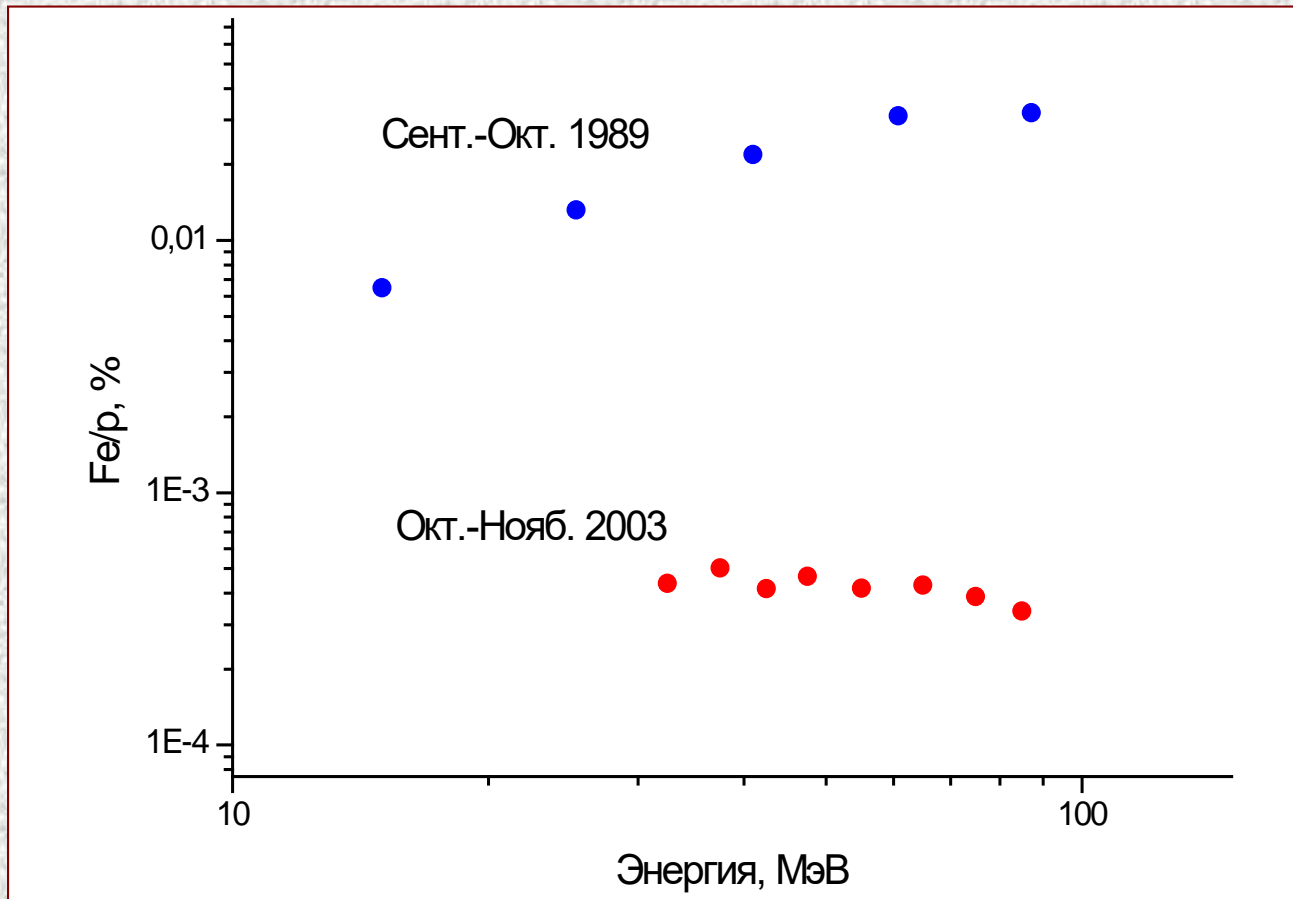


Данные эксперимента ПЛАТАН, пересчитанные во немагнитосферное пространство, сравниваются с результатами измерений прибора SIS (ACE). При общем согласии данных, полученных разными методиками, наблюдается значительный выброс в спектре прибора SIS ($E \sim 90$ МэВ/н), по-видимому, связанный со сбоем в одном из энергетических каналов прибора

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.	$-3,26 \pm 0,03$	$-4,19 \pm 0,13$
Октябрь – ноябрь 2003 г.	$-4,04 \pm 0,09$	$-3,78 \pm 0,65$

Отношение Fe/p в событиях СКЛ 1989 и 2003 гг.



При вычислении отношения Fe/p использованы:
данные по потокам Fe – эксперимент ПЛАТАН;
данные по потокам протонов - OMNIWEB

Отношение Fe/p в мощных событиях СКЛ

События СКЛ	Диапазон энергий МэВ/н	Отношение Fe/p, %
Сентябрь - октябрь 1989 г.	15 - 90	$6 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-2}$
Октябрь - ноябрь 2003 г.	30 - 90	$\sim 4 \times 10^{-4}$
1977 - 1981 Mazur et al. ApJ. 1993	~ 10	2×10^{-3}

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.

Спасибо за внимание!