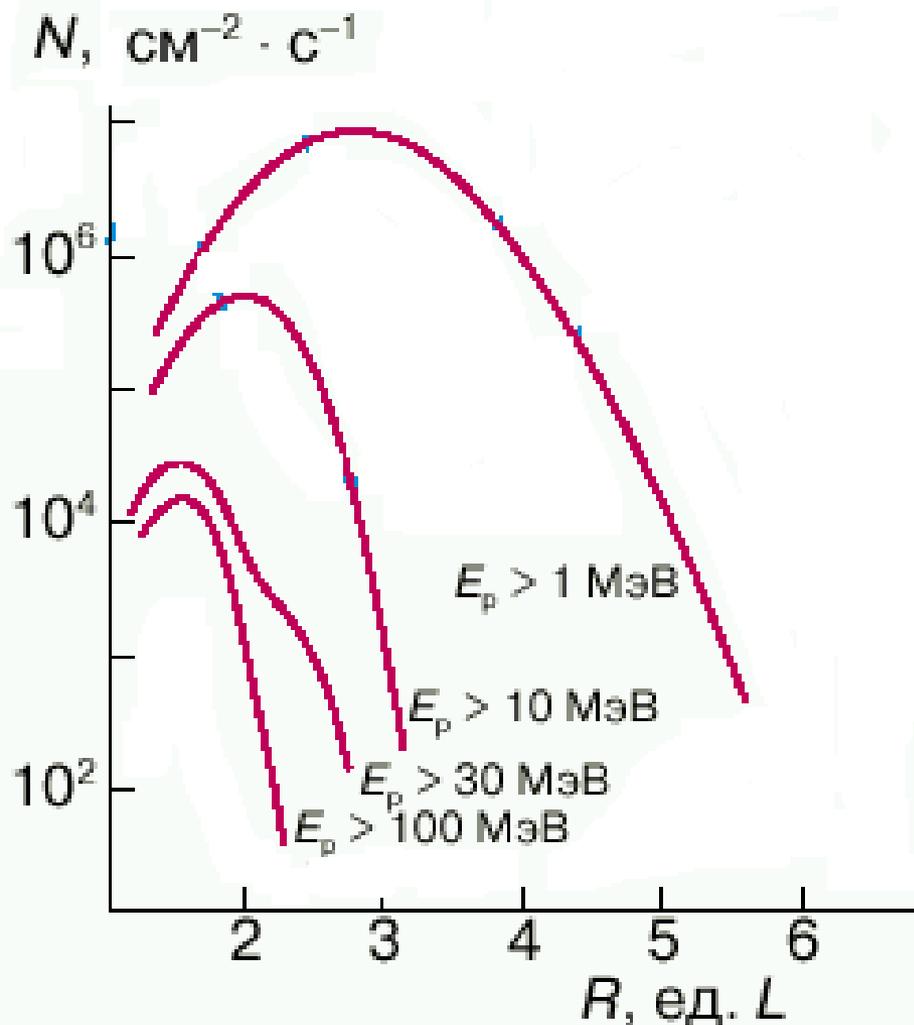


SOLAR 1-20 MEV PROTONS AS A SOURCE OF THE PROTON RADIATION BELT.

Lazutin L.L., Logachev Ju. I.,

*Scobeltsyn Institute for Nuclear Physics, Moscow State
University, Moscow, 119992, Russia,*

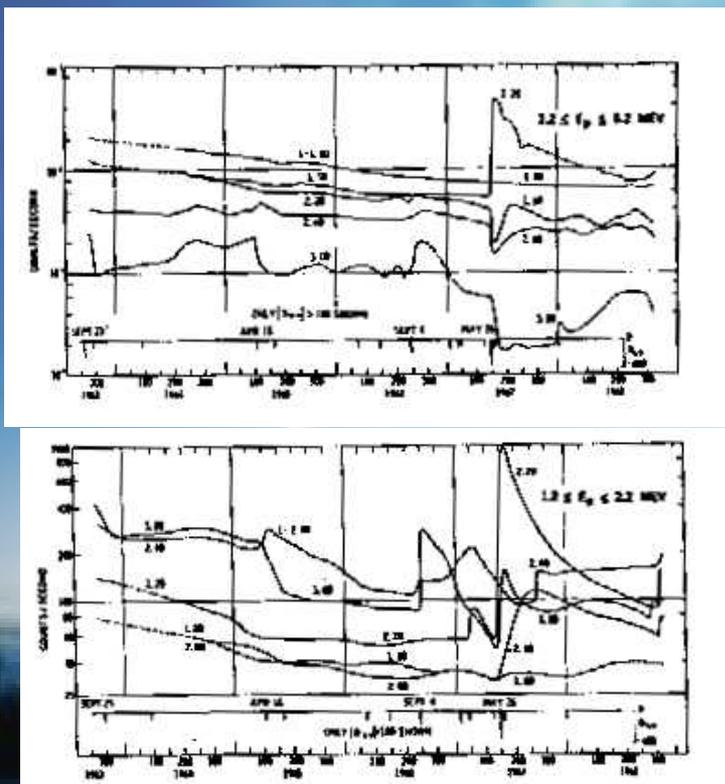
**СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ КАК
ИСТОЧНИК ПРОТОННОГО
РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА**



Proton population of the inner radiation belt is created by slow radial diffusion GCR albedo and atmospheric losses. It is stable formation in general, but sometimes fast changes were registered during magnetic storms.

Протонный пояс- стабильное образование, формирование которого объясняется альбедной теорией и медленной радиальной диффузией из авроральной области (Тверской, 1965)

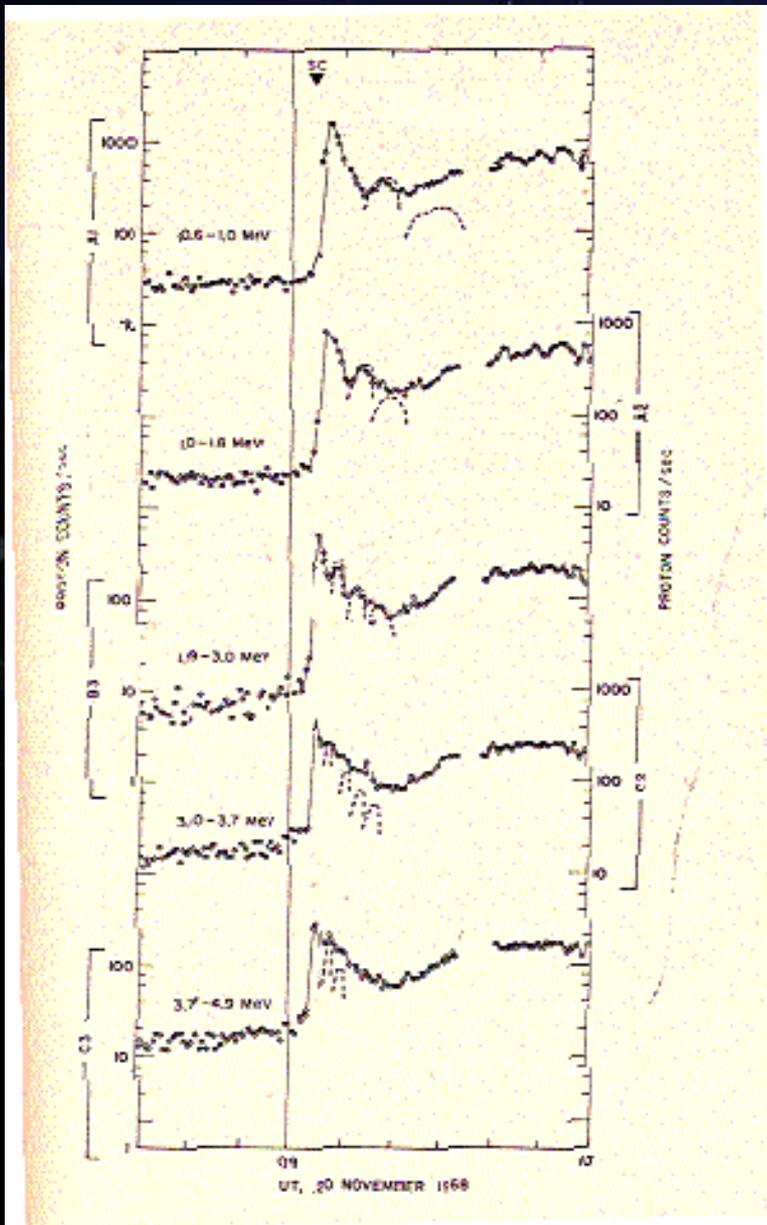
Во время бури стабильность пояса нарушается, обнаруживаются как возрастания потоков протонов с энергией в несколько MeV, иногда и первых десятков MeV



Bostrem et al., 1970

It was suspected that solar protons may be responsible for the increase of the proton belt population.

Еще в ранних работах высказывались предположения, что солнечные космические лучи ответственны за возрастание протонной популяции.



The idea of SCR trapping inside the magnetosphere is rather old.

Solar cosmic rays when present inside the magnetosphere may be accelerated by SC induced electric field, shifted earthward and after radial diffusion increase the inner radiation belt population.

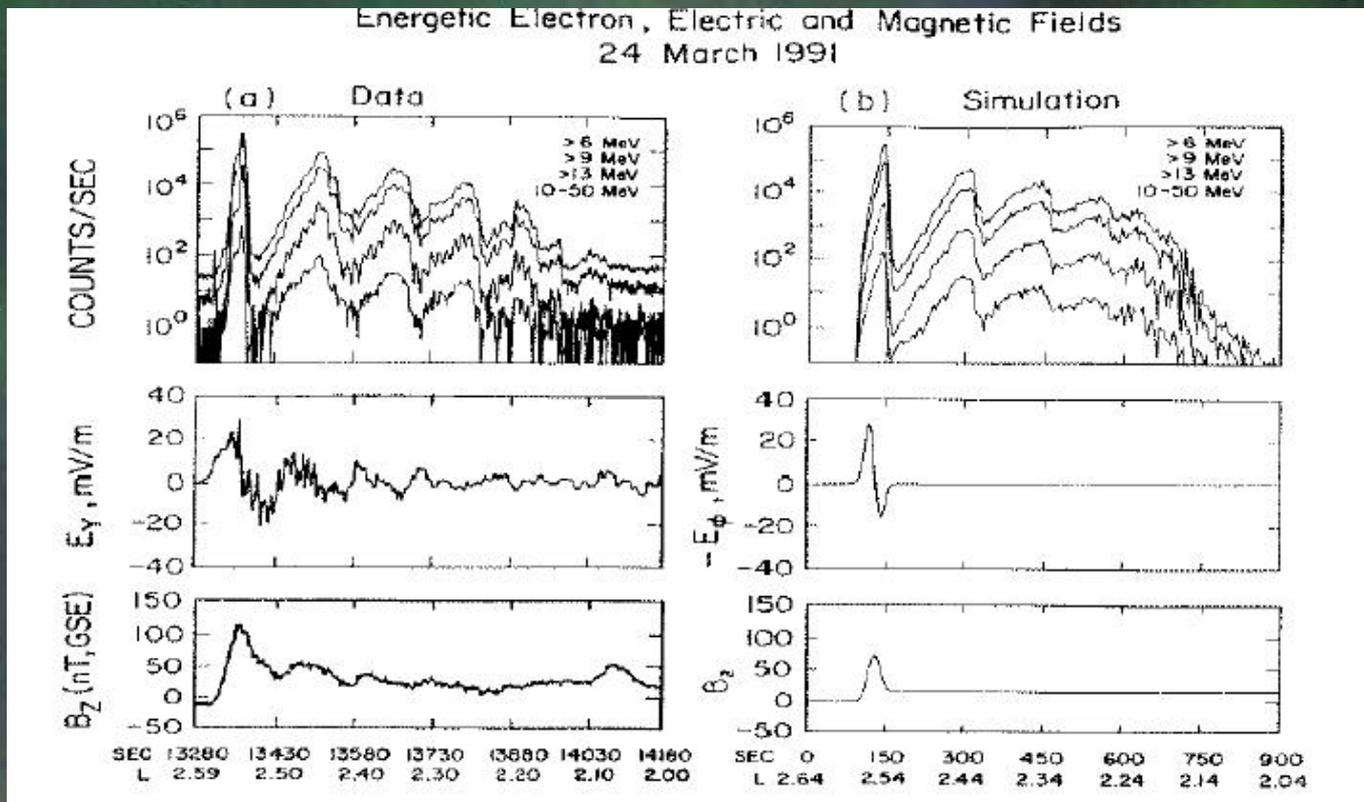
**Проникающие в магнитосферу СКЛ
могли быть ускорены
индукционным полем импульса
внезапного сжатия магнитосферы
SC. (в данном случае - на внешних
дрейфовых оболочках)**

/ Lanzerotti et al., 1970, Shultz and Lanzerotti, 1974/

Радиальный заброс частиц во время SC

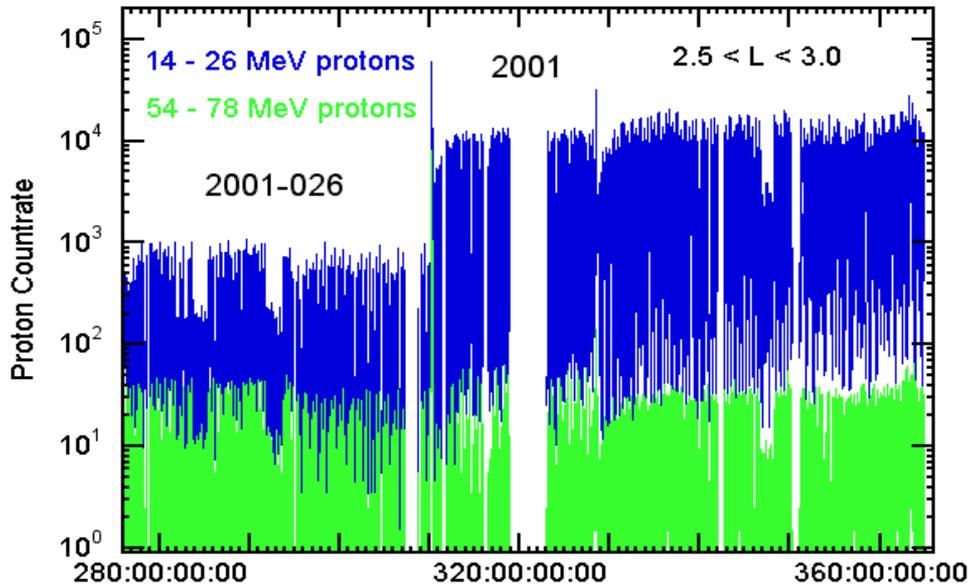
измерения

моделирование



Acceleration by SC induced E-field was measured by CRRES detectors on March 24, 1991, and explained by Blake et al., 1995 and Tverskoy et al. 1995 The same mechanism may be applied to solar protons.

Energetic Protons in Slot Shock-Injected Solar Particles



Blake et al, 2004

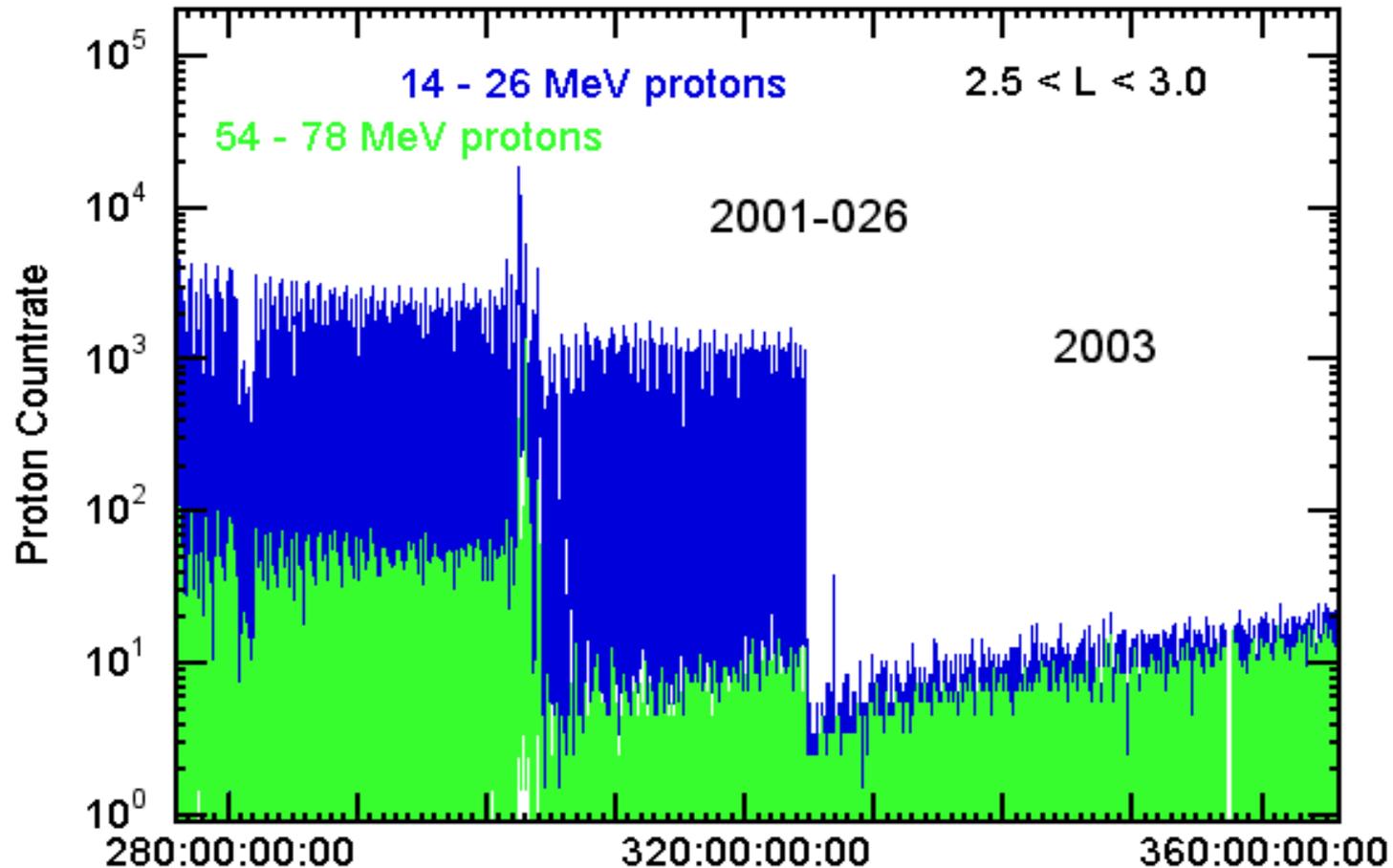
SAMPEX

Возрастание протонов
после бури
объясняется SC-
инжекцией

Model of the SC-induced injection of the solar protons into the inner magnetosphere became accepted as a leading if not a exceptional one.

Energetic Protons in Slot

Shock-Injected Solar Particles



Intensity decrease Спад потока протонов после бури 20.11.03

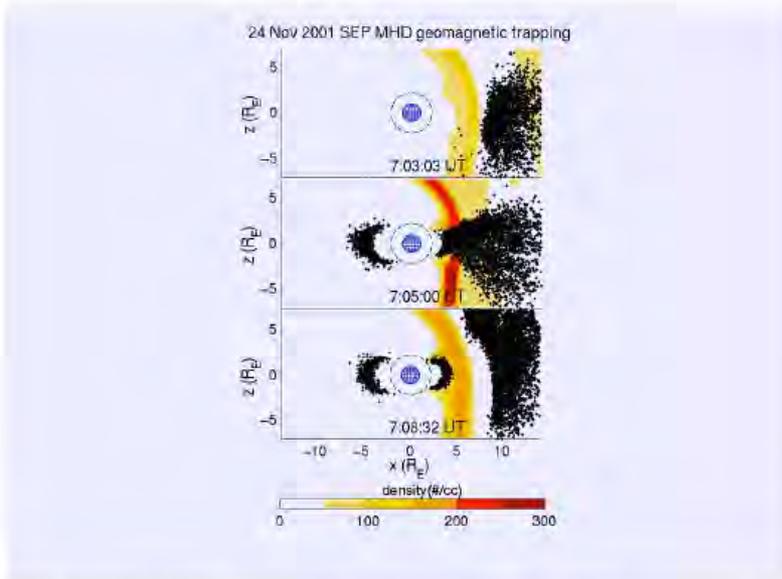
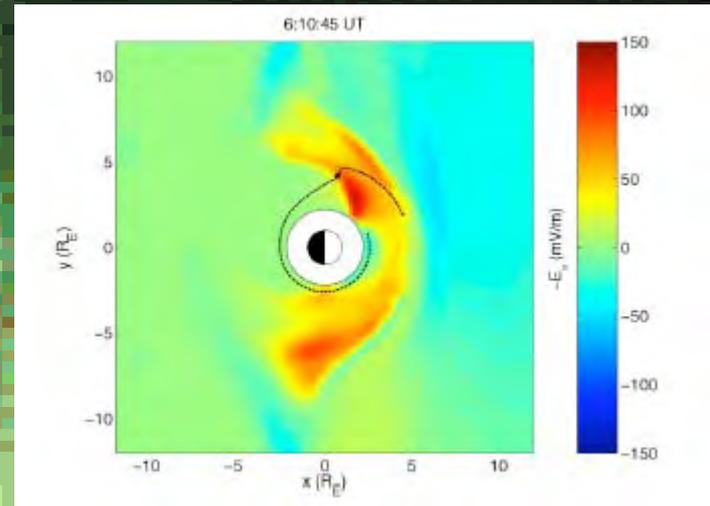
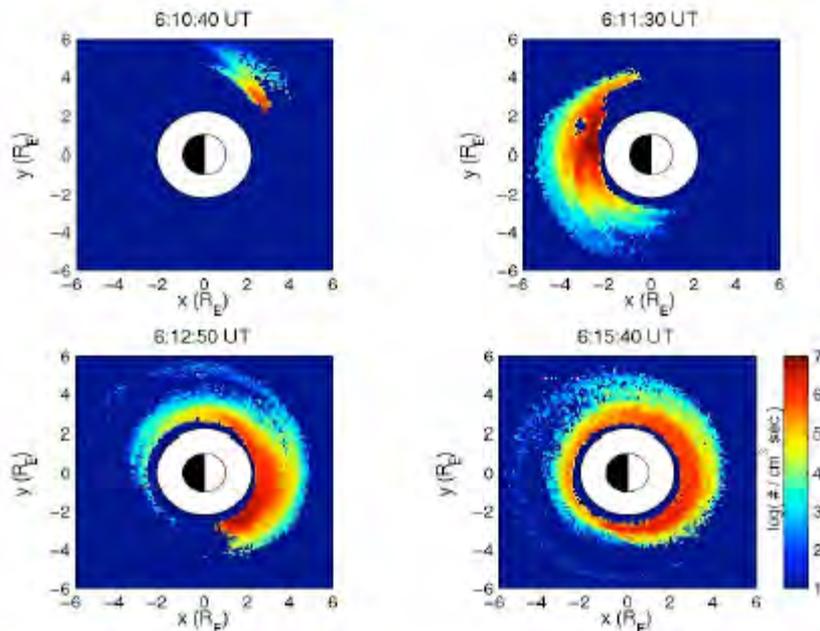


Figure 5. Sampled 25 MeV proton trajectories in time-dependent LFM MHD fields in SM coordinates at times shown for 24 Nov 2001 CME-driven storm (Kress et al., 2005).



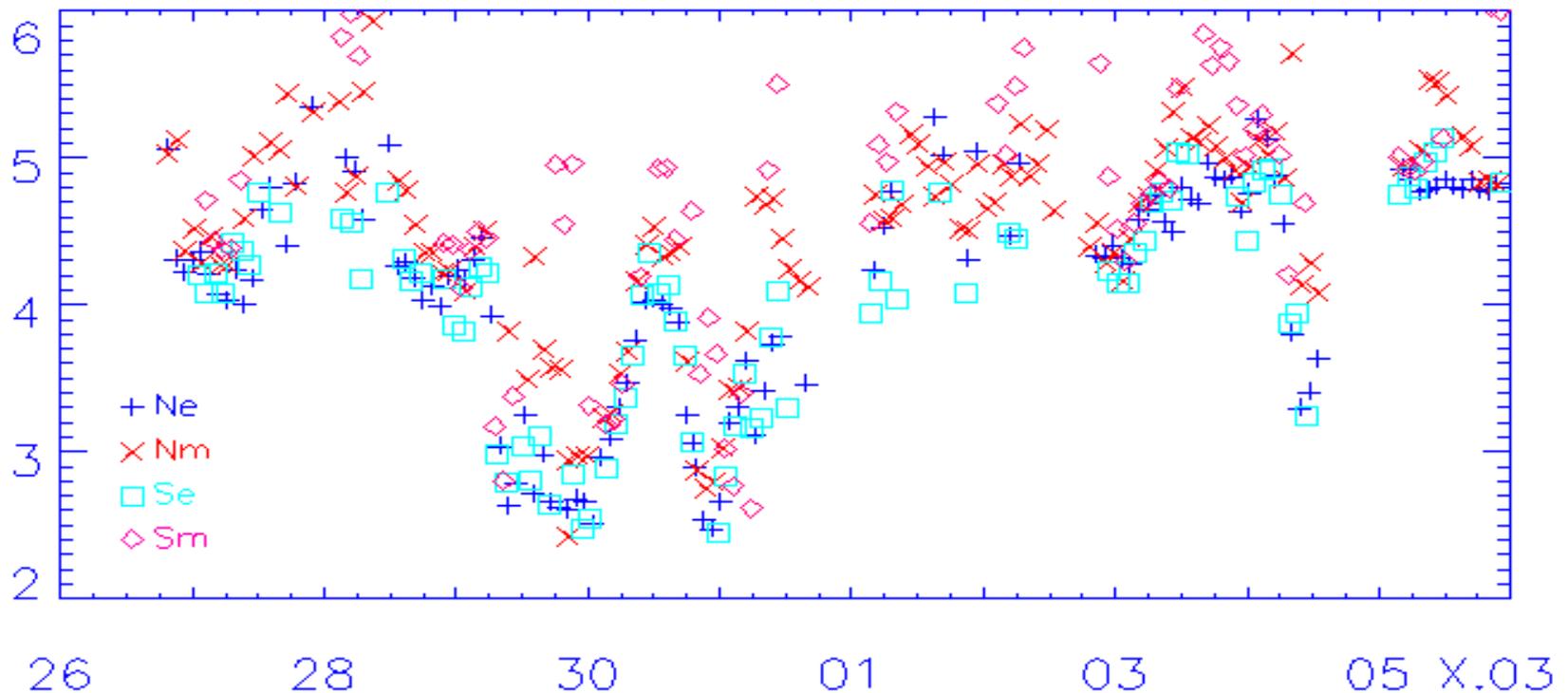
Несколько групп в США работает по модели инъекции СКЛ, в частности, проводится компьютерное моделирование ускорения частиц серфингового типа.



We discuss at SEE-05 the alternative model for the formation of new proton belts by low energy solar cosmic rays.

Альтернативная теория захвата СКЛ в протонный пояс докладывалась впервые на SEE-05.

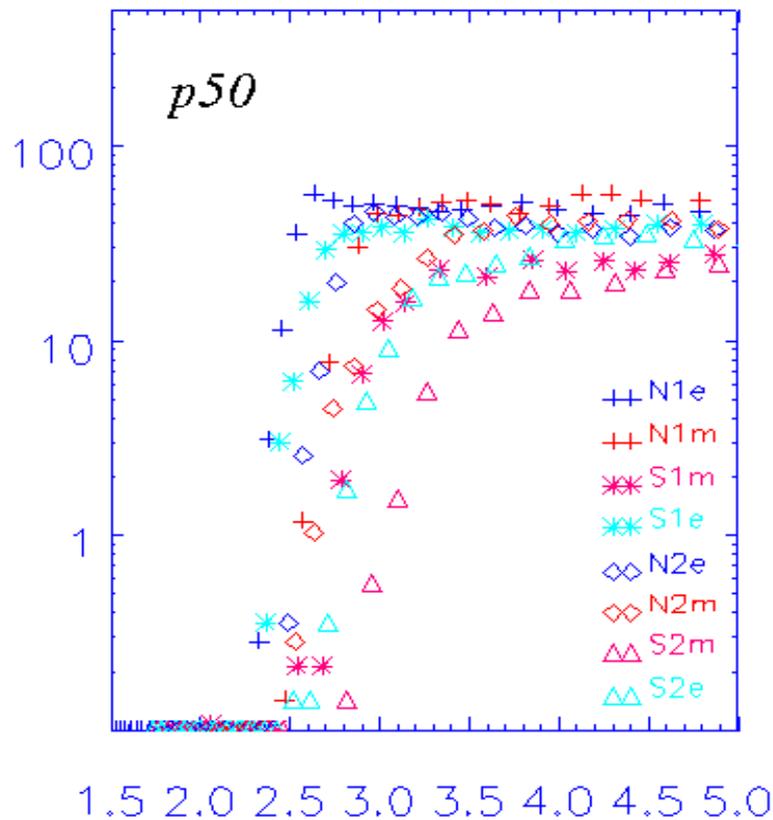
26.10–06.11. 2003



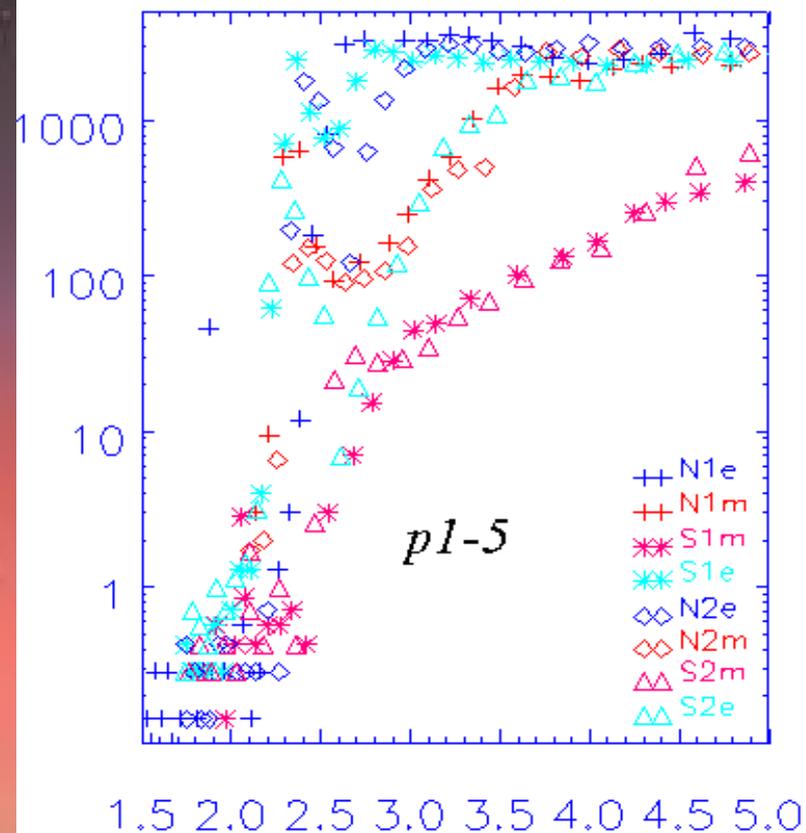
If solar protons are penetrating down to $L=2$, why cannot they remain there after the storm?

Если протоны СКЛ проникают в мсф. До $L=2$, почему они не могут оставаться там после бури?

30.X. 2235-0140 UT

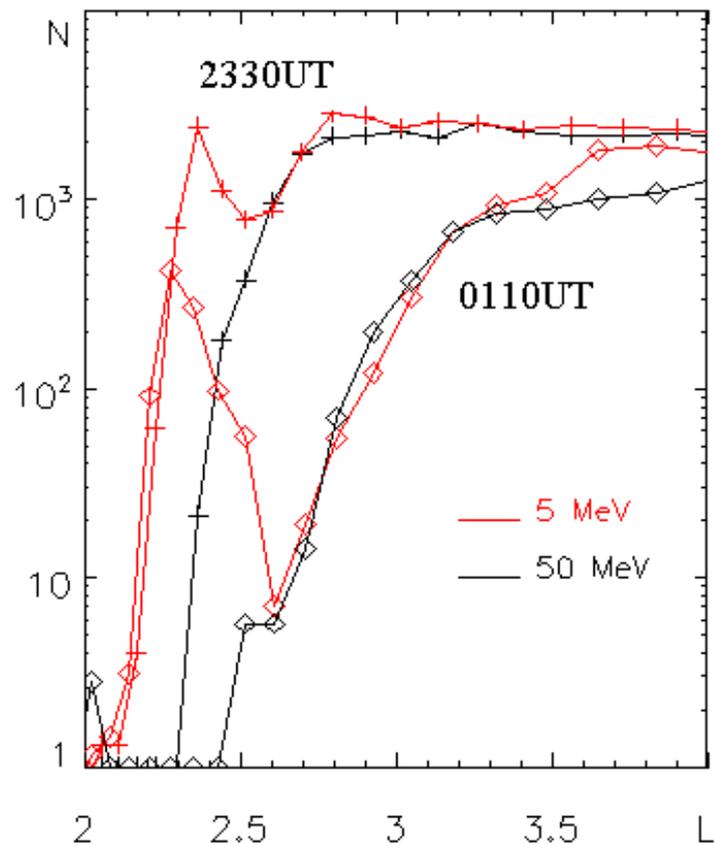


30.X. 2235-0140 UT

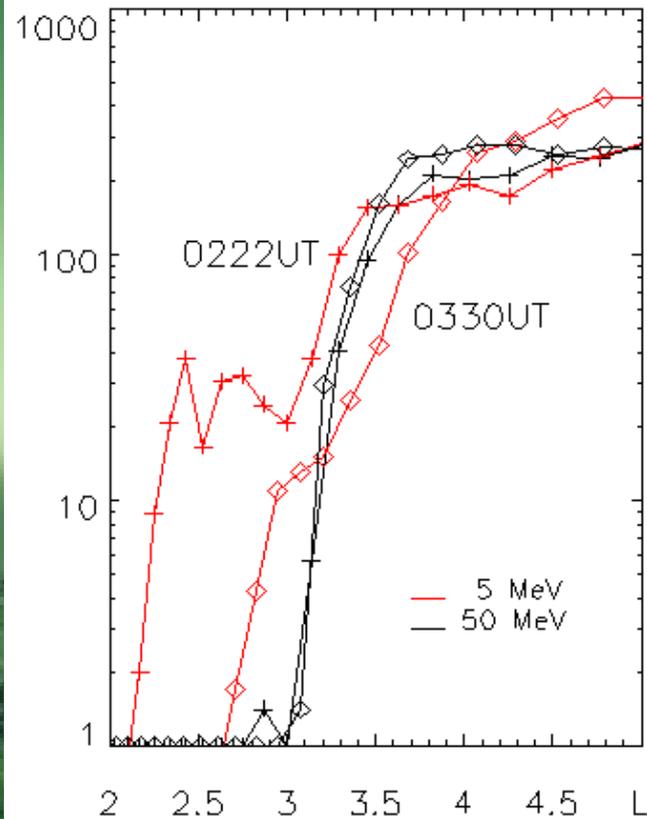


During extreme magnetic storm on October 29-30, 2003 double boundary effect was found on CORONAS-F measurements. Двойная граница 1-5 МэВ на фазе восстановления магнитной бури

30/10/2003 CORONAS-F



31/10/2003 Coronas-F



Внешняя граница 1-5 МэВ совпадает с ГП 50 МэВ

General idea of the trapping mechanism:

During the recovery of the magnetic field at the magnetic storm recovery phase protons will find itself at the closed shells if recovery time T_r is smaller than the magnetic drift period T_d . Adiabatic motion will be conserved only for energetic particles if

$$T_d \ll T_r$$

Which means that PB of 1 MeV protons will remain for some time at the old position while 50 MeV protons will trace the retreat of the PB due to recovery of the magnetosphere configuration.

Во время восстановления дипольной структуры магнитного поля протоны останутся на замкнутых дрейфовых оболочках если время восстановления T_r меньше периода магнитного дрейфа T_d (не сохраняется третий адиабатический инвариант). Для энергичных частиц $T_d \ll T_r$ и их траектории отстают вместе с ГП.

Typical time of the magnetosphere reconstruction equals to several minutes.

Magnetic drift periods for 1 MeV about 15 minutes therefore low energy protons will be transferred to the closed drift orbits and only recently arrived ones will follow latest PB position.

50 MeV protons magnetic drift period at $L=3$ is about 20 s.

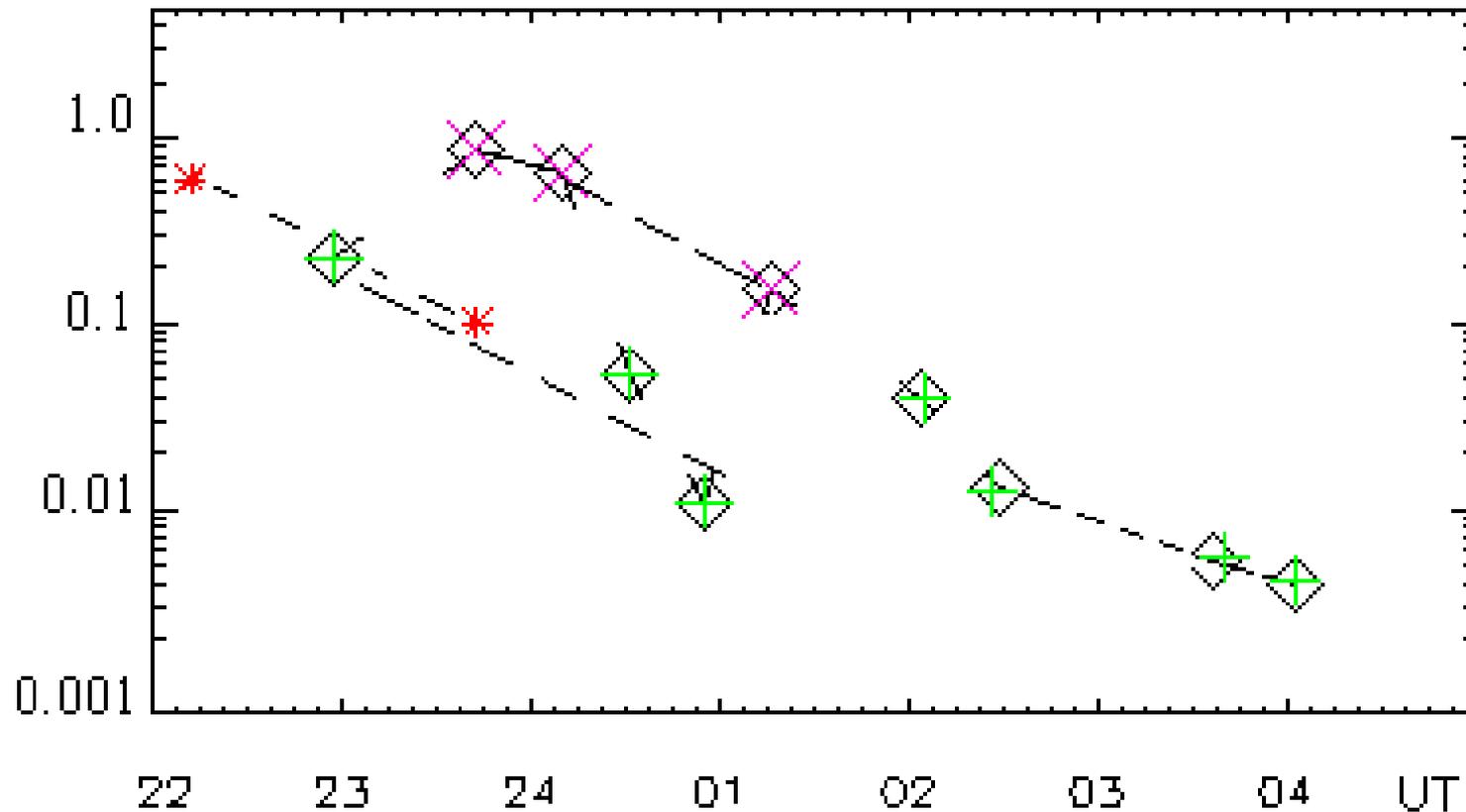
Magnetosphere reconfiguration will be too slow for them. Adiabatic invariant will be conserved and therefore fast drifting energetic protons will trace latest position of the penetration boundary.

Типичное время перестройки магнитосферы – несколько минут. Период магнитного дрейфа 1 МэВ = 15 минут,

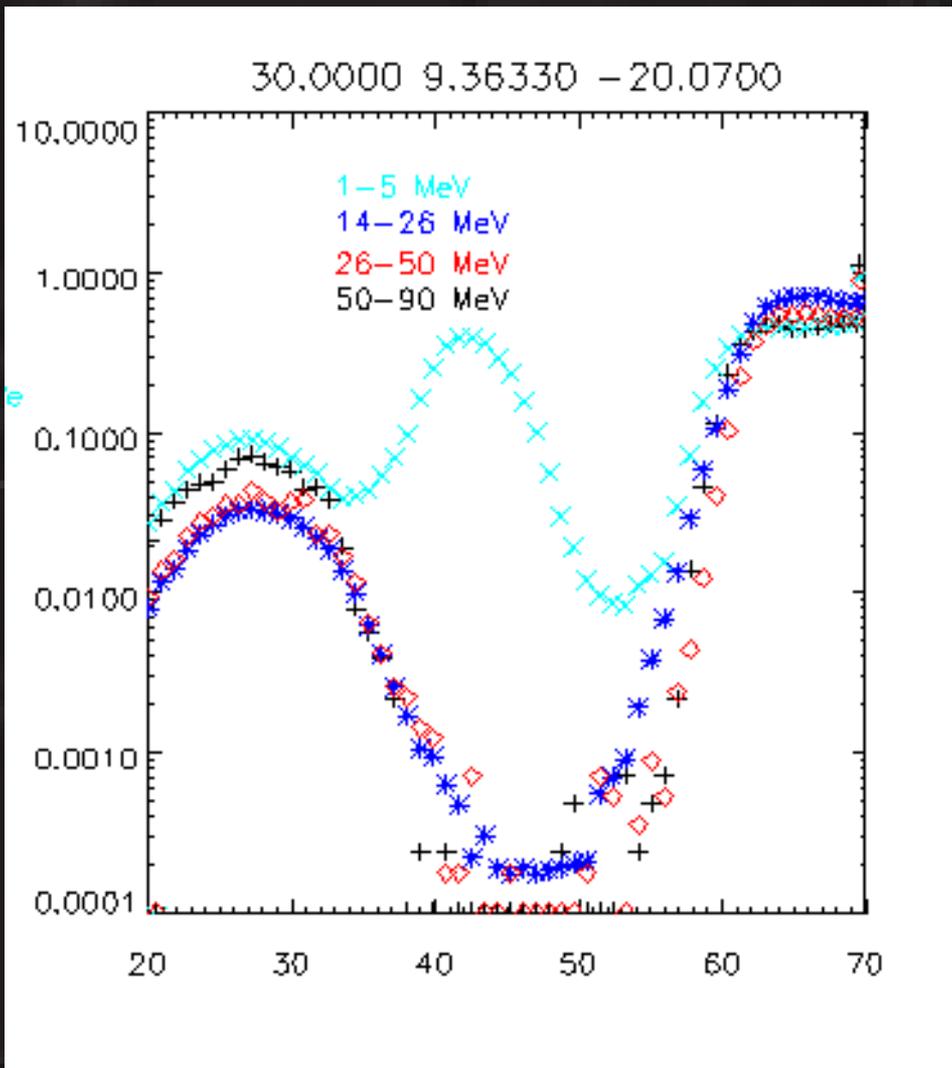
Частицы уже находящиеся в магнитосфере, захватываются, свежие следуют по новой ГП.

50 МэВ = 20 сек. Частицы дрейфуют практически при неизменной конфигурации. ГП медленно сдвигается от Земли.

30 -31 October 2003 Coronas-F



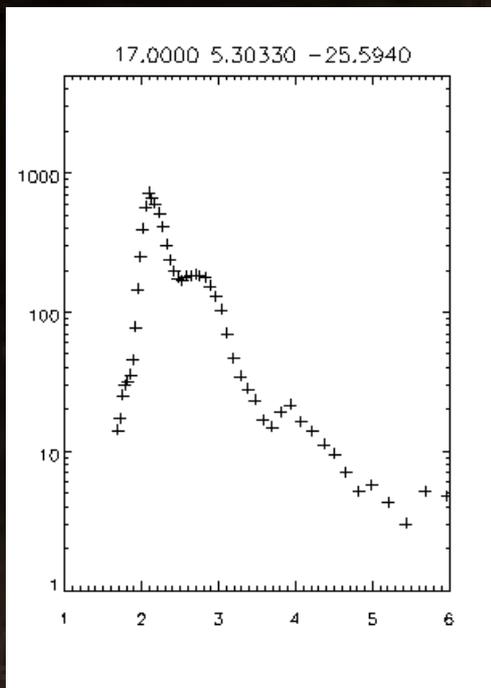
Поток протонов вблизи конуса потерь быстро падает, т.к. нет диффузии по питч-углам, но пойманные частицы остаются надолго, это видно в пролетах над Бразильской Магнитной Аномалией (БМА)



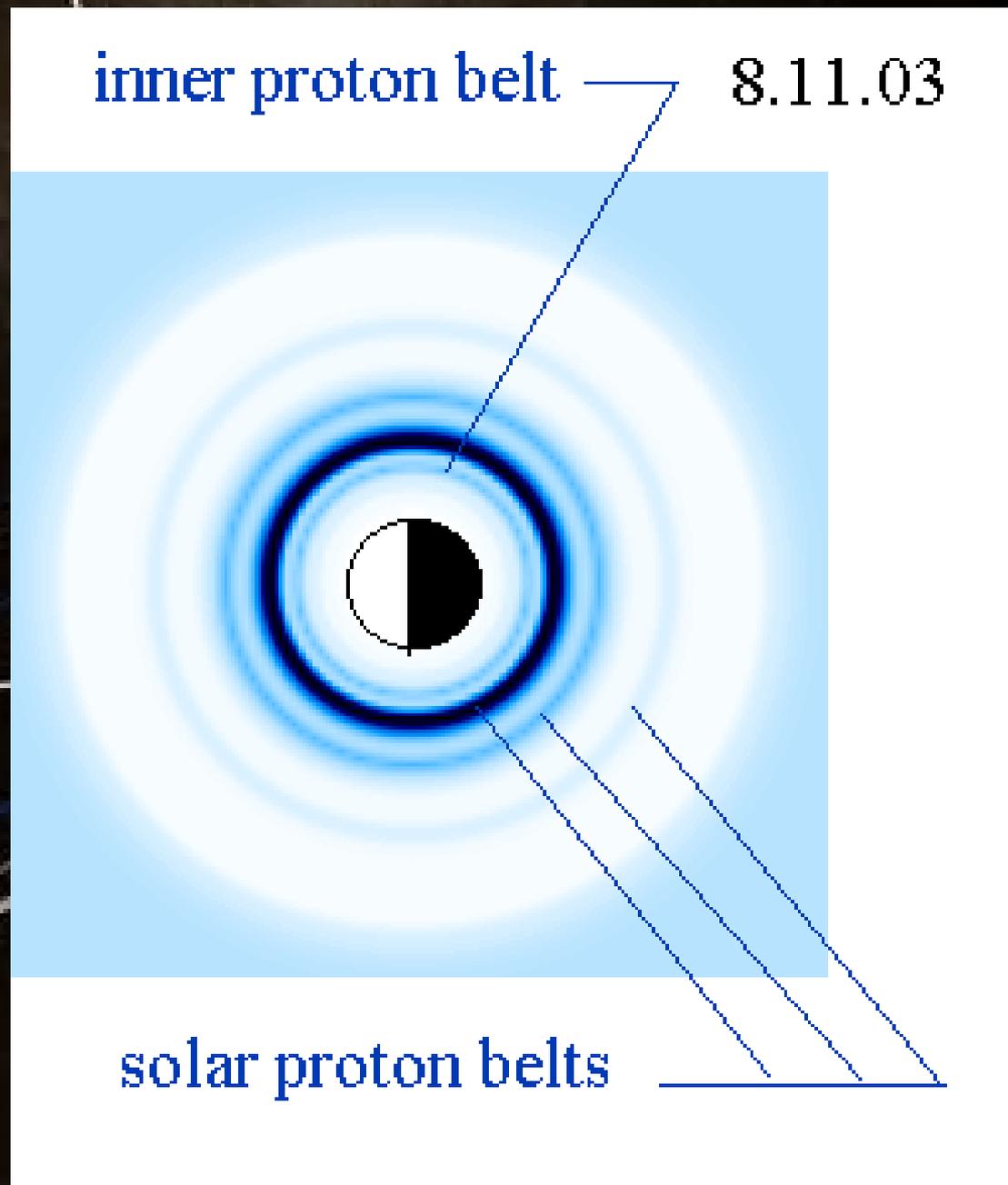
Decrease of the precipitating protons does not mean that trapped protons disappear as well.

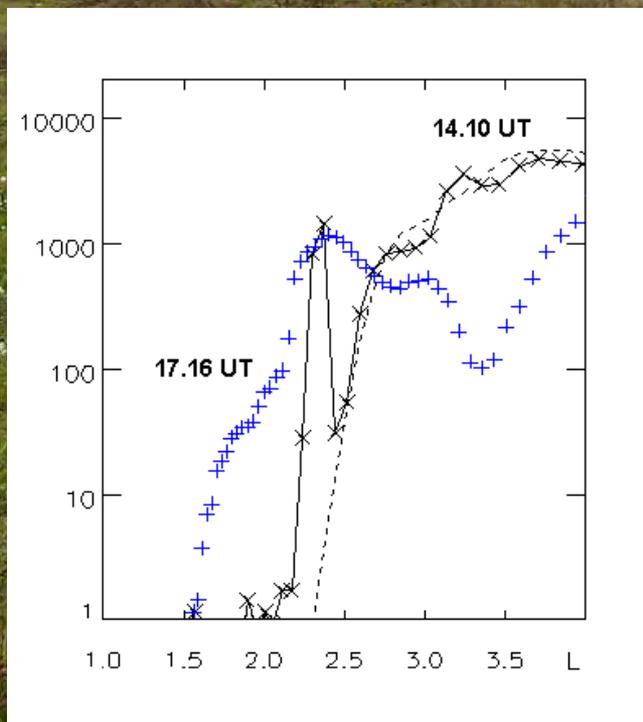
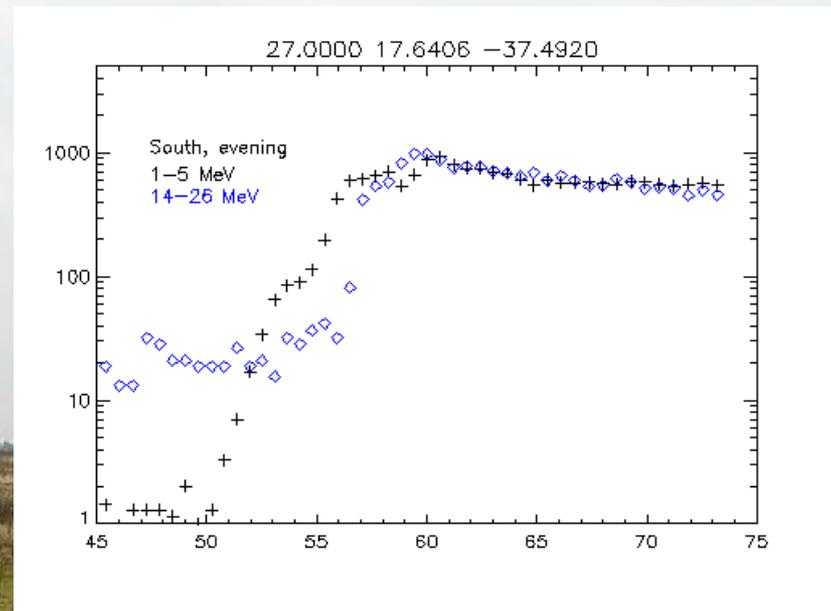
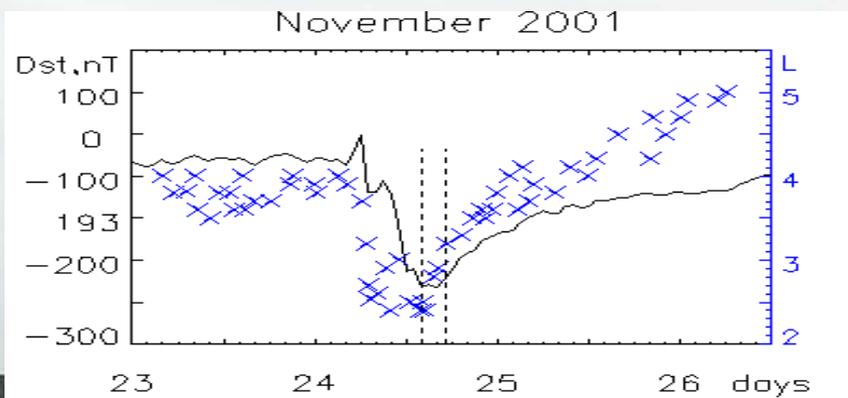
We can see freshly trapped SCR over the BMA.

Видны захваченными
на $L \sim 2.1$ только
протоны 1 МэВ



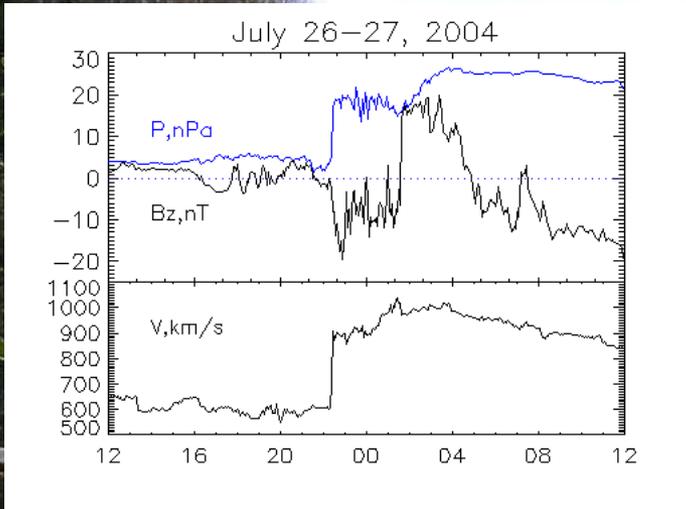
**После маг.бурь
30.10 и 04.11.03
образовалось
три протонных
пояса СКЛ**





Анализ измерений протонов в нескольких магнитных бурях подтвердил модель прямого захвата протонов на фазе восстановления магнитной бури.

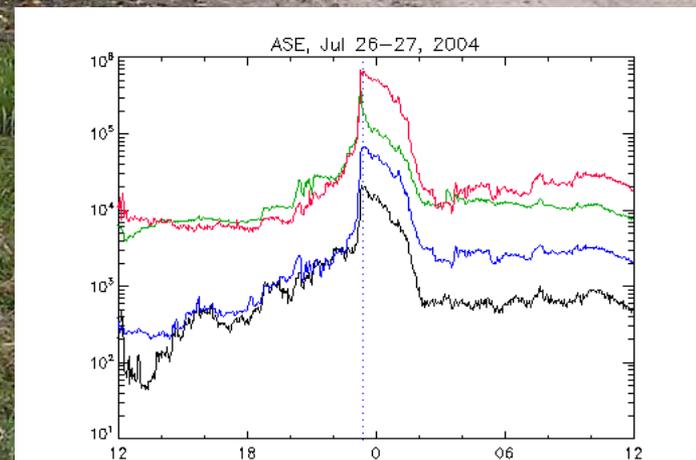
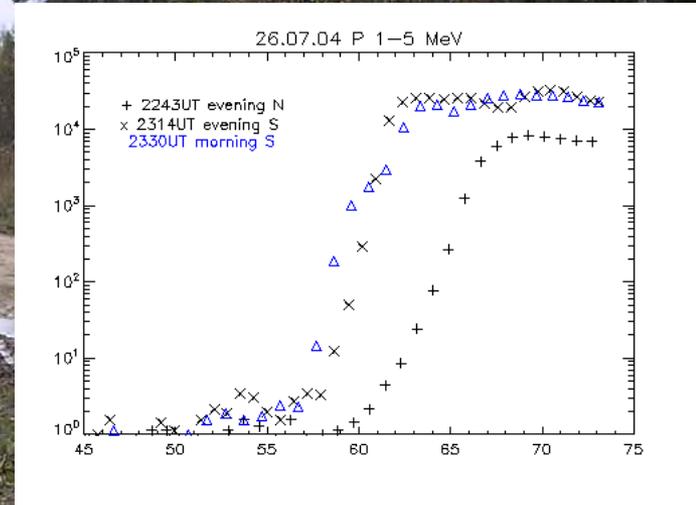
Возрастание в момент SC было найдено лишь однажды, но и в этом случае оно было вызвано ускорением на ударной волне в межпланетном пространстве.



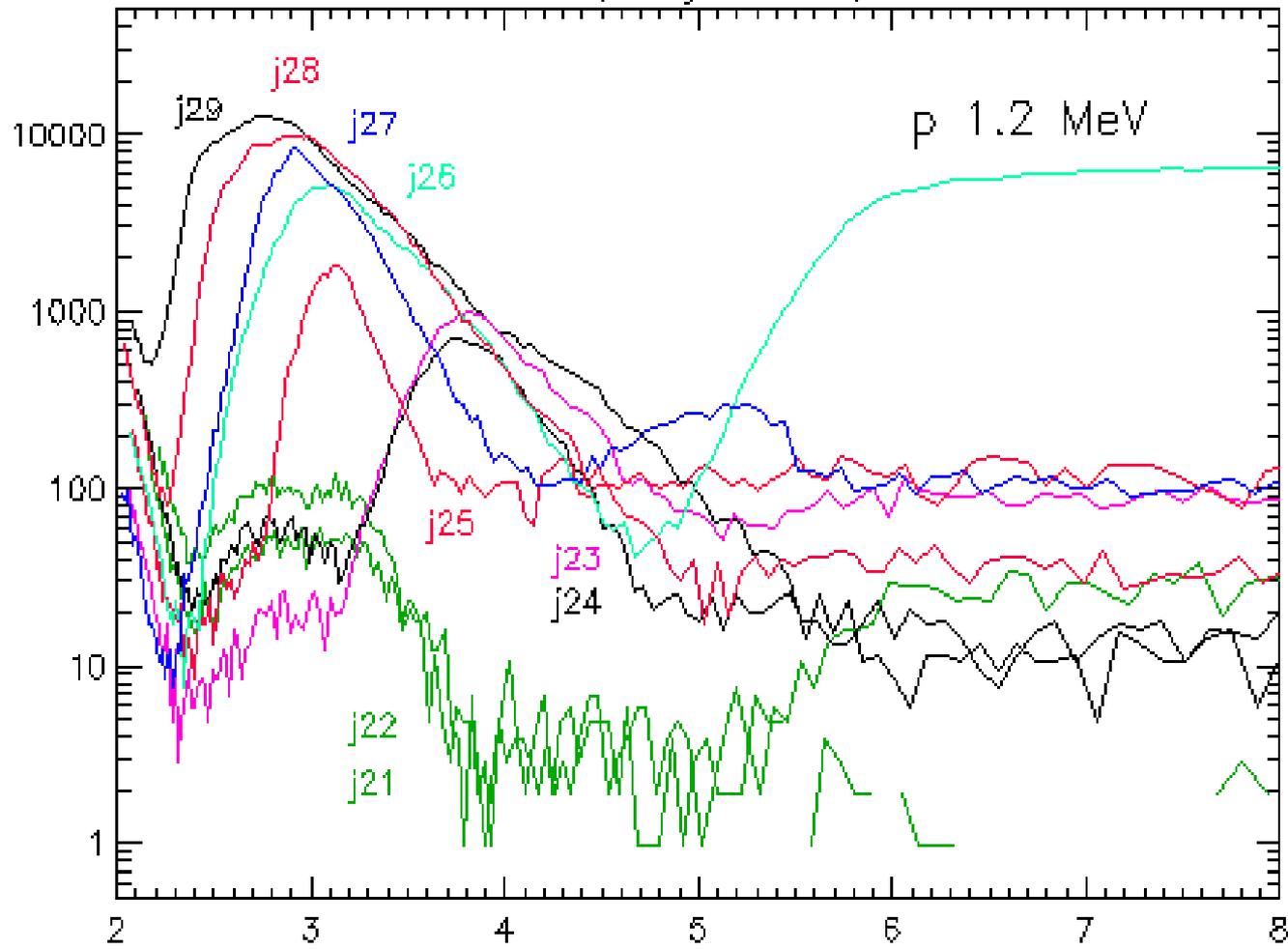
SW pressure and velocity pulse during SC

Coronas-F radial profiles before and after SC

Proton intensity increase was observed in the intrplanetary space and all over the polar cap and therefore cannot be associated with SC-injection



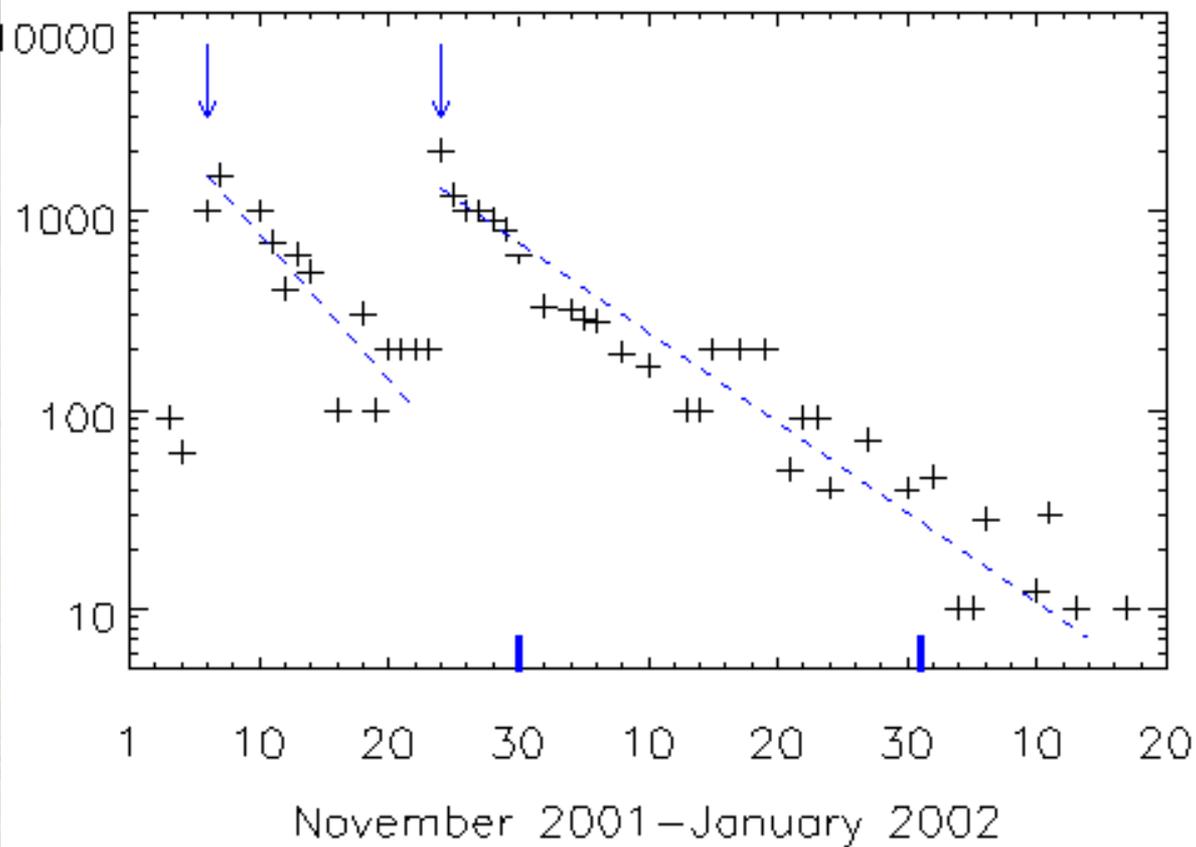
SERVIS-1, July 20-30, 2004



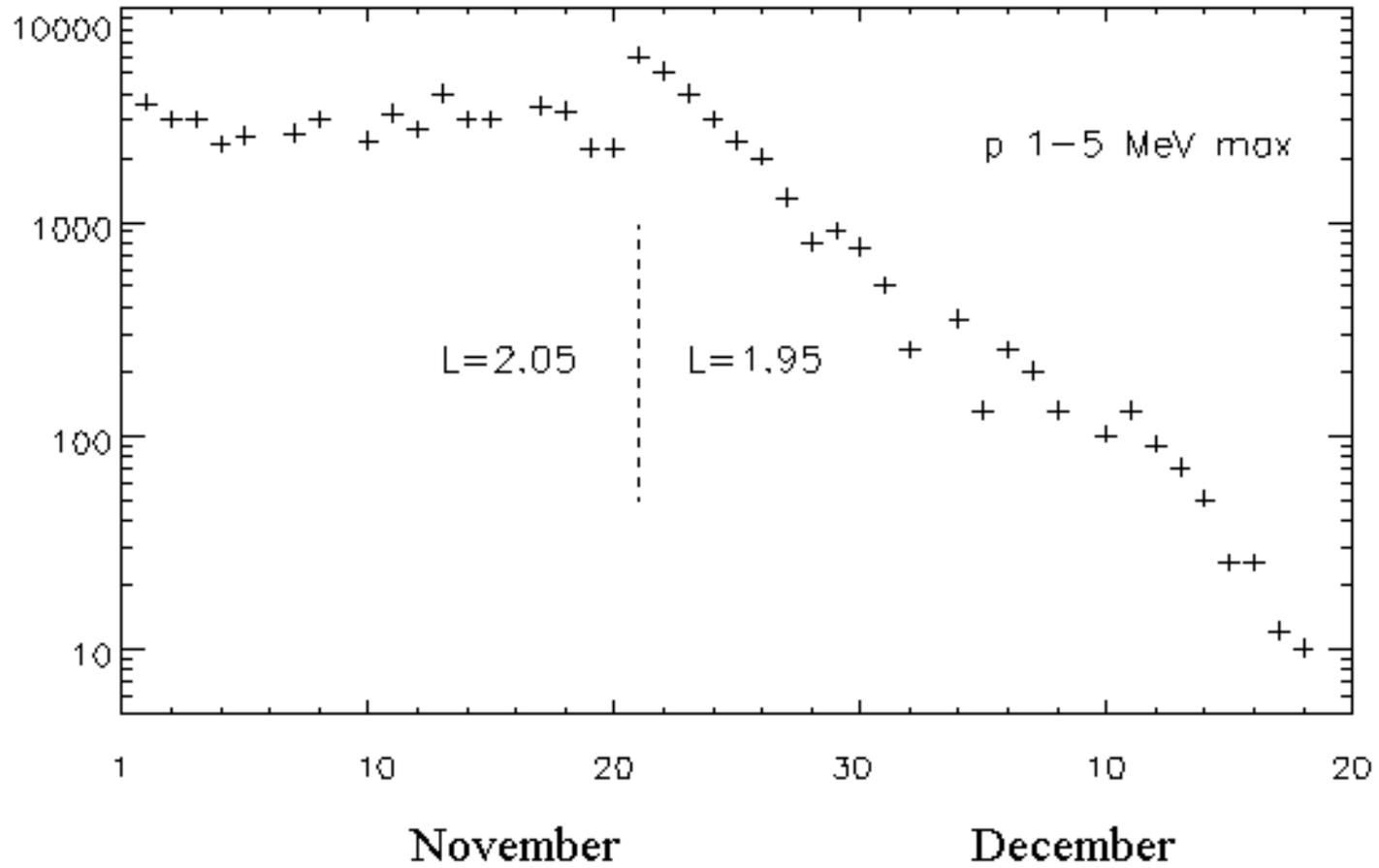
Ускорение захваченных протонов СКЛ во время июльской бури 2004г.



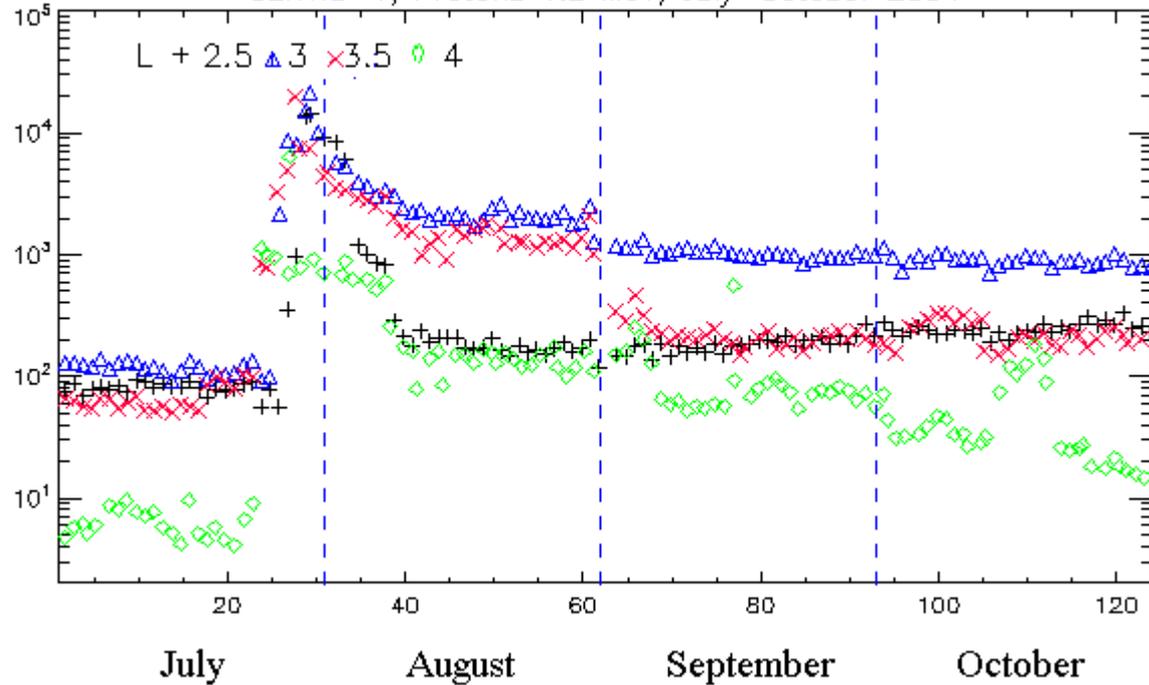
Coronas-F, 1-5 MeV, L=2.5-3.0

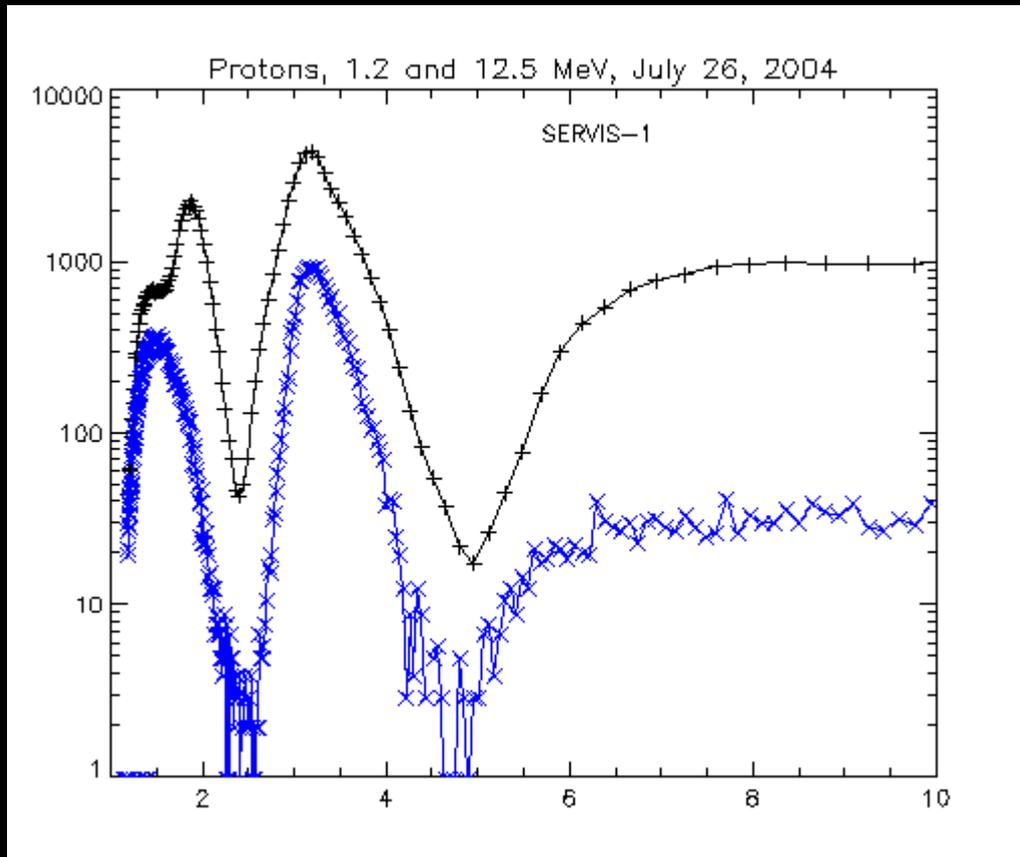


November - December 2003

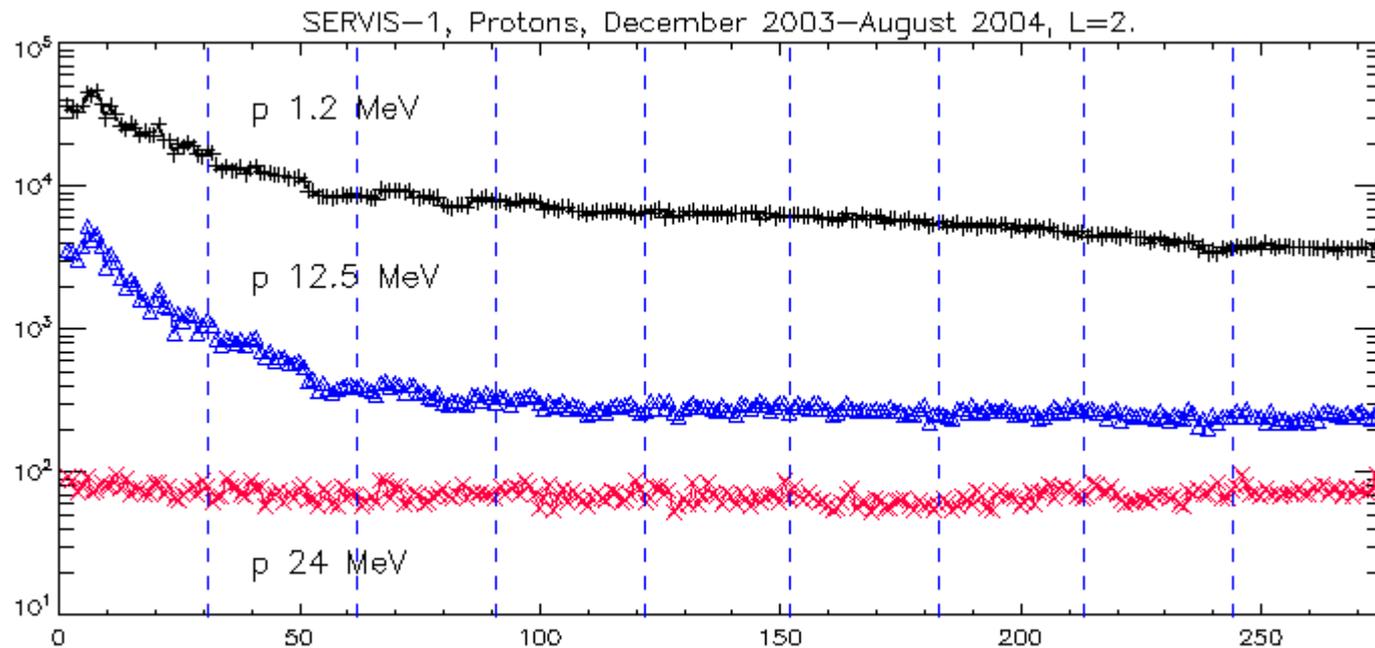


SERVIS-1, Protons 1.2 MeV, July–October 2004



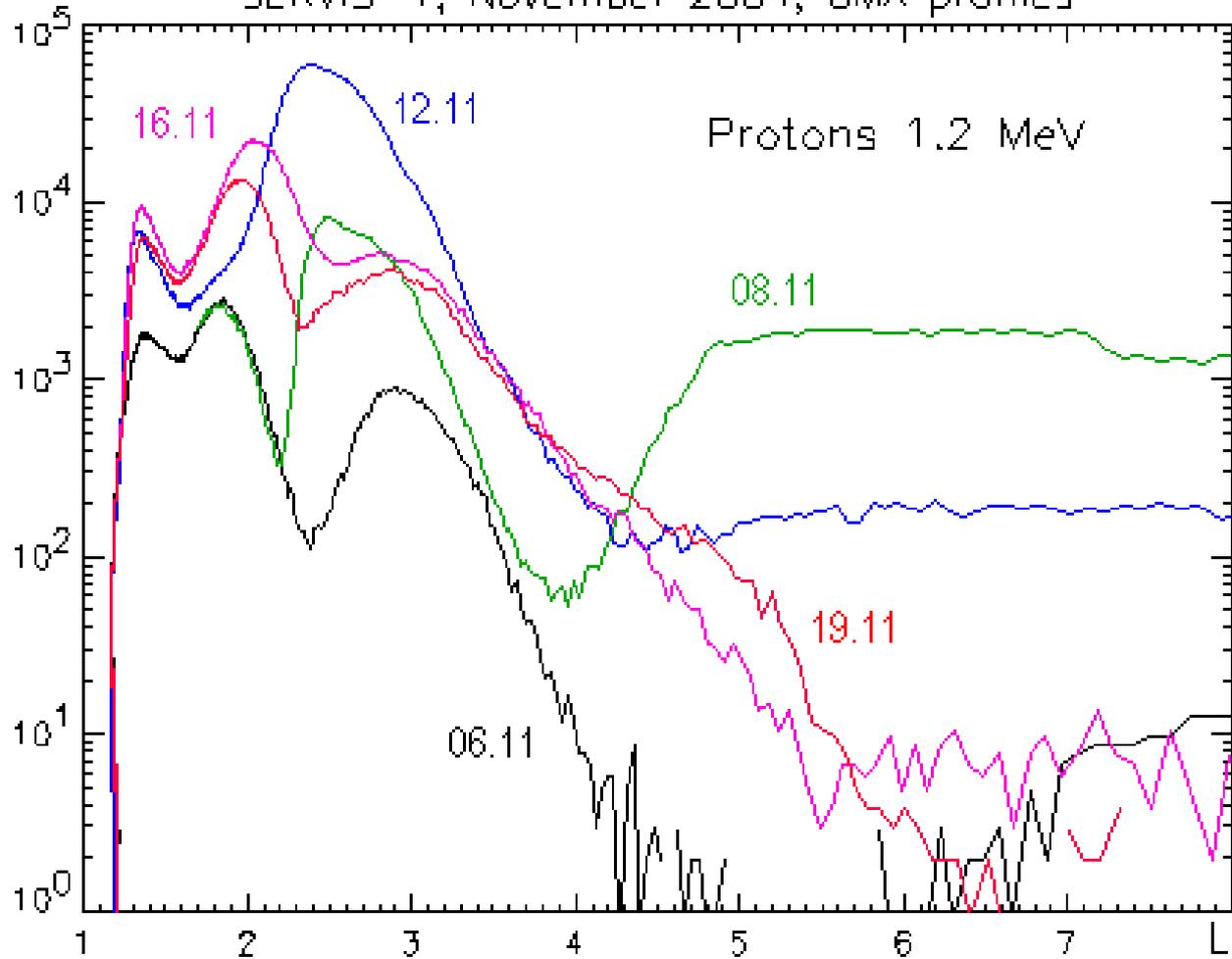


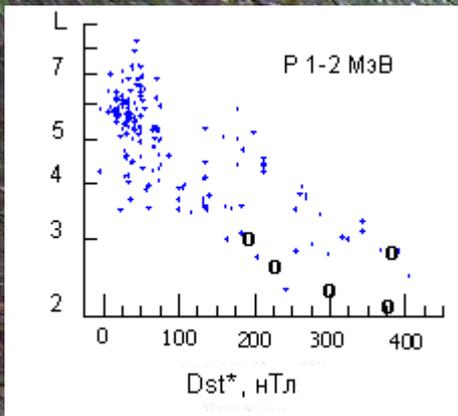
Протонный
максимум на $L=1.9$,
возникший
31.10.03,
сохранился до июля
2004 г.



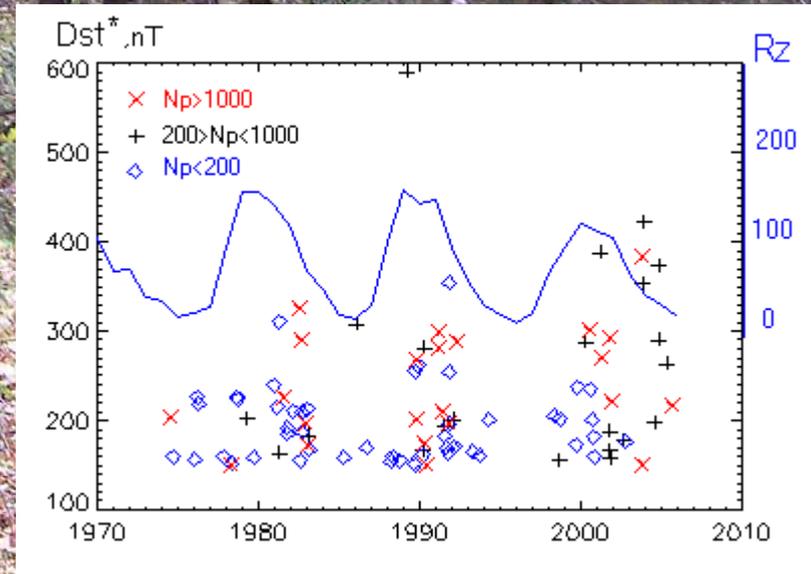
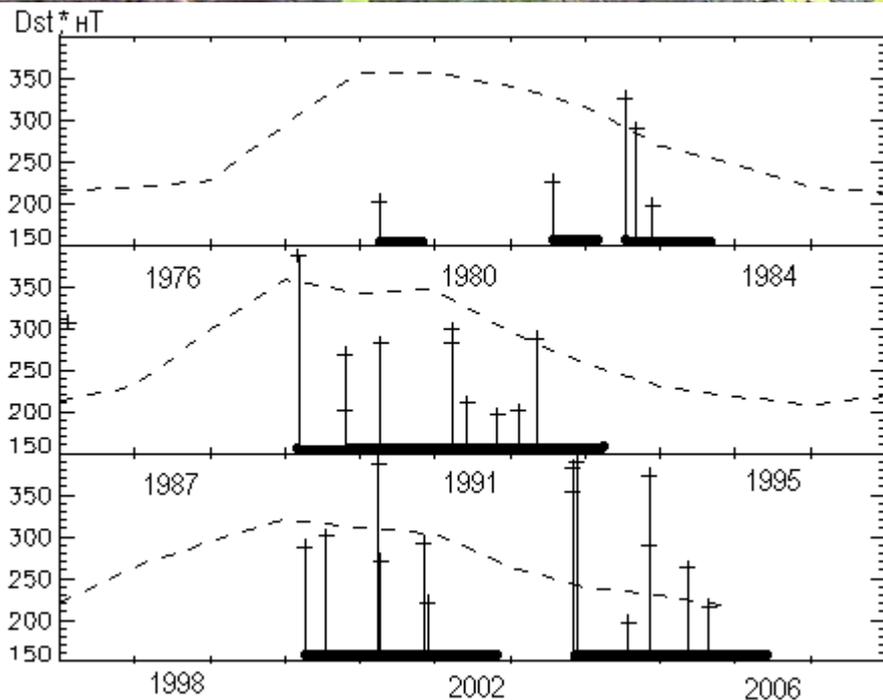
На спутнике Сервис-1 спад протонного пояса медленнее, чем на высоте 500 км, следствие захваченного распределения протонов в поясе.

SERVIS-1, November 2004, BMA profiles





Оценка
 эффективности
 заполнения
 протонного пояса
 захватом СКЛ за три
 11-летних цикла



CONCLUSIONS

- During strong magnetic storms proton radiation belt may be essentially changed. Earthward and outward movements of the PB may sweep away previously stably trapped particles and bring new belt population.
- SCR acceleration and trapping by SC injection cannot be regarded as a effective source of the proton radiation belt.
- Solar cosmic rays became trapped to the proton belt ($L = 2 - 4$) during the recovery of the magnetosphere configuration (outward shift of the penetration boundary) at the strong magnetic storms.
- 1. Relative amount of the trapping SCR depends on the energy as $\sim E^{-2}$. Cutoff energy may be as low as 4 MeV and sometimes more than 15 МэВ.
- 2. In a new SCR radiation belt flux of the precipitating particles disappears in few hours and stable trapping regime took place.
- After magnetic storm trapped proton flux remains at the enhanced level for months (and years at $L \sim 2$) decreasing first with characteristic time of 15-30 days and then ten times slower.
- Decay of the SCR belt strongly depends on the energy, so only 1-5 MeV protons remains at enhanced level after several months.
- About 50% of the 11-year cycle 1-5 MeV proton belt created by solar cosmic rays, remaining half of time – by traditional radial diffusion process.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Во время сильных магнитных бурь наблюдается выброс протонов пояса на главной фазе и захват протонов СКЛ с ускорением на 1-3 порядка.
- Модель захвата SC-инжекцией не подтверждается, экспериментальные данные подтверждают модель захвата на фазе восстановления магнитной бури.
- Эффективность захвата велика для протонов 1-5 МэВ и падает с ростом энергии.
- После магнитной бури поток протонов 1-5 МэВ остается на возмущенном уровне месяцы (и годы на $L \sim 2$), уменьшаясь на характерным временем 15-30 дней и затем — медленнее на порядок.
- Скорость спада быстро растет с энергией и через несколько месяцев поток протонов 15 МэВ спадает до нормы (по крайней мере на высоте 1000 км).
- Половину 11-летнего цикла источником протонного пояса являются протоны СКЛ, другая половина обеспечивается традиционным механизмом радиальной диффузии.