

To the memory of
Michail Pudovkin,
Sveta Zaitceva,
Yury Maltsev

STORM-SUBSTORM RELATIONS

L. Lazutin / SINP/

SUBSTORMS
MAG

Storms and substorm are certainly related, because the source of energy is the same (solar wind). *Суббури и бури питаются от общего источника энергии*

- Are storm- substorms different? And how? *Чем отличаются штормовые суббури?*

- Are substorm activities important for the magnetic storm development? And how? *Каков вклад суббурь в развитие мировых бурь?*

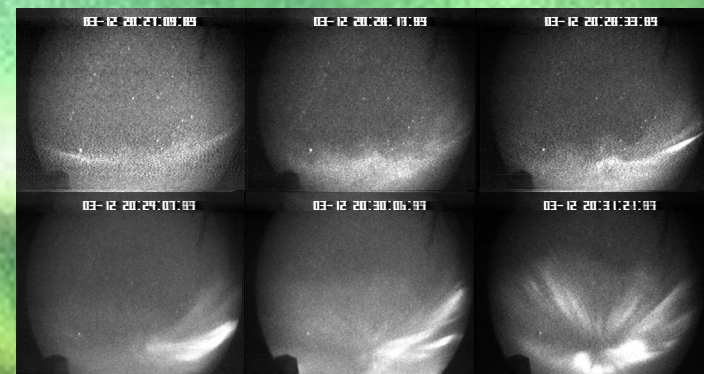
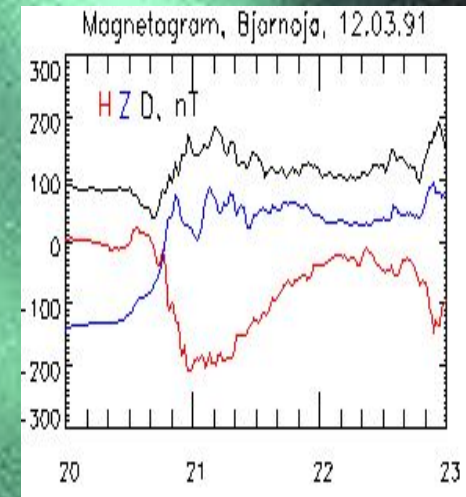
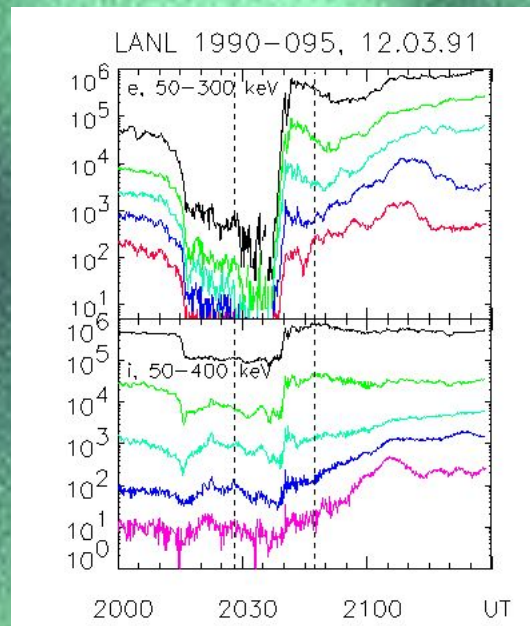
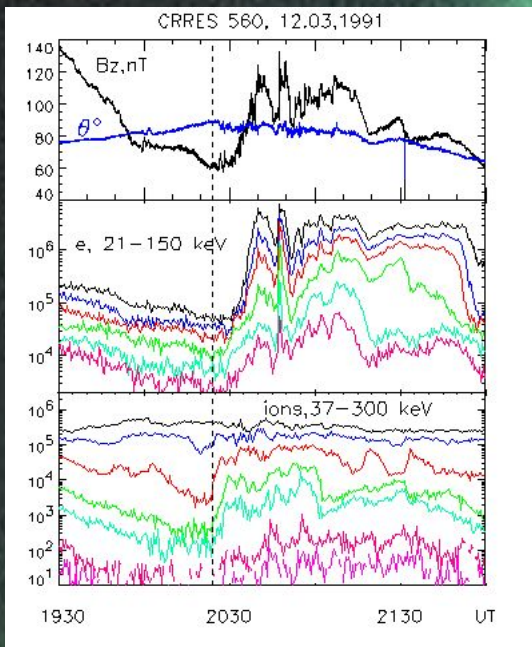
- The importance of Dst. Other storm signatures. *Является ли Dst главным индексом бури?*

- Conclusion *Заключение*

Three types of magnetic activity

Три класса магнитной активности

- Permanent activity Outer magnetosphere Polar cap minutes
- *Перманентная* *Внешняя мсф.* *Шапка* *минуты*
- Substorm activity Quasi-trapping region Hours
- *Суббури* *Область квазизахвата* *Авр. зона* *Часы*
- Global
- Magnetic storms Inner magnetosphere Days
- Магнитные бури* *Внутренняя мсф.* *Дни*

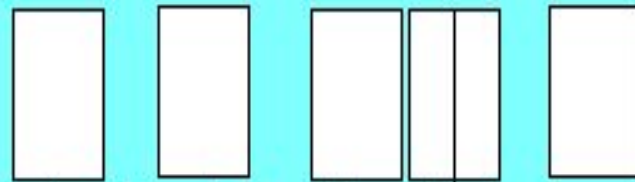
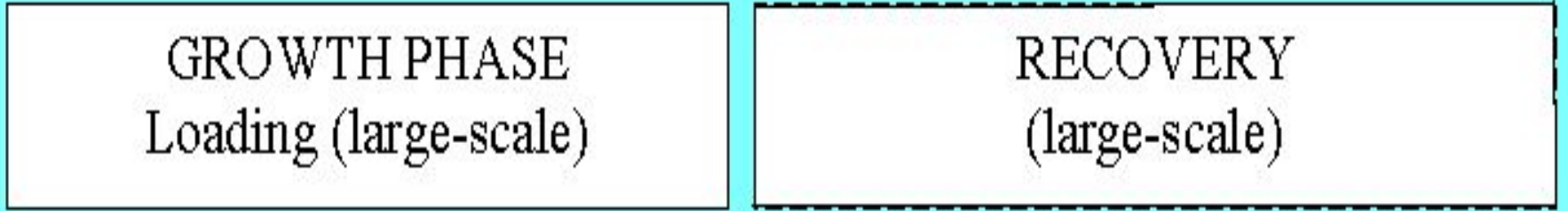


SUBSTORMS
MAGSTORMS

a



b



local active events (activations, breakup, pseudobreakup, WTS)

←—————→ time

покальные активизации, брейкап, псевдобрейкап, WTS

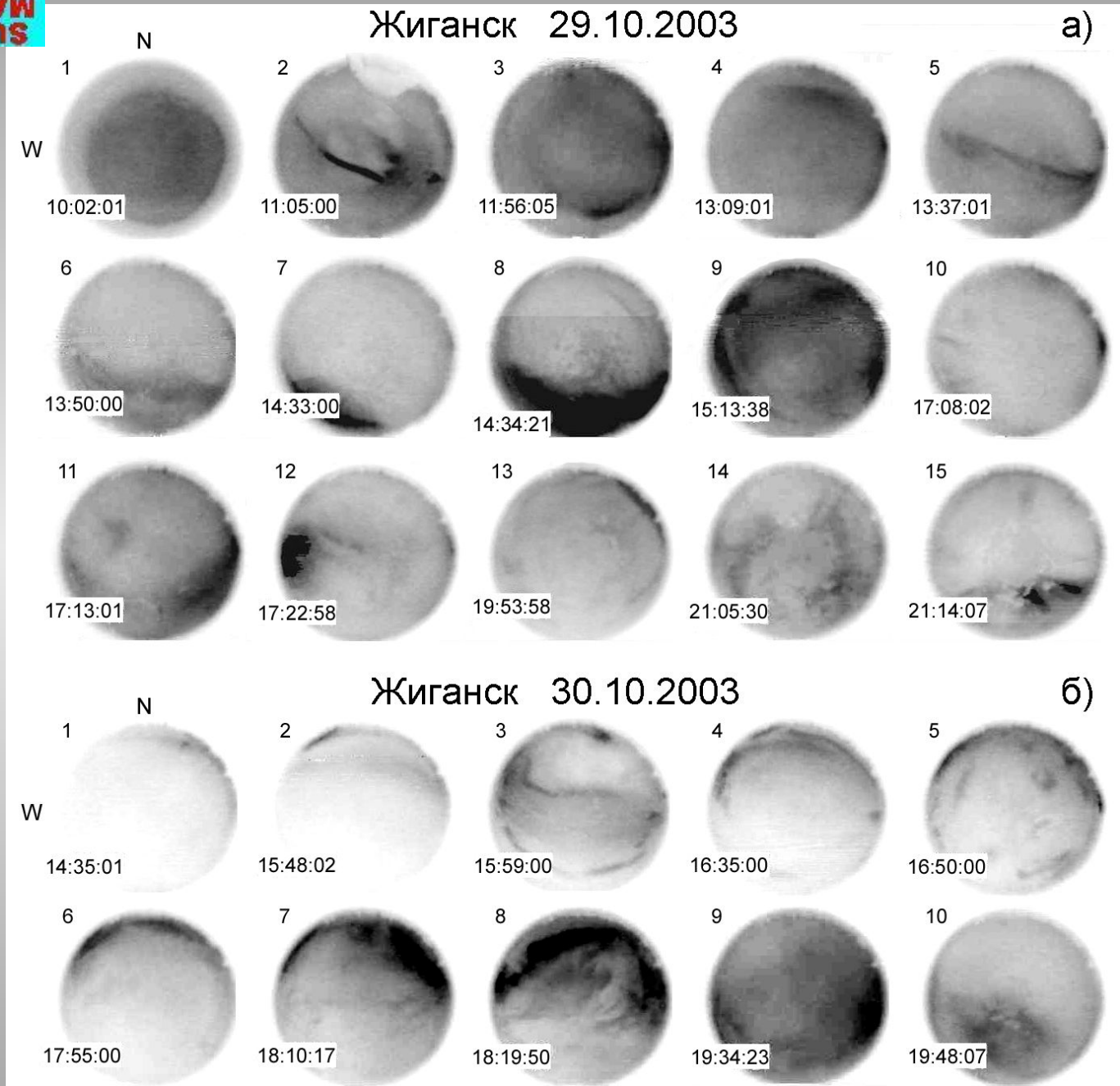
**SUBSTORMS
MAG**



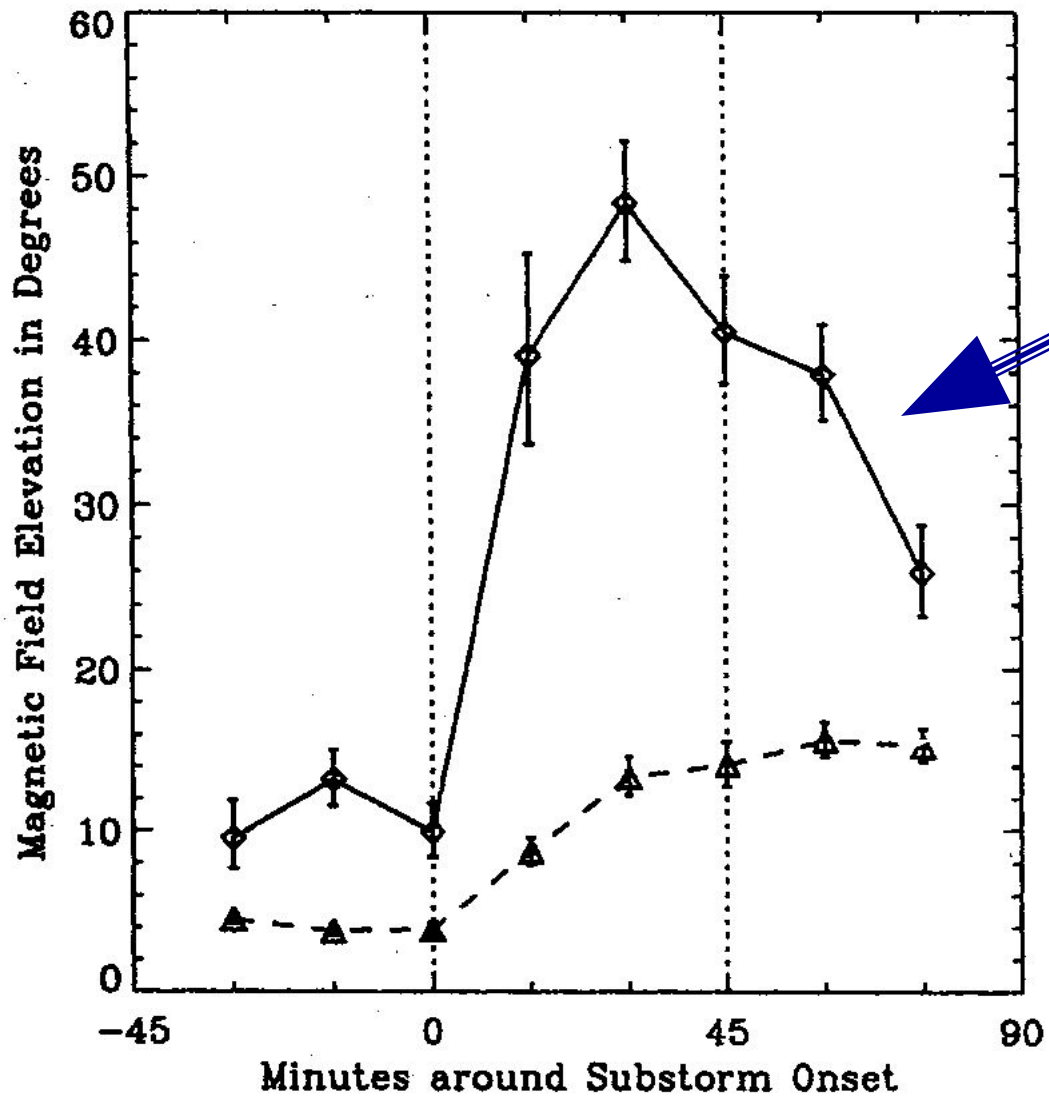
30.10.2003

Troitsk , Moscow region

Shafer Institute
of
Cosmophysical
Research and
Aeronomy,
Yakutian
Scientific
Center, Siberian
Division, RAS

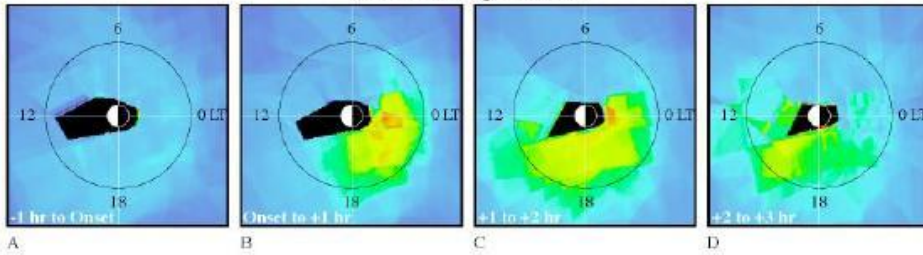


Изменение наклона силовой линии после брейкапа



Storm-sub
storms

Isolated Injections



Storm-Time Injections

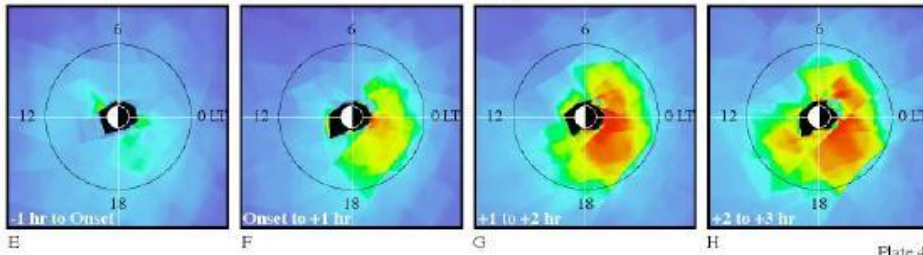
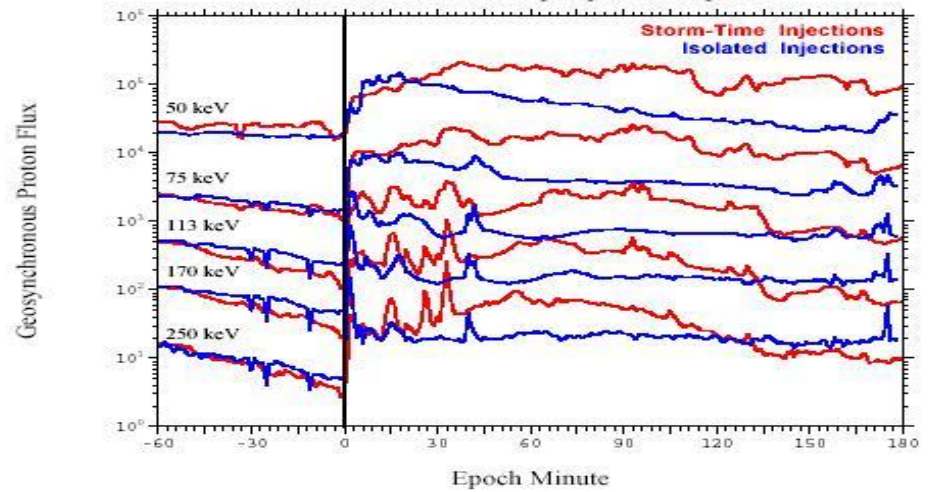
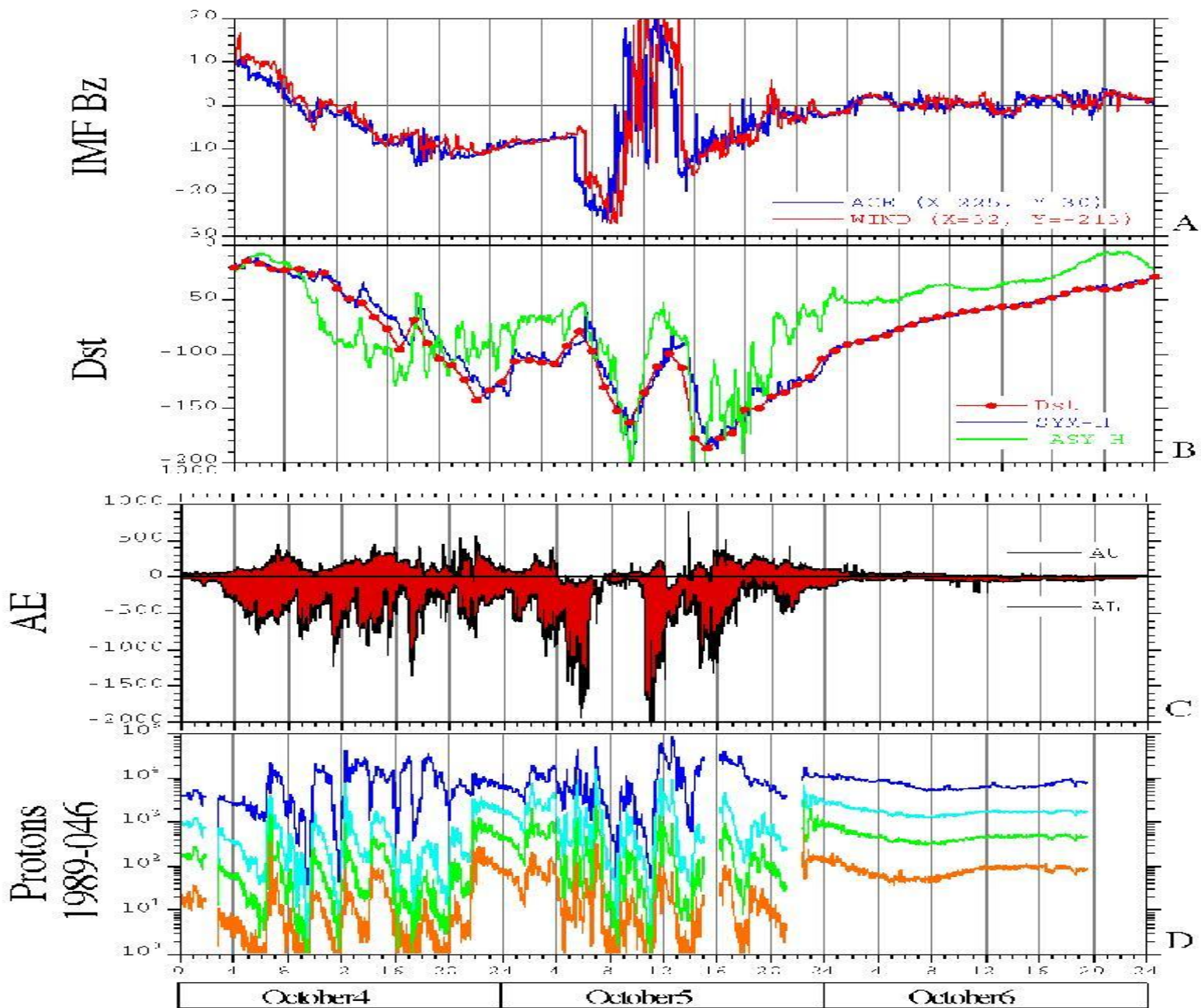


Plate 4

LANL Proton Superposed Epoch



SUBSTORMS



SUBSTORMS
MAG

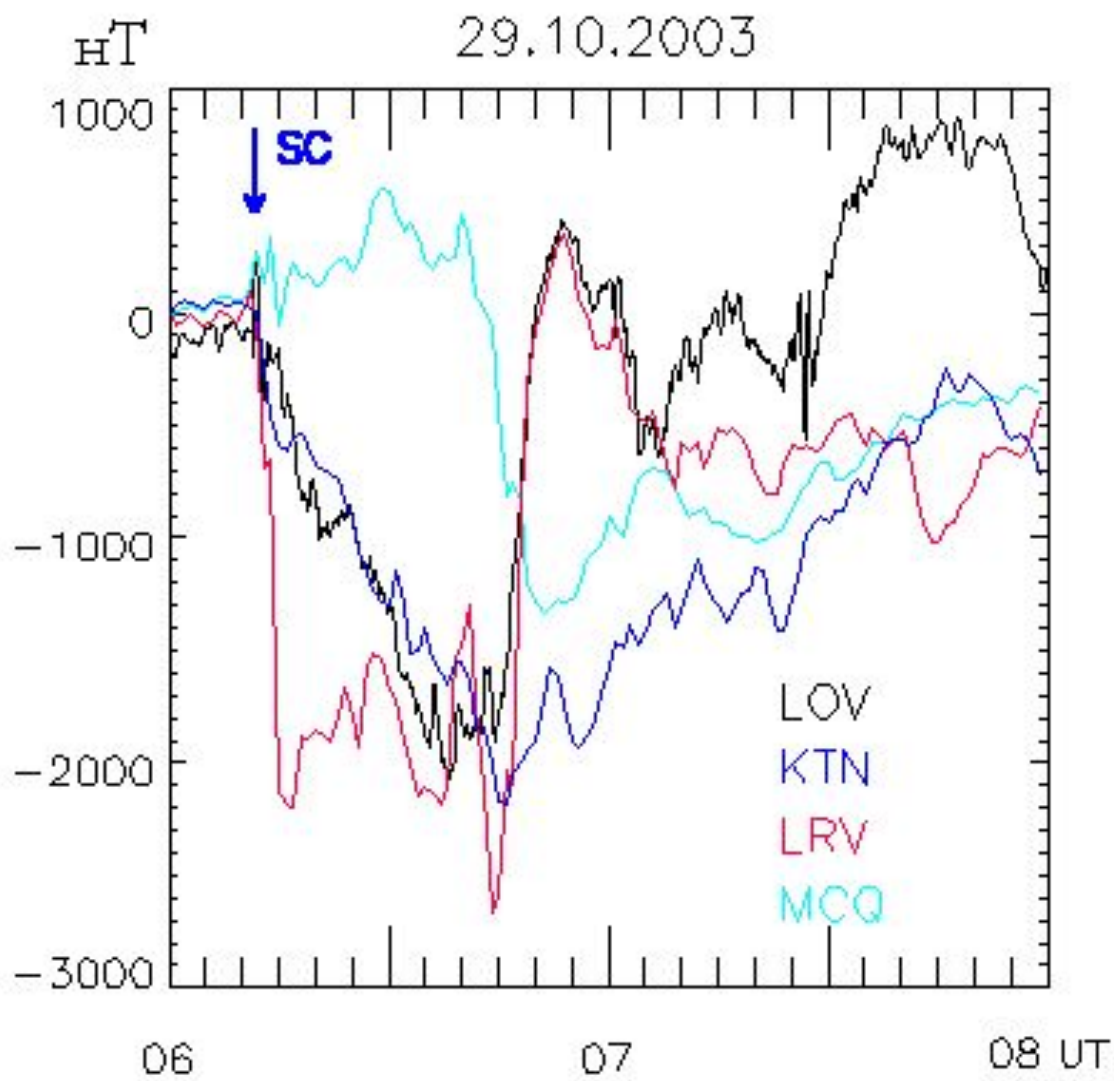


IMAGE FUV data on 2003-10-29

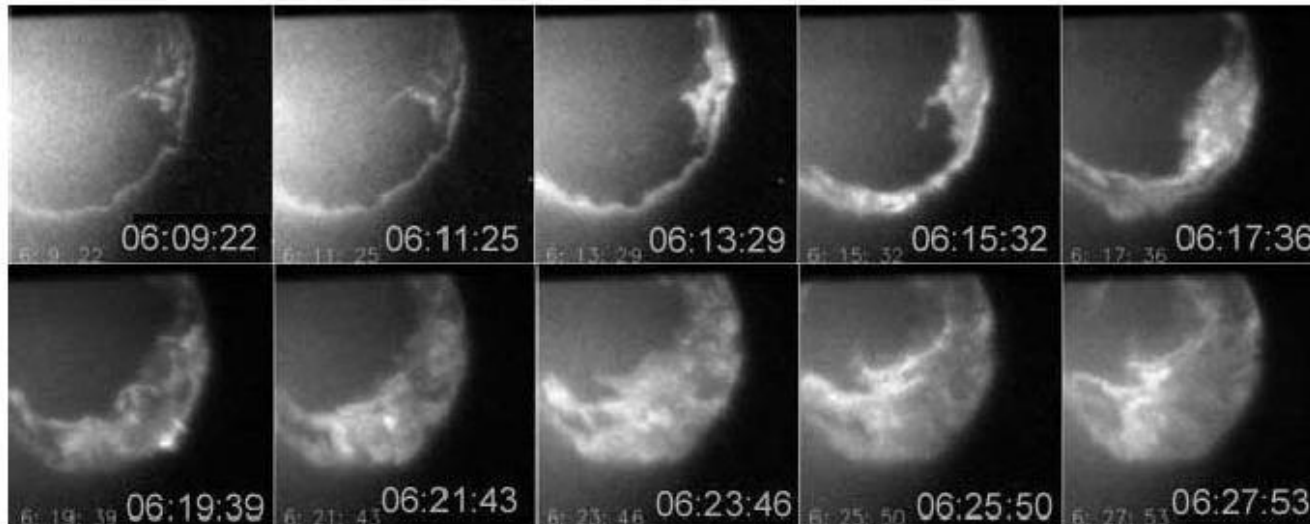
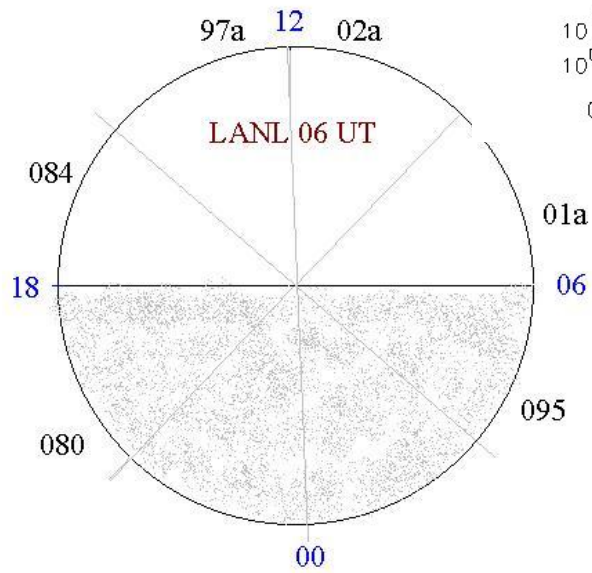
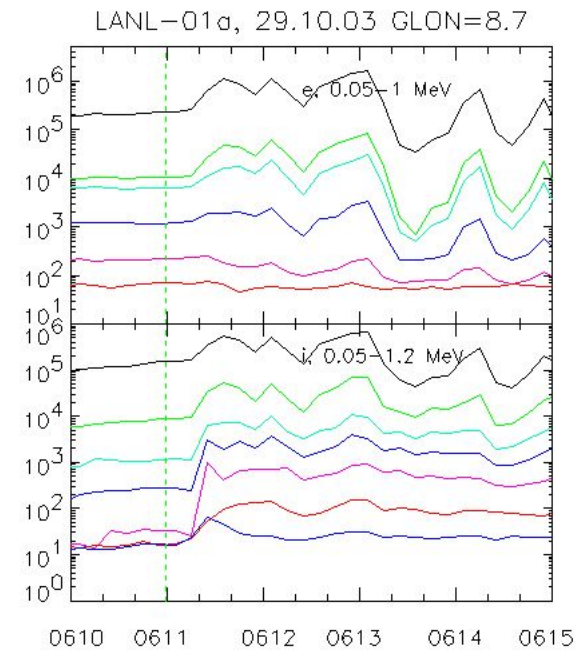
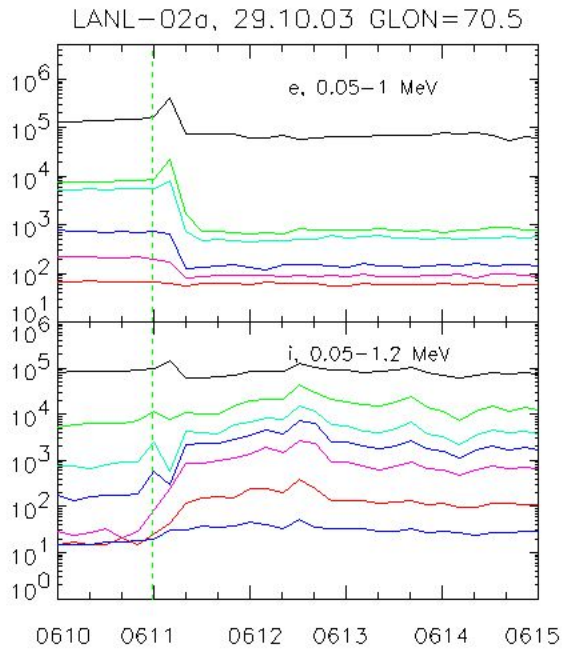


Figure 5: IMAGE-FUV data at 06:09-06:28 UT on 2003-10-29.



Magnetic storms generated by interplanetary magnetic clouds are often found to lack classical substorm expansion phases. The typical auroral dynamical features at the peak of storm main phases are north-south aligned patches having physical sizes of ~ 15 deg longitude by ~ 5 deg latitude. The patches only last ~ 3 to 6 min (Tsurutani).

В магнитных бурях вызванных межпланетными магнитными облаками суббуревая активность идет без фазы экспансии - есть лишь активизации в виде отрезков N-S дуг длительностью 3-6 минут.

Storm-substorms *Суббури во время бури*

1. Main features are similar to ordinary substorms.

Основные свойства те же, что и у обычных суббурь

2. Equatorial boundary is shifted to middle latitudes, while polar boundary may move to lower or higher latitudes

Экваториальная граница сияний сдвинута к средним широтам, полюсная граница может сдвигаться на более низкие или более высокие широты.

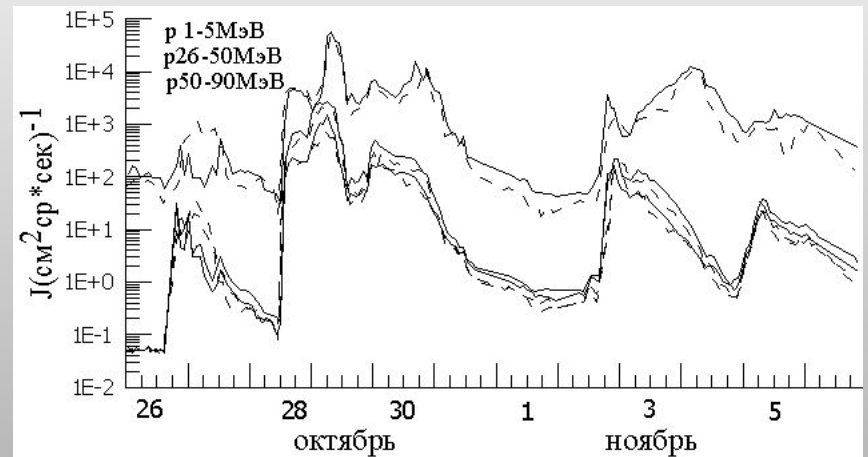
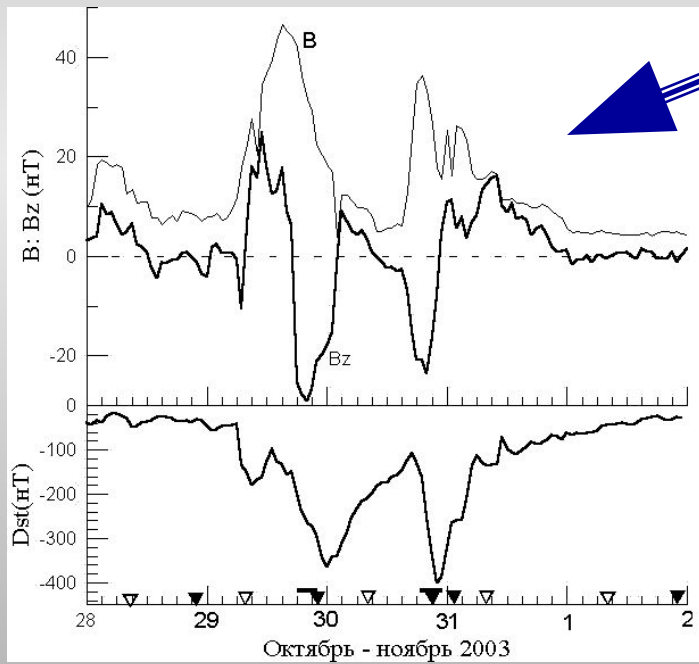
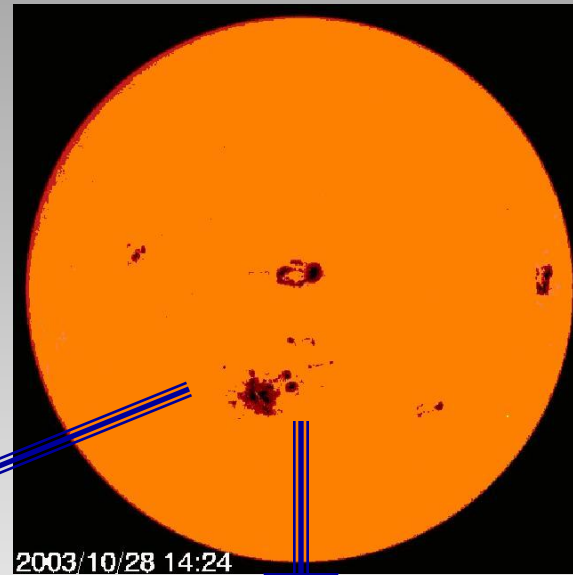
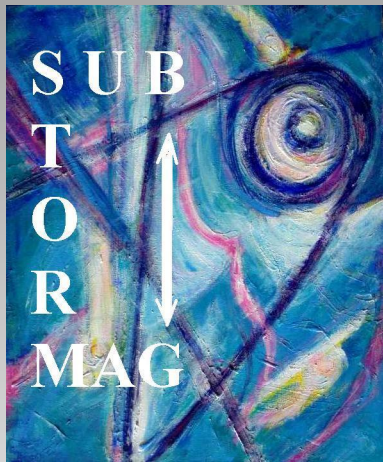
3. Effects of enhanced loading. Saw-tooth type of substorms introduced.

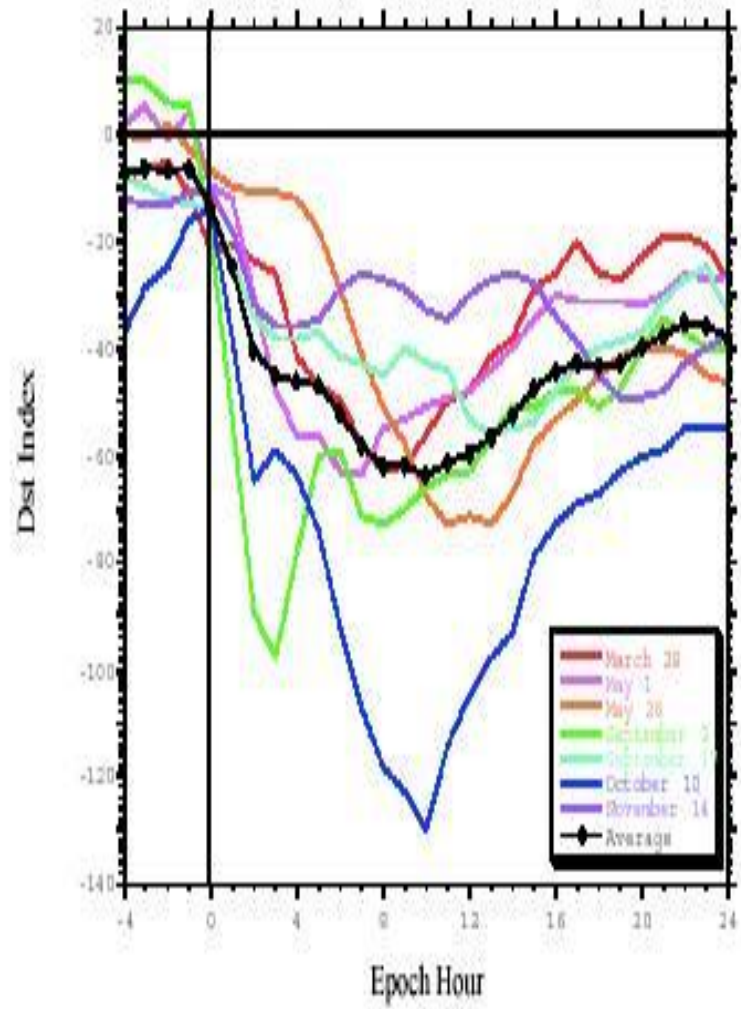
Влияние мощной загрузки.

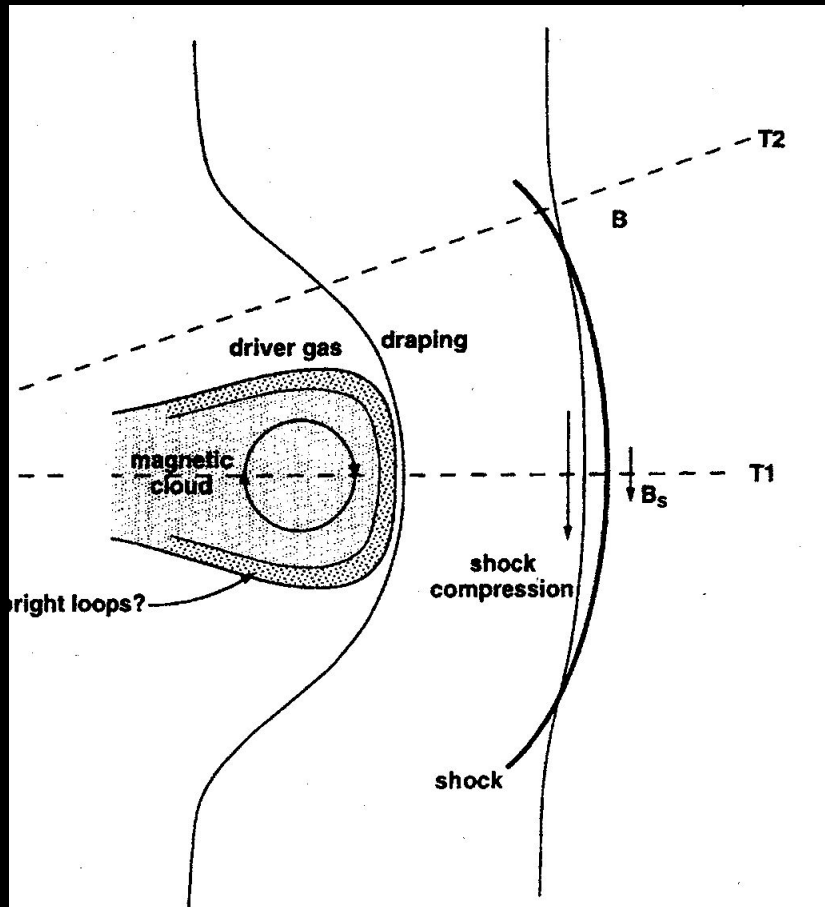
Выявлен новый вид рекуррентных суббурь "зубья пилы"

4. Unusual SC-substorm registered

Необычная суббуря наблюдалась во время SC.







Schematic of regions of intense IMF seen during solar maximum. T1 and T2 are two types of satellite crossings in the interplanetary structure.

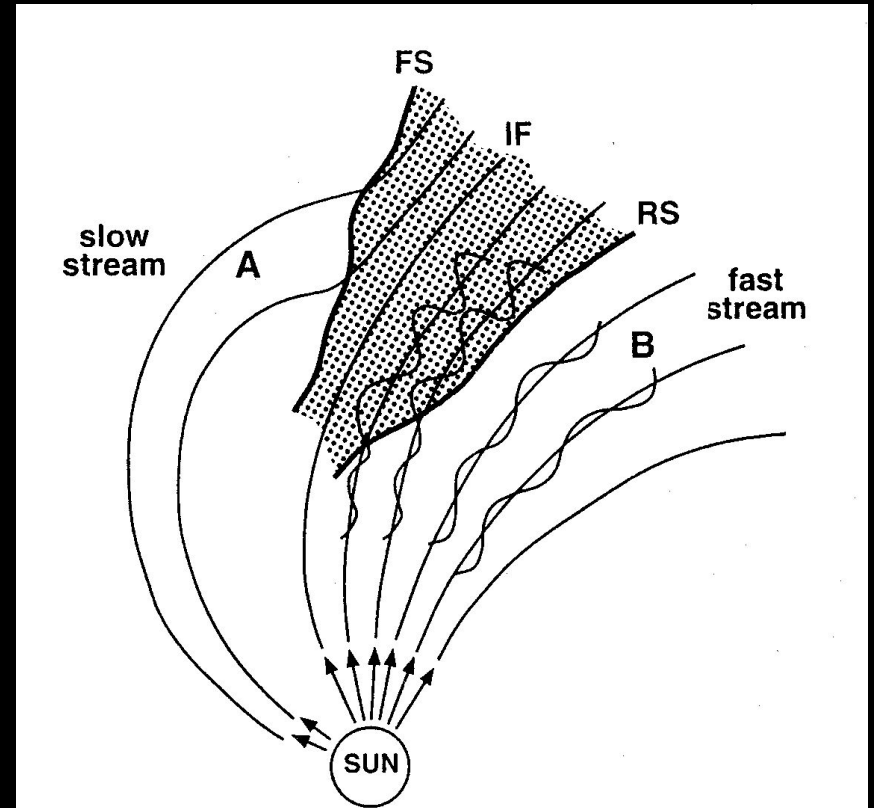
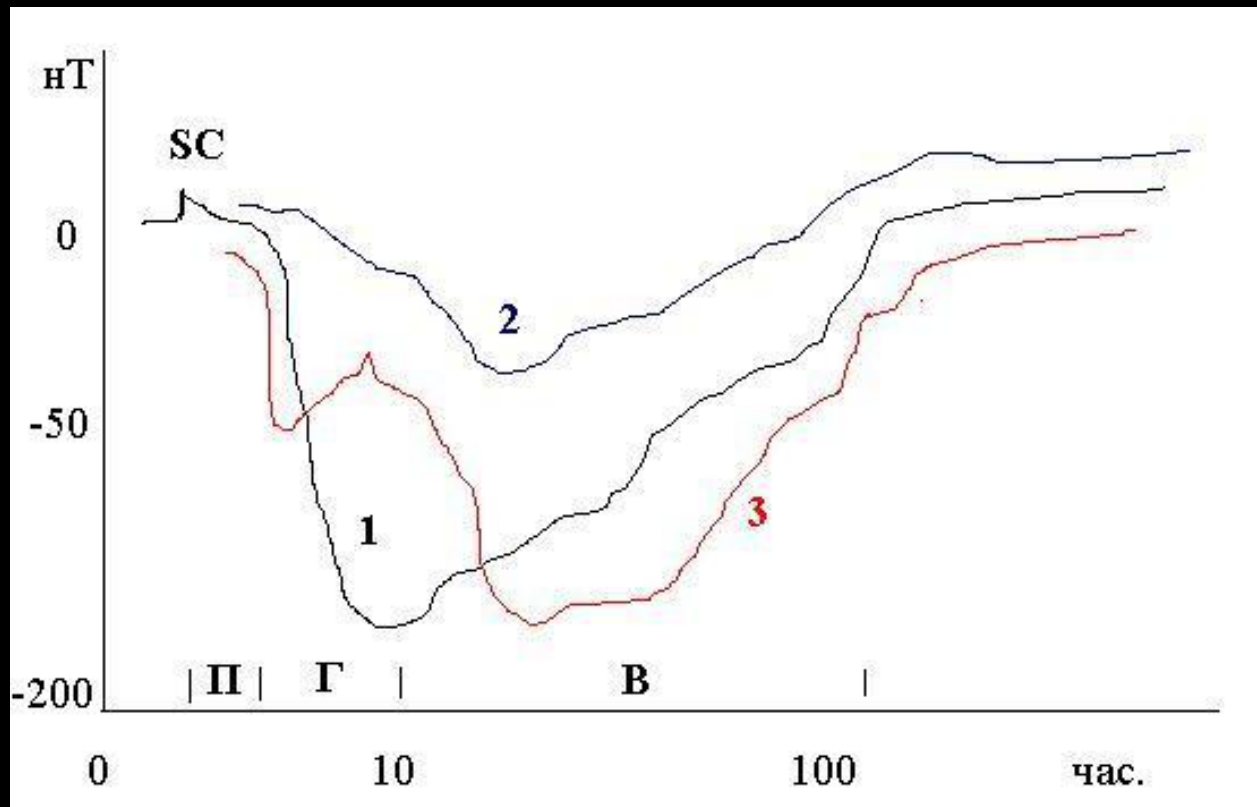


Figure 3. Schematic of the formation of corotating interaction regions (CIRs) during the descending phase of the solar cycle.

Two types of SW structures starting magnetic storms

Два типа структур СВ, ответственных за магнитные бури



SC

Initial phase

Начальная

Main phase

Главная

Recovery

Восстановления

Moderate storms (Dst -50-100nT)

Умеренные бури

Strong storms (Dst -100 -400nT)

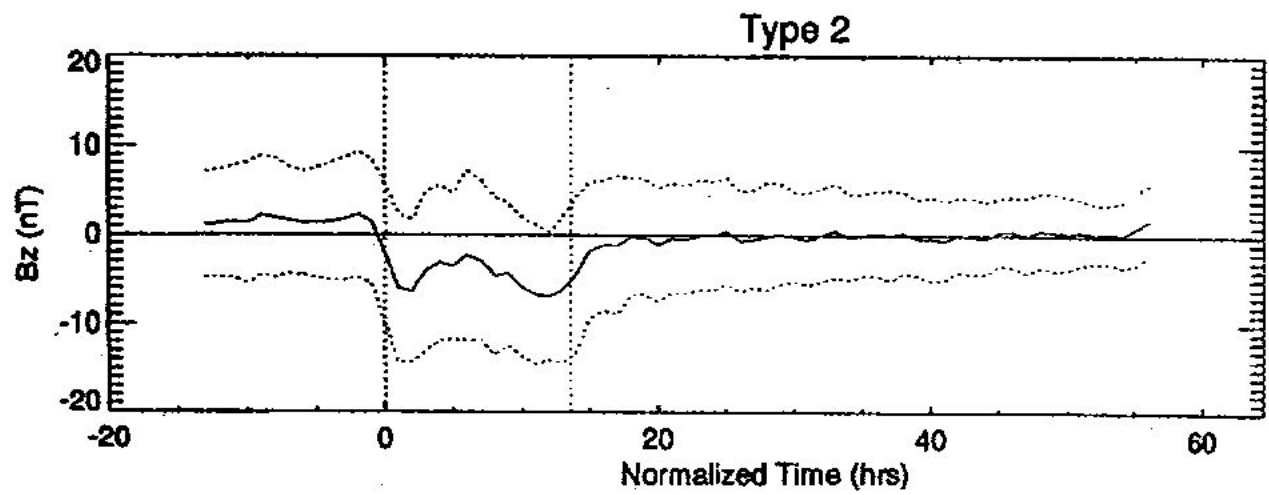
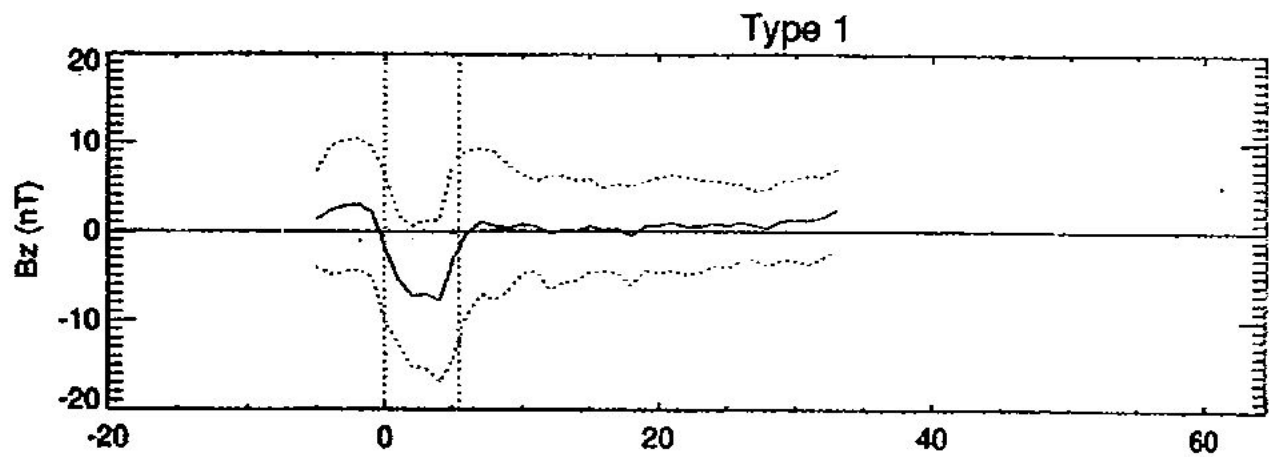
Сильные бури

Double-storms

Двойные бури

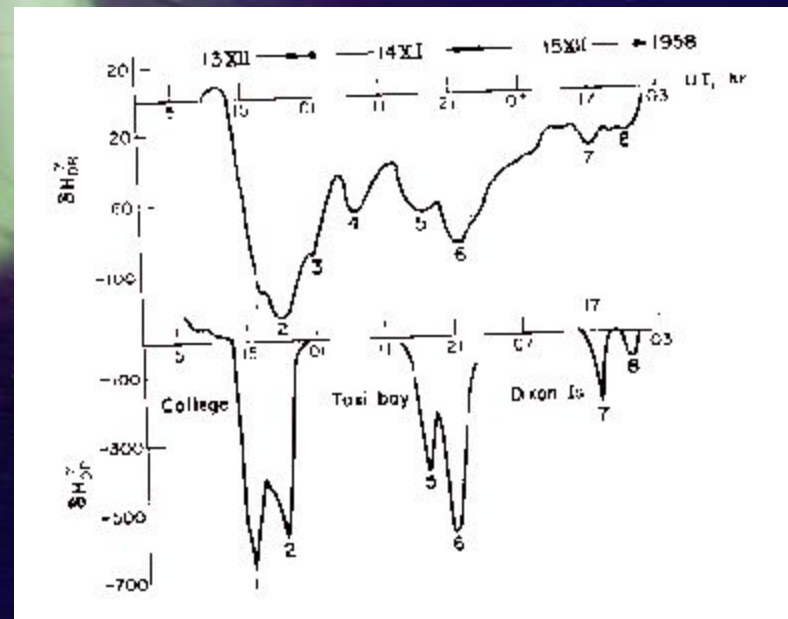
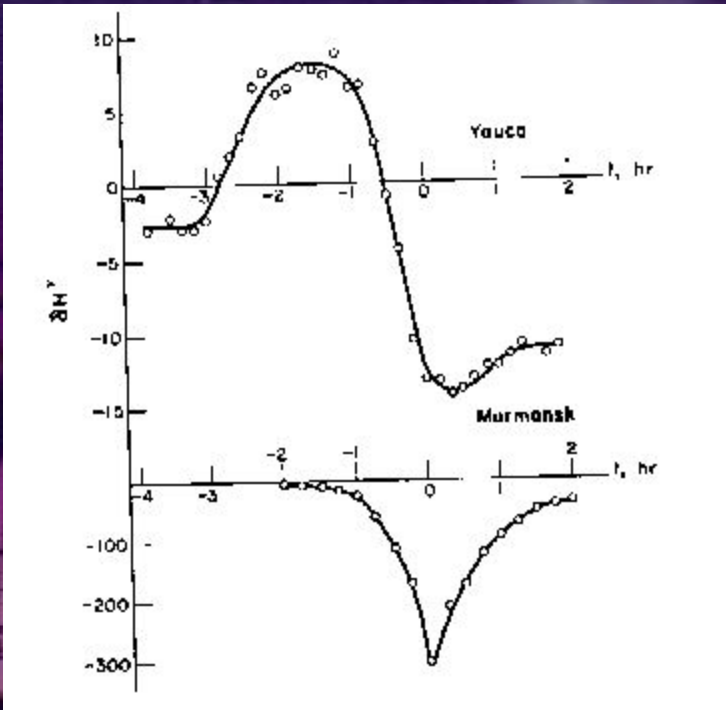
Statistical analysis of over 1200 storms in which Dst attained values < 100 nT, *Kamide et al.* [1998] shows that more than half were double-dip storms. Более половины сильных бурь имеют двойную структуру.

The intensity of a storm typically depends not on the form of Dst but on the strength of the southward IMF B_z (and hence of the magnetospheric convection electric field) and also on the duration of the southward IMF B_z [e.g., *Tsurutani and Gonzalez*, 1997; *Yokoyama and Kamide*, 1997]. Мощность бурь зависит от величины и от продолжительности южной B_z



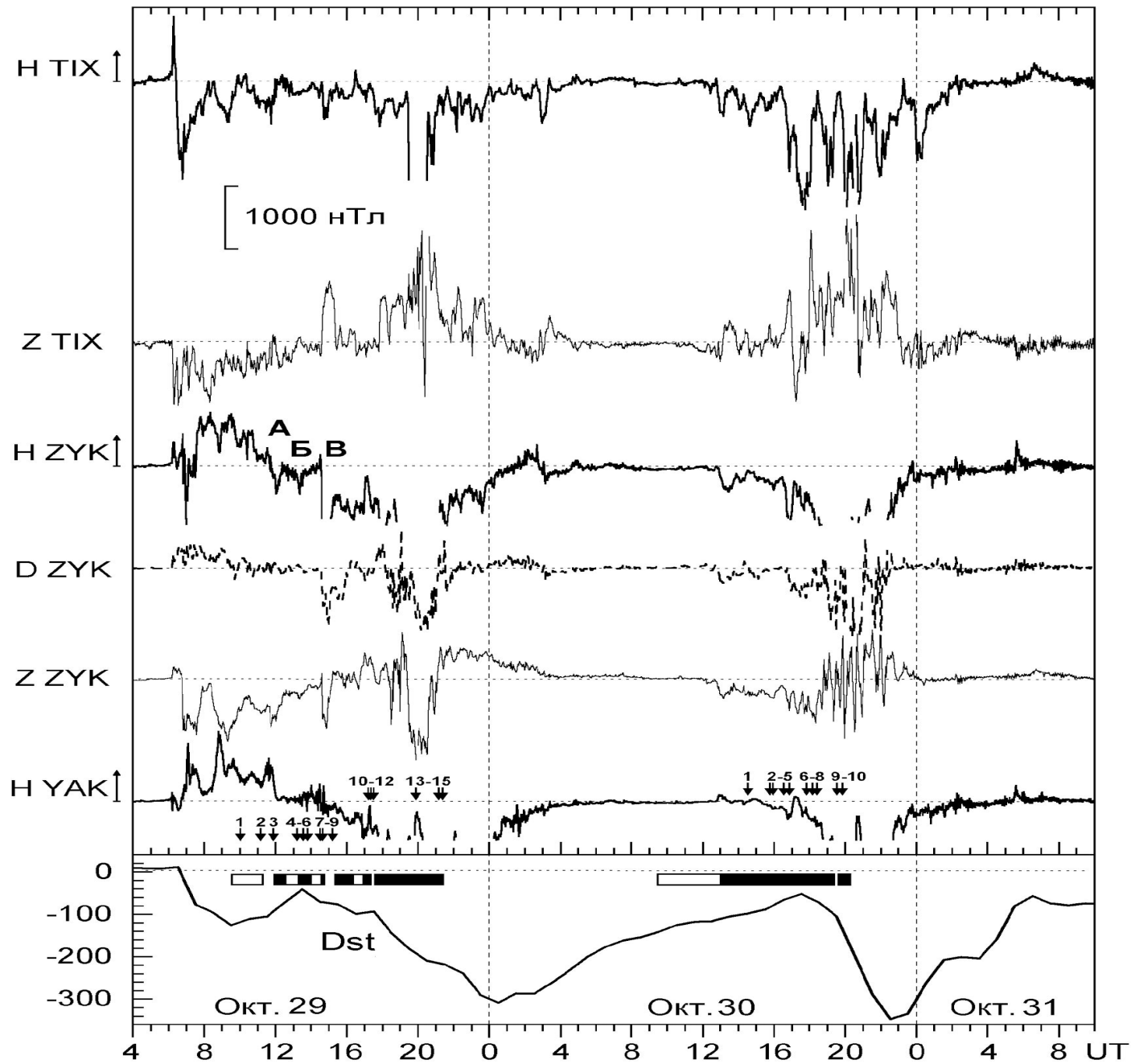
STORM-SUBSTORM PROBLEM

ПРОБЛЕМА БУРИ- СУББУРИ



Пудовкин и Зайцева, 1965
Pudovkin and Zaitseva, 1965

Yakutsk
chain of
magnetometers



The relative contribution of different sources to Dst has recently become a point of controversy. Analysis of the temporal behavior of the Dst variation indicates that the contribution of the partial ring current to Dst is not large as compared to that of the magnetotail current system.

(Maltsev)

Alexeev et al. with the use of the paraboloid magnetospheric model found that the contribution of the magnetotail current system to Dst can exceed that of the symmetrical ring current.

Вклад в Dst токов хвоста магнитосферы может быть больше, чем частично-кольцевого тока и симметричного кольцевого тока.

Ю.П. Мальцев, Алексеев и др.

Alexeev et al, 2004

Magnetopause

Магнитопауза

Ring current

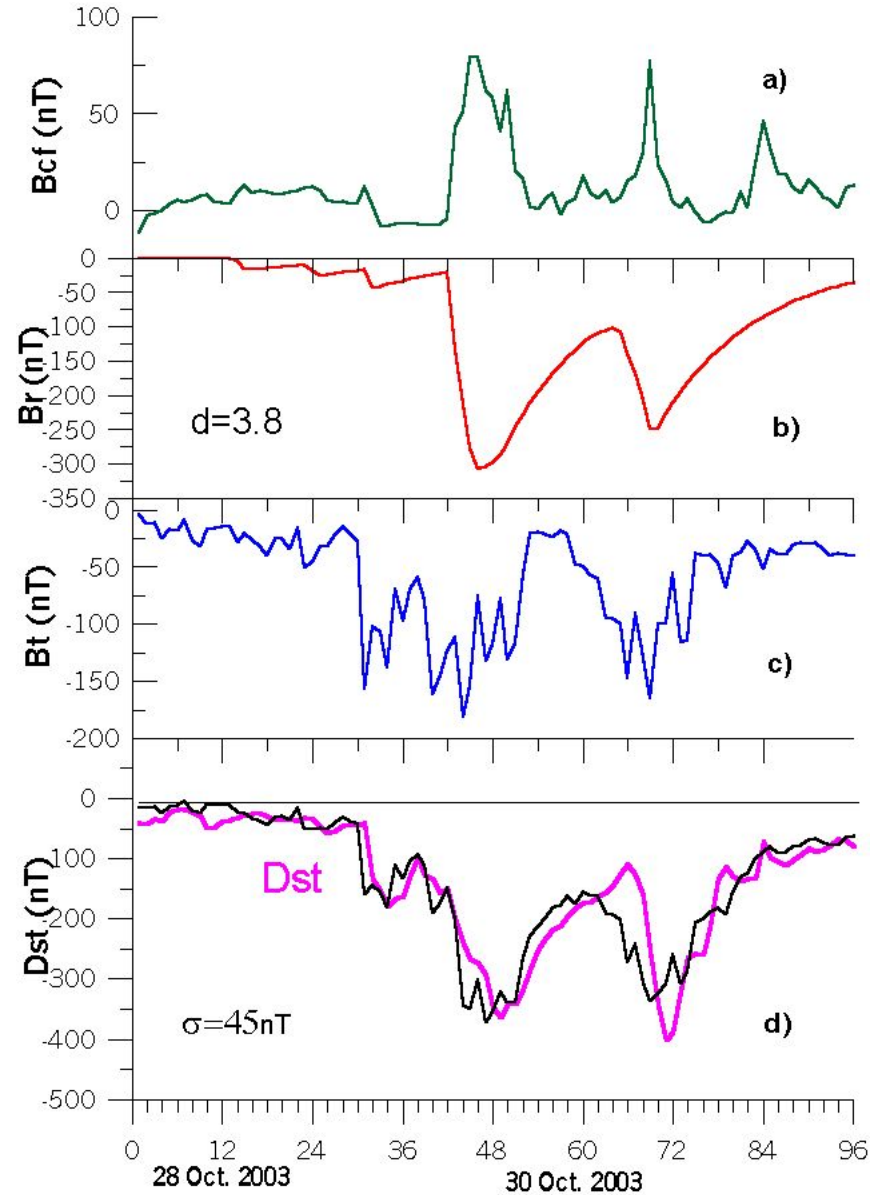
Кольцевой ток

Tail current (+aur.r)

Токи хвоста (+з.с.)

Dst measured and model

Dst изм. и модель



Substorms are not a necessary to cause the growth of the storm-time depression. The depression growth can be easily explained through accumulation of the high-latitude magnetic flux in the course of the flux transport to the nightside under the southward IMF. Storms and strong substorms seem to be unrelated phenomena just having a common cause: the southward IMF.

Yu. Maltsev

Суббури не необходимы для роста депрессии Dst. Ее можно объяснить переносом с дневной стороны и накоплением в хвосте магнитного потока при южной компоненте ММП.

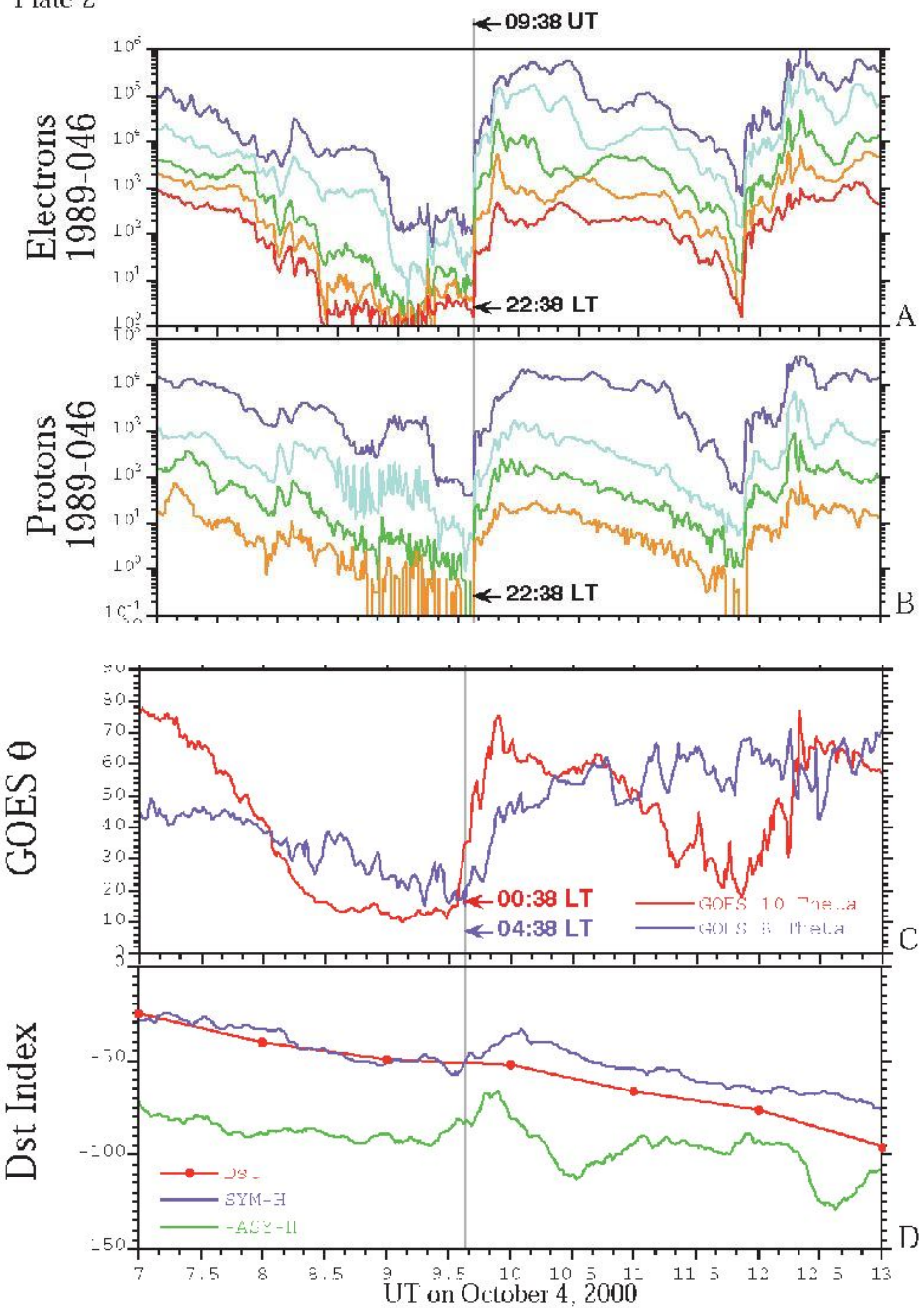
Суббури и бури- явления не связанные, лишь имеющие общий источник - южное ММП.

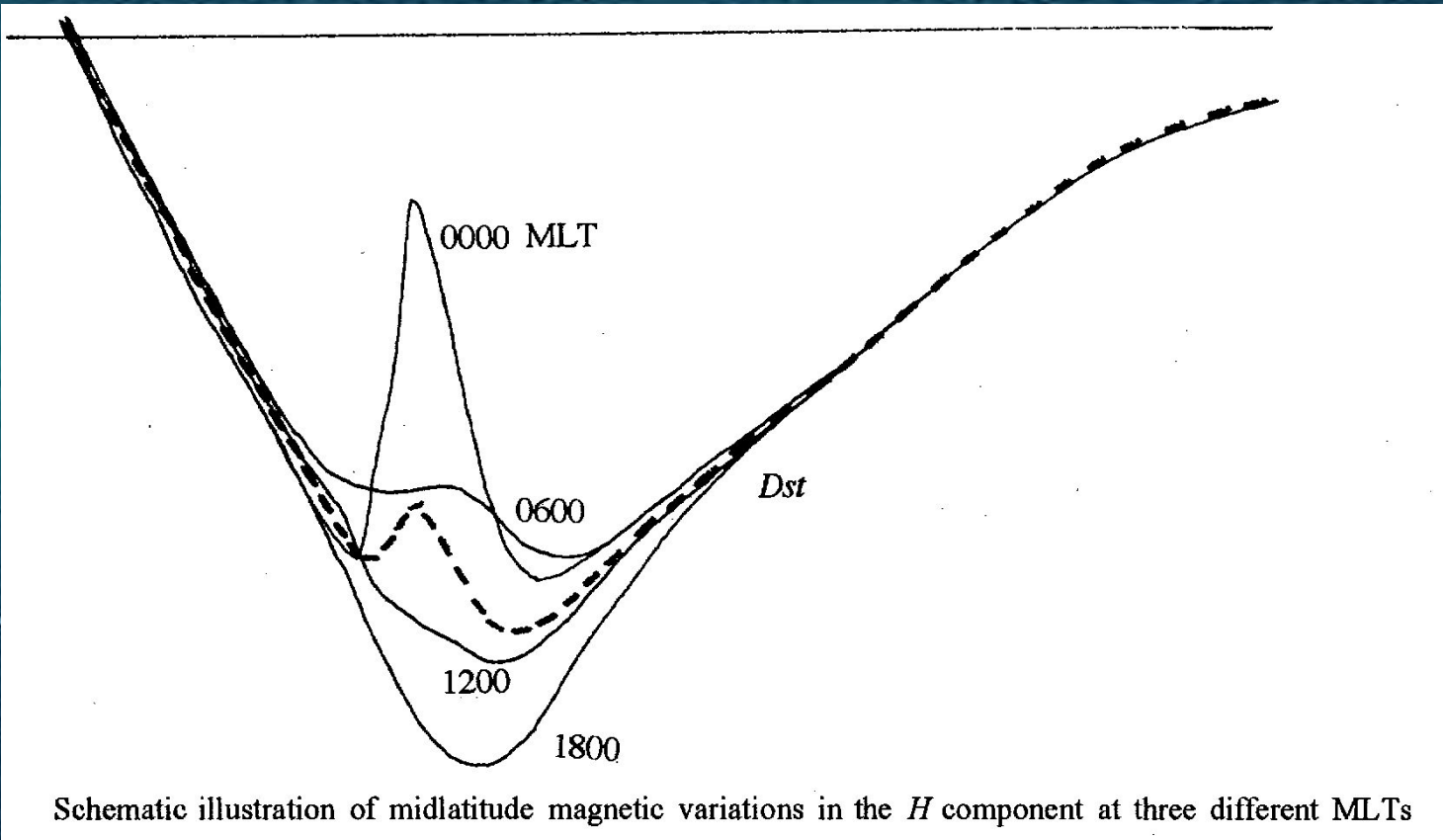
Ю.П. Мальцев

There are several models predicting the time history of Dst as a function of solar wind coupling appeared to be remarkably accurate, and they do not involve any measure of substorm activity

Moreover, Iyemori [1994] and Iyemori and Rao [1996] demonstrated that the storm time depression grows at the substorm growth phase only. After the expansion onset some weakening of the depression occurs.

Замечательно точные модели временного хода Dst основаны только на параметрах СВ, без учета суббурь. В работах Иемори показано, что депрессия Dst растет только на подготовительной фазе, а с началом экспансии слегка ослабевает.





Iemori effect can be explained as a substorm field-align current addition to Dst (Kamide).

Эффект Иемори - вклад продольных токов в Dst

Sun and Akasofu [2000] showed that the Dst index is much better correlated with substorm related field-aligned current index, AF ($k=0.93$).

Сан и Акасофу ввели индекс продольных суббуревых токов, который отлично коррелирует с Dst-индексом.

Ring current contribution to Dst is prevailing only during recovery phase. On the main phase contribution of the magnetopause current, magnetotail and auroral zone currents (including substorm current wedge) are also important.

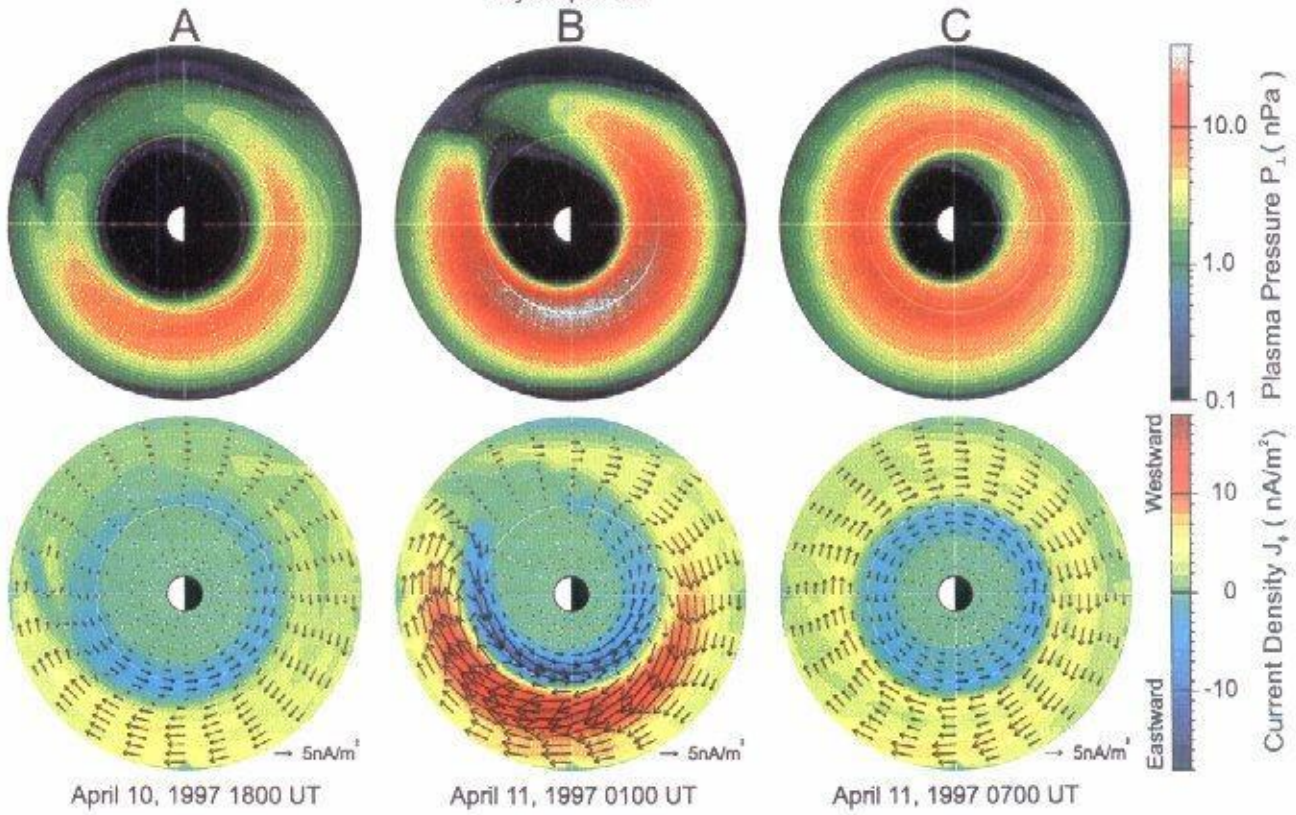
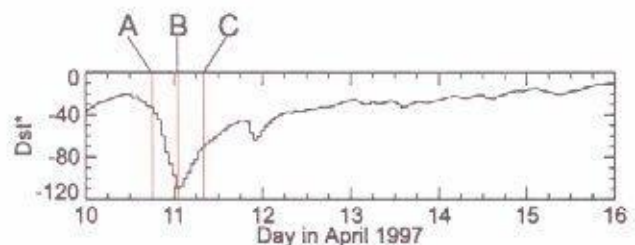
Dst индекс адекватно отражает мощность кольцевого тока только на стадии восстановления.

На главной фазе Dst включает также токи на магнитопаузе, в хвосте и авроральной зоне, включая токовый клин суббури.

Most of the storm-substorm studies discuss substorms influence on Dst, what about ring current particles?

Обычно изучают влияние суббурь на формирование кольцевого тока . Что известно о носителях тока?





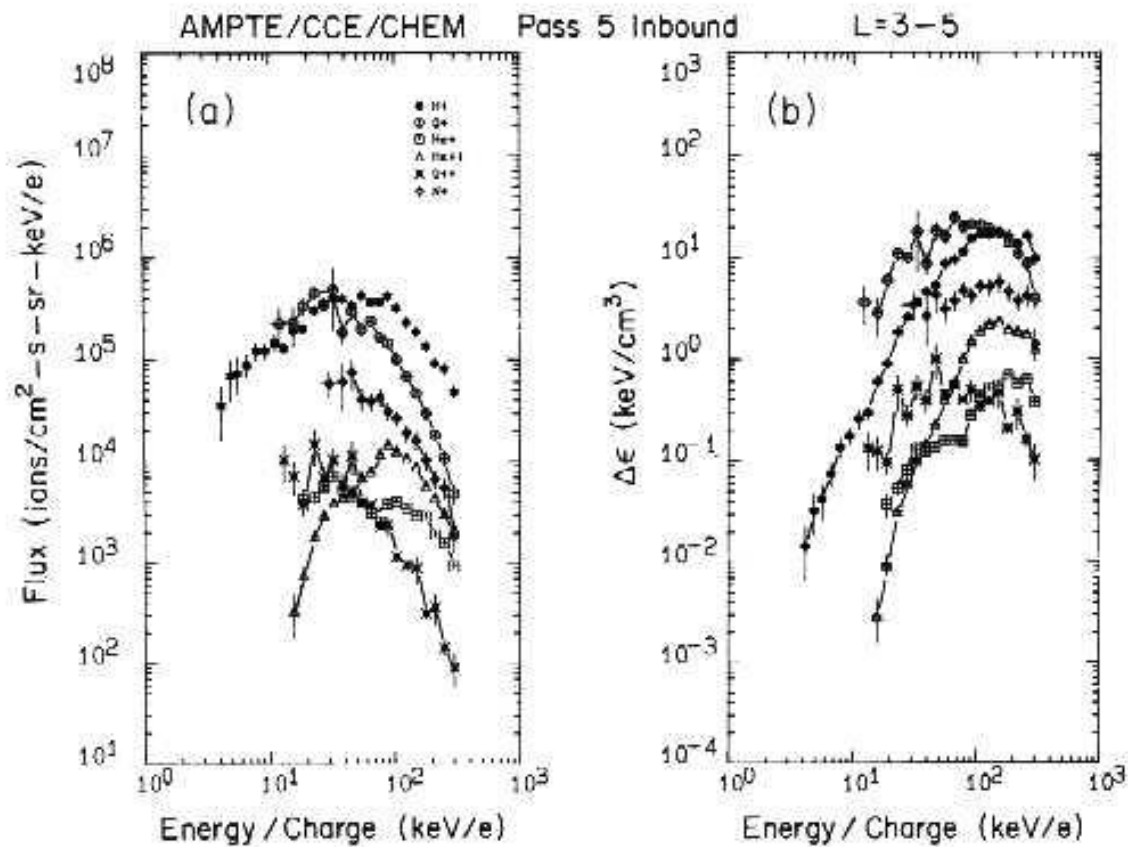


Fig. 8. (a) Energy spectra of six ion species in inner ring current near the storm's maximum phase. (b) Energy distribution during the same period.

Access of 10- to 200-keV ions to $L \sim 2.5-4$ may occur due to the combined magnetic and ExB drift in enhanced convection electric field from the nightside plasma sheet or by radial diffusion from the impulsive electric field enhancements. Diffusive transport is more important for the longer and more intense storms, and for high-energy ions.

Перенос ионов (10-200 кэВ) на $L \sim 2.5-4$ может быть связан с ExB дрейфом при усиленном поле конвекции и с радиальной диффузией на импульсах электрического поля.

WHAT INFLUENCE ON RING CURRENT FORMATION

#1 large-scale storm time enhanced convection +

#2 Growth phase substorm convection- inseparable from #1

#3 Substorm injection (induced E field)

#4 SC-induced E-field

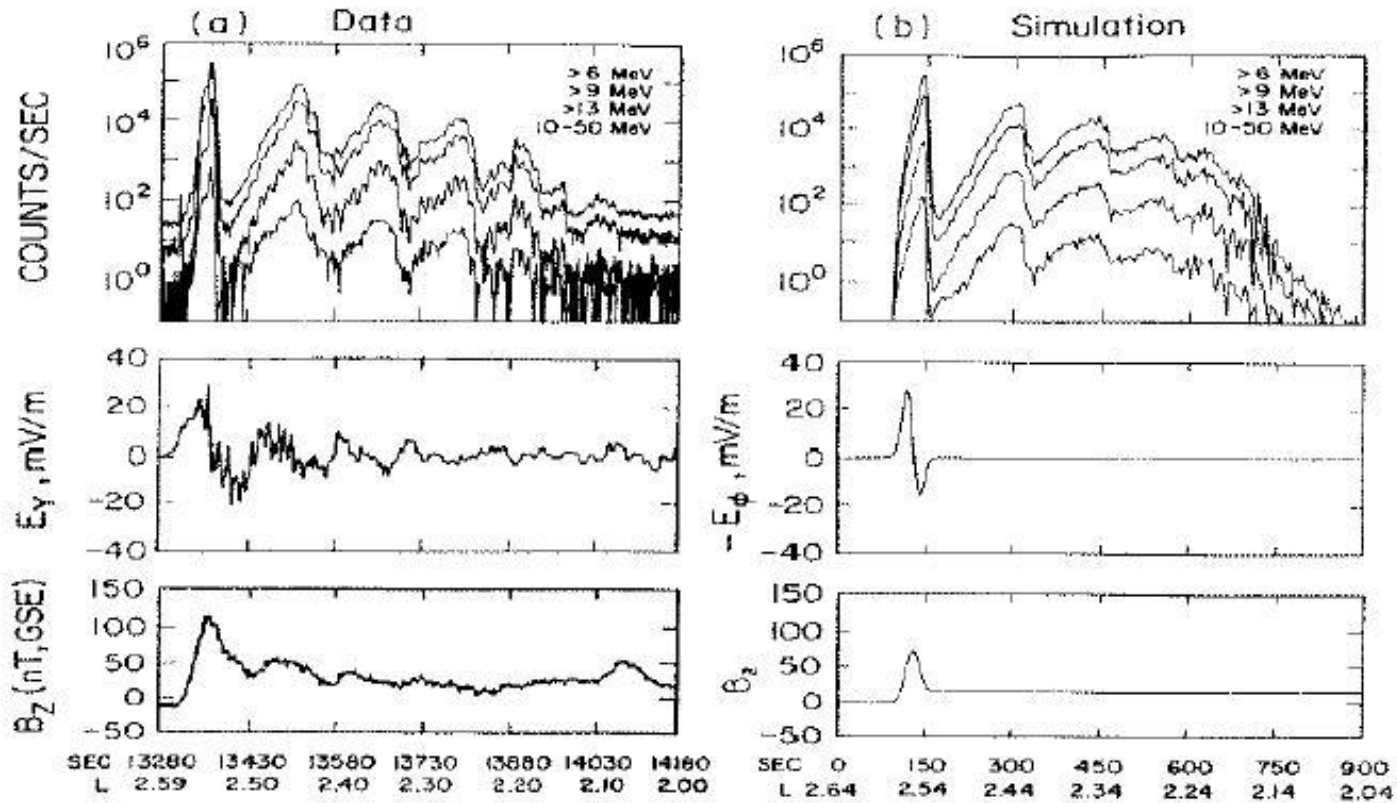
№1 Крупномасштабная усиленная конвекция

№2 Конвекция подготовительной фазы суббури - не
отделить от №1

№3 Индукционное поле инъекции (диполизации)
суббури

№4 Индукционное поле импульса поджатия SC

Energetic Electron, Electric and Magnetic Fields
24 March 1991



SUBSTORMS - RING CURRENT FORMATION version #1

- both the dayside compression and nightside collapse of the magnetic field have very little influence on the development of a stormtime ring current. [Wolf et al.]
- There is not much (if any) systematic influence on ion in the $E < 40$ keV range which supplies most the stormtime ring current energy content [Liemohn et al]
- plasma in the $E < 40$ keV energy range is not significantly affected by substorms [Birn et al., Daglis and Axford, Grande et al.]
- инжекция не ускоряет ионы < 40 кэВ, дающие подавляющий вклад в кольцевой ток
- плазма < 40 кэВ вообще не ускоряется во время суббурь
- Ни дневное поджатие, ни ночная диполизация не влияют на развитие кольцевого тока.

One of the most important evidence of the substorm - ring current close relation was finding that ionospheric O^+ ions, are often dominant ions in the storm-time ring current belt.

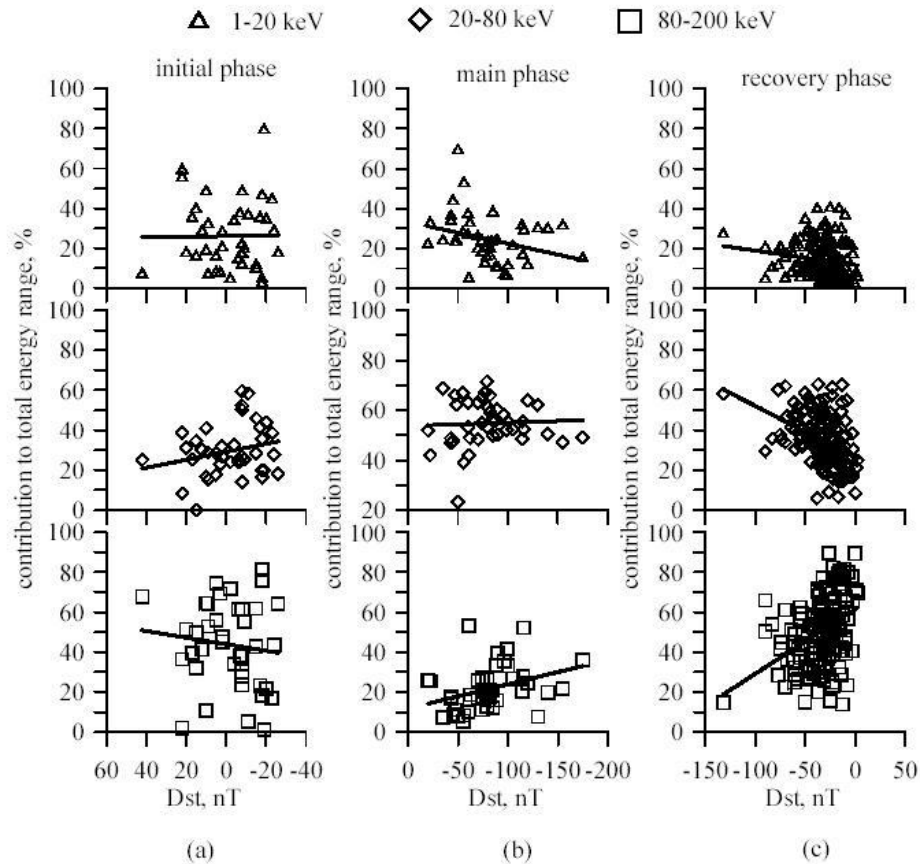
- O^+ are associated with the upward field-aligned currents during substorms and therefore ions injection into the ring current during substorms is evident.

- Intense large-scale electric field during dipolarization brought far more ions into the ring current than either convection or substorms could do alone. [Fok et al., Ganushkina et al]

-Важным подтверждением связи суббурь с кольцевым током явилось обнаружение в нем больших потоков ионов O^+ ионосферного происхождения.

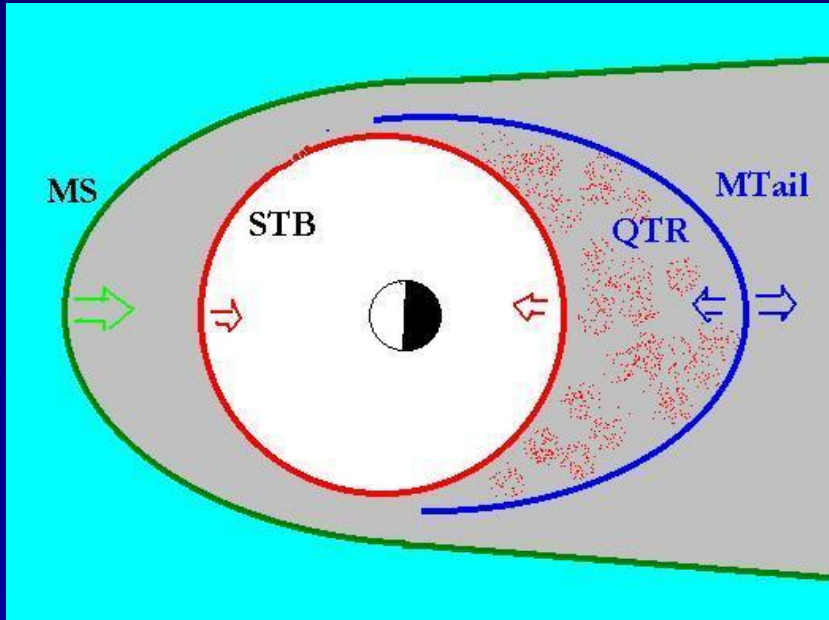
-Только суббуревая активность может обеспечить их появление в кольцевом токе.

- вместе поле конвекции и диполизации доставляют много больше ионов в кольцевой ток, чем каждое из этих полей отдельно.



Ganushkina et al
 Importance of
 the low, middle and
 high-energy
 protons

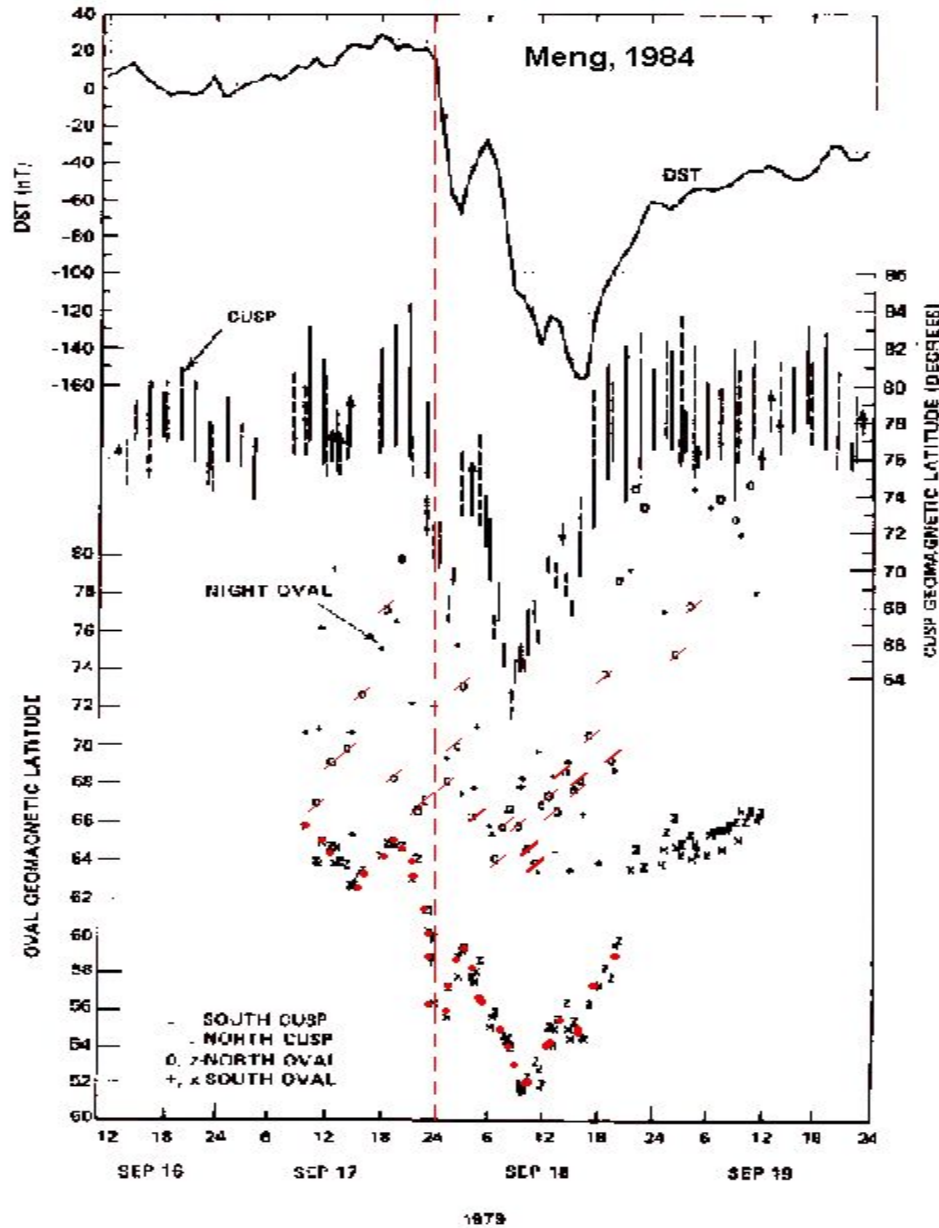
Вклад протонов
 разных энергий в
 формирование
 кольцевого тока



Magnetospheric boundaries
motion during magnetic
storms.

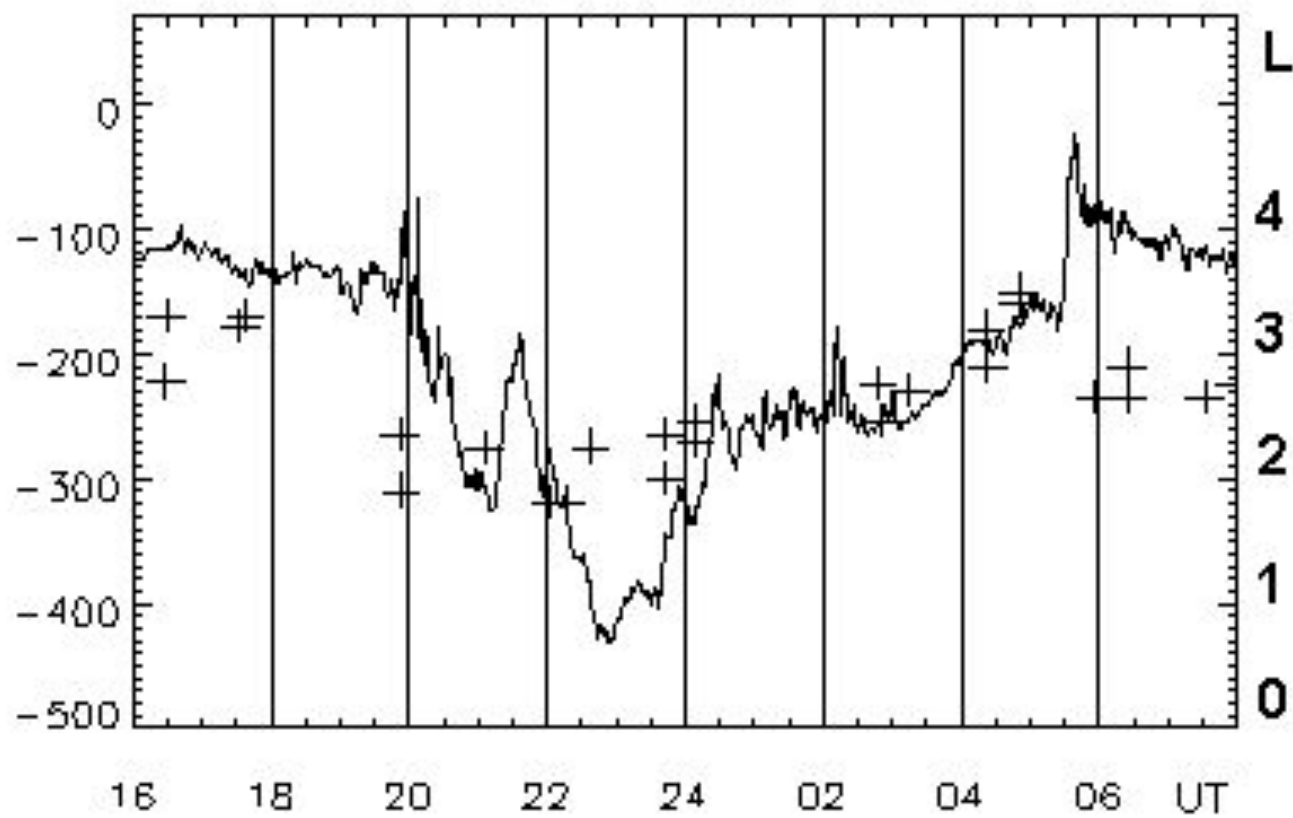
Magnetic storm can be described as a long lasting deviation of the magnetosphere from the normal, quiet condition on three directions: configuration, current systems (Dst) and particle population. Distortion of the configuration is a leading process during the main phase.

Earthward shift of the auroral oval boundary went before the Dst during storm main phase

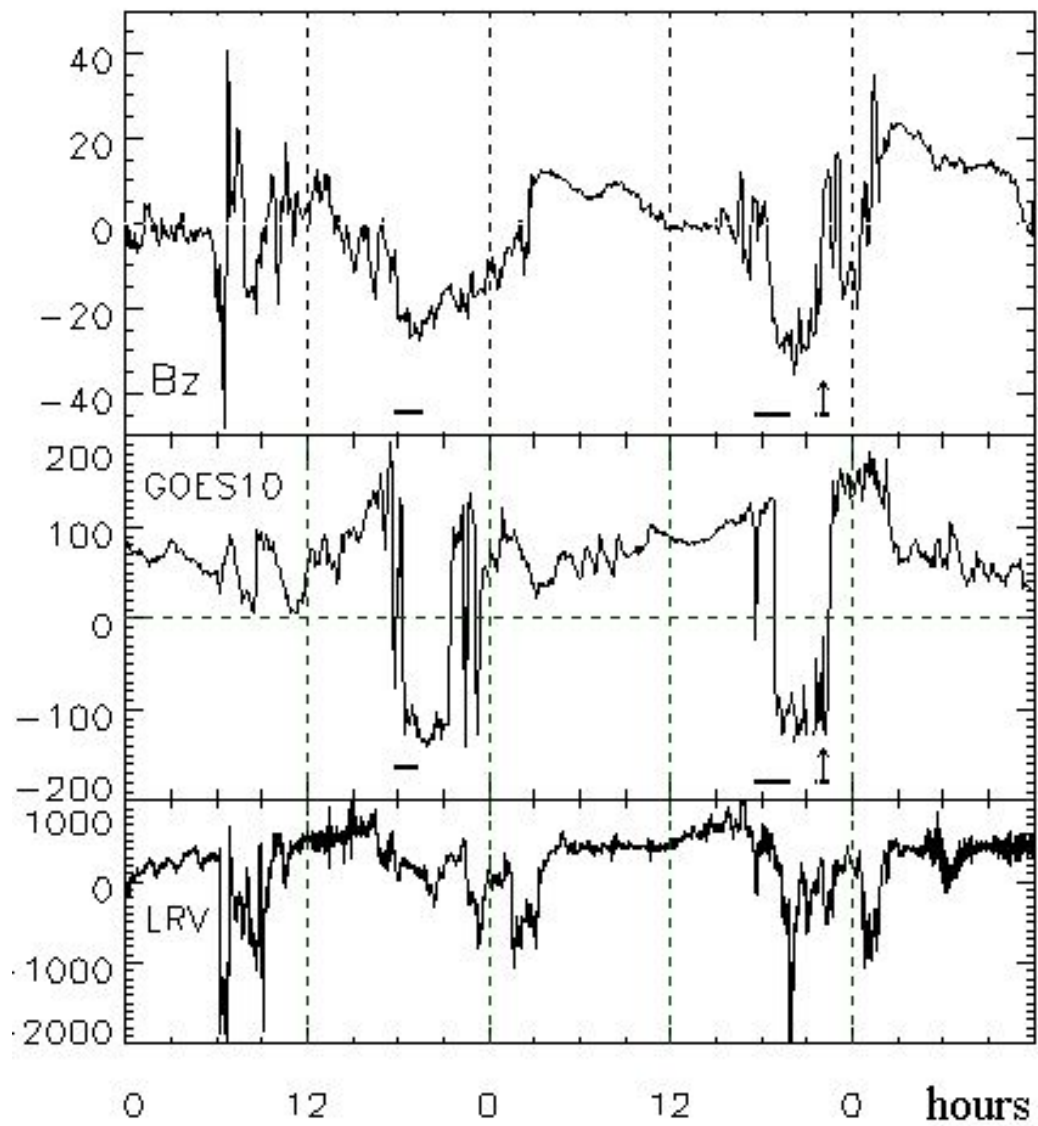


Смещение к Земле границ овала сияний опережает рост кольцевого тока на главной фазе бури
Meng, 1984

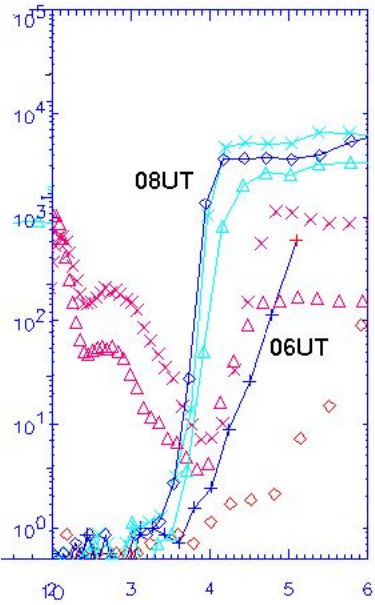
Dst(sym) 30-31.10 2003



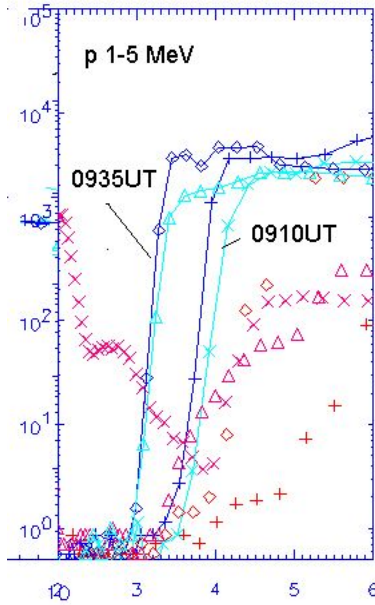
29-31.10.03



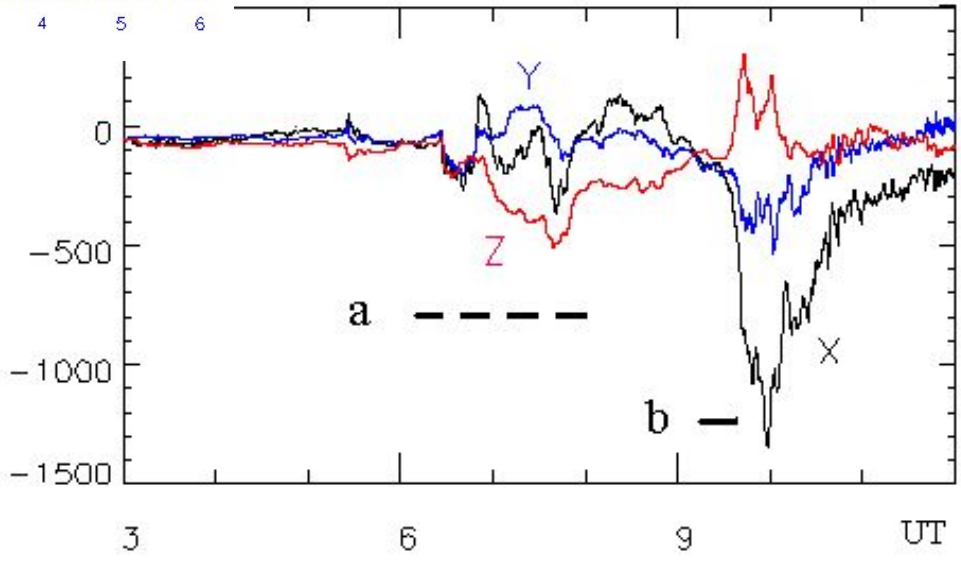
04.11.03 06-09 UT



04.11.03 08-10 UT



MCMU, 04.11.03



CONCLUSION S

ԻՆՏԵՐՆԱԳԻՌՈՒՄԷԼ

- 1 Սի՛ր, ում կյանքը անիծել է,
Ով ճորտ է, մերկ է և սարուկ,
Արդեն վառվում են մեր սրտերը,
Արդեն կովի ենք մենք ձգտում,
- 2 Այս հին աշխարհը կփորենք մենք
Մինչև հիմքերը, և հետո
Մեր նոր աշխարհը կշինենք մենք
Ուր ոչ սարուկ կա, ոչ դժգոհ:
- 3 Սա է վերջին կոիվը և պայքարը մեր մեծ,
Ինտերնացիոնալը աշխարհը կըփրկե:
- 4 Ոչ ոք չի տա մեր փրկությունը,
Ոչ խննթ հերոսը, ոչ արքան,
Մենք պետք է մեր ազատությունը
- 5 Կռենք ձեռքով մեր սեփական:
Որպեսզի շուտ փշրենք մեր լուծը
- 6 Եվ ետ խշինք՝ ողջ հողը մեր,
Խրփենք մուրճերը, սա՛նք մեր ուժը,
Քանի նրկաթը տաք է դեռ:
- 7 Սա է վերջին կոիվը և պայքարը մեր մեծ,
Ինտերնացիոնալը աշխարհը կըփրկե:

Conclusion

1. Storm-substorm relations are unlike for different storm phases.

2. On SSC fast change of the magnetosphere configuration and particle injection to the inner magnetosphere proceed simultaneously but

independently on the current substorm activity. Possibly previous substorm activity is important.

SC-substorms may differ greatly from ordinary substorms.

3. During the main storm phase Dst-index cannot be considered as a true representation of the processes in the magnetosphere.

Substorms (along with the solar wind pressure) are responsible for the dynamics of the boundaries (QTR, auroral zone, inner plasmashet).

Substorm induced electric fields may be important for the ring current formation.

Substorm accelerated particles are important for the development of the partial (asymmetric) ring current.

Substorms during the main storm phase are in general similar to ordinary substorms but differ by location, intensity and some other features.

4. During storm recovery phase substorm activity is not important for the processes of the ring current decrease and magnetospheric reconfiguration.

Выводы

1. Связь бурь и суббурь разная на разных фазах магнитной бури.

2. Во время SC и суббури происходят одновременно с быстрыми изменениями конфигурации магнитосферы и с процессом инжекции частиц во внутреннюю магнитосферу, но без взаимного влияния. Возможно влияние предшествующей суббуревой активности. SC-суббури могут сильно отличаться от обычных суббурь.

3. Во время главной фазы бури Dst индекс не отражает состояние и динамику магнитосферы. Суббури (вместе с давлением солнечного ветра) управляют динамикой границ (ОКЗ, зоны сияний, плазменного слоя).

Индукционное электрическое поле суббури может влиять на развитие кольцевого тока.

Частицы, ускоренные во время суббури, важны для формирования частичного (асимметричного) кольцевого тока.

Суббури во время главной фазы повторяют главные свойства обычных суббурь, отличаясь положением, мощностью и рядом других свойств.

4. Во время фазы восстановления магнитной бури суббуревая активность не влияет на процессы распада кольцевого тока и реконфигурации магнитосферы.