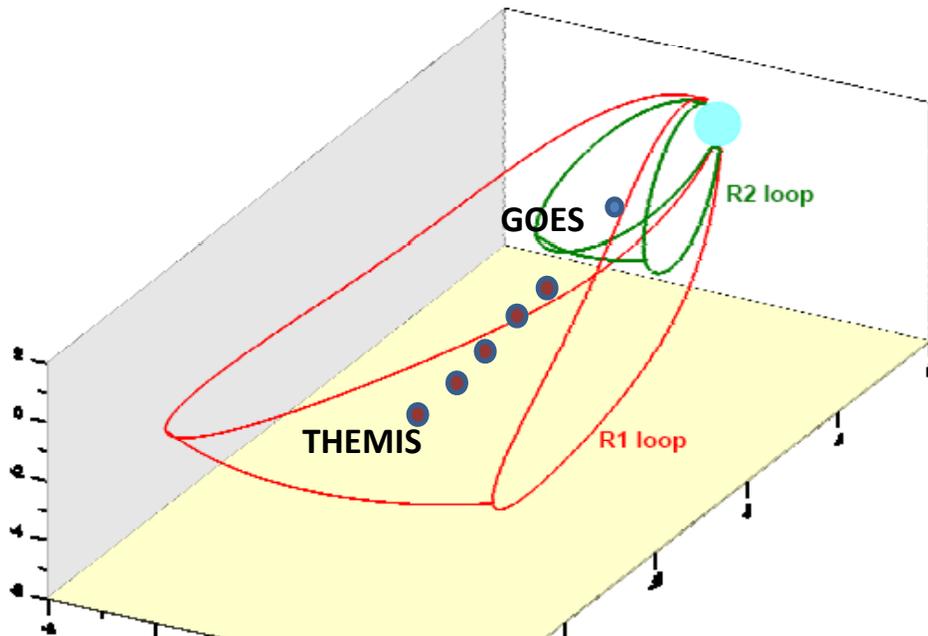




Substorm current system as viewed by simultaneous GOES, THEMIS and ground-based observations interpreted using new Substorm Current Wedge model.

A.V. Nikolaev, V.A. Sergeev, N.A. Tsyganenko (SPbU),
V. Angelopoulos (UCLA),
H. Singer (NOAA)



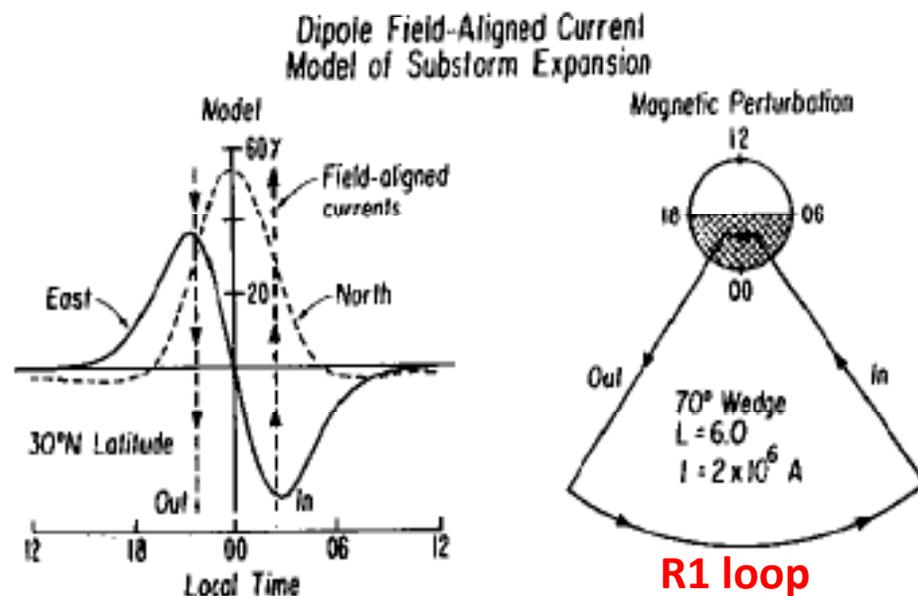
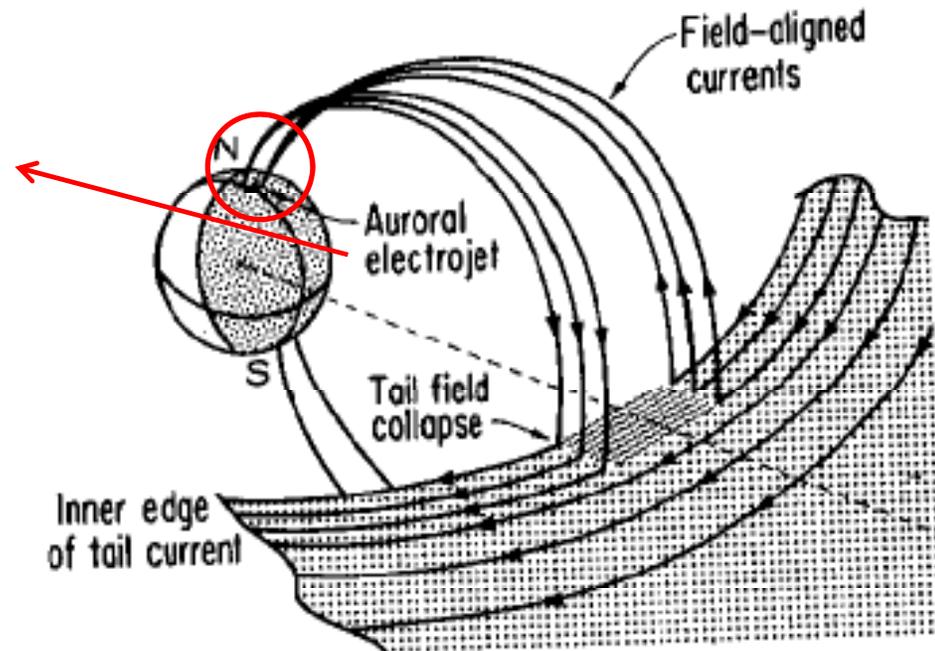
Токовый клин суббури (SCW) – модели, история.

Имеет долгую историю:

- **Birkeland 1903** – предположил существование продольных токов;
- **McPherron et. al. 1973** – концептуальная модель.

Количественные модели:

- **Horning et. al. 1974** – модель использующая дипольные магнитные силовые линии, но не описывала м/рные эффекты;
- **Vasyliiev et. al. 1986** – проволочная модель с реальными силовыми линиями; плохо параметризована, не предназначена для расчёта наземных возмущений.
- **Tsyganenko 1997** – модель построенная математическими методами. Трудно параметризовать и очень грубо оценивала наземную часть возмущений;
- **Tsyganenko 2009** – модель использующая реальные силовые линии с токами конечной толщины; пригодна для количественных расчётов как в ионосфере так и в магнитосфере (V.A. Sergeev, JGR, 2011)

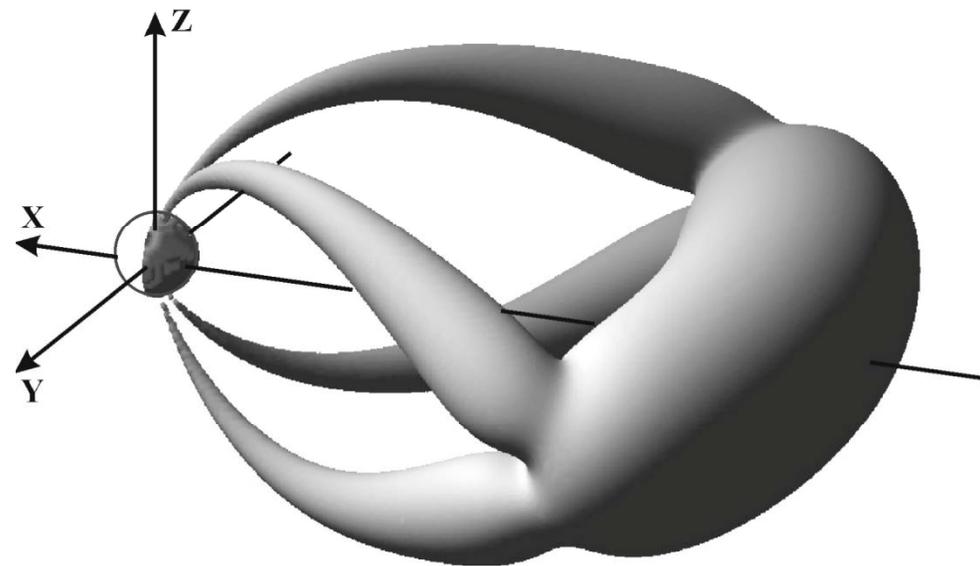
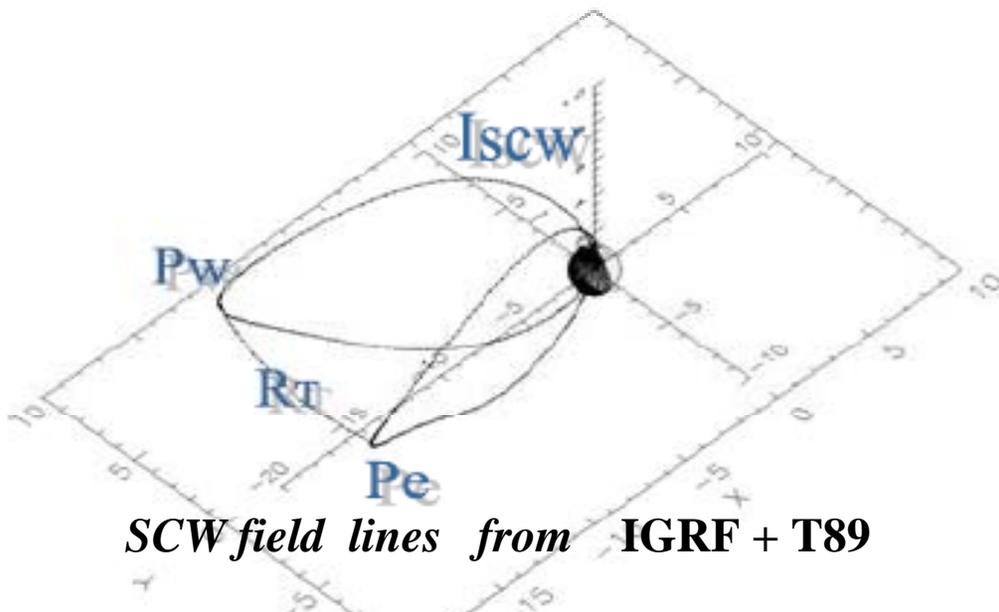
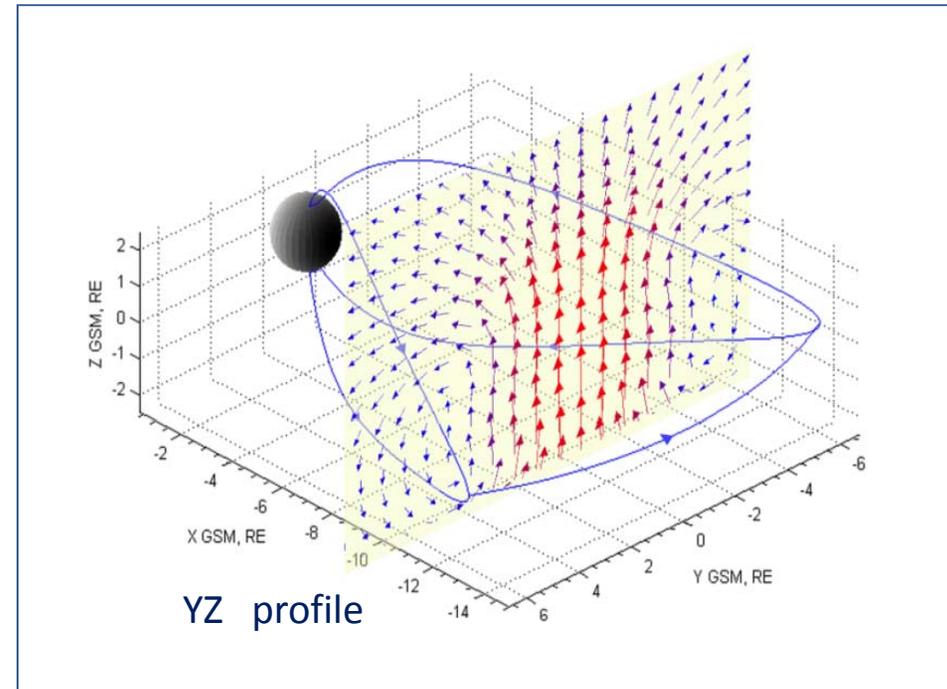


Substorm Current Wedge component of magnetospheric model *(Sergeev et al. JGR, 2011)*

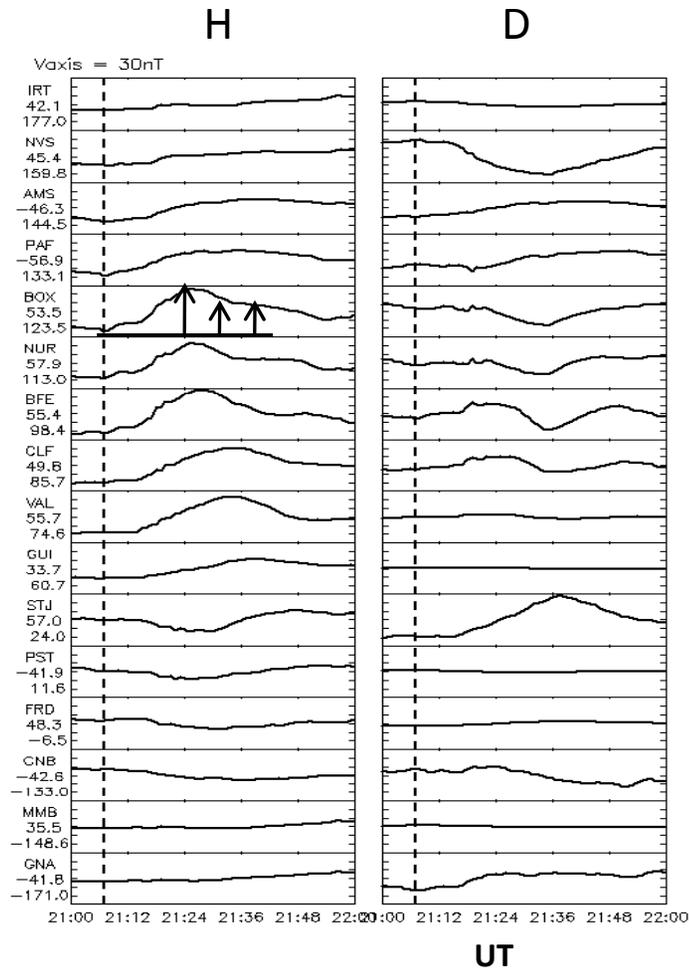
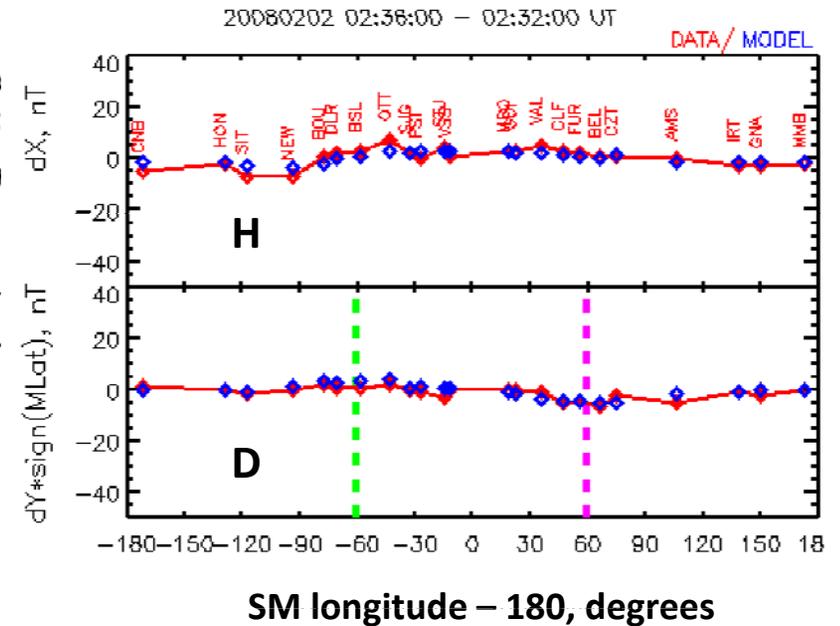
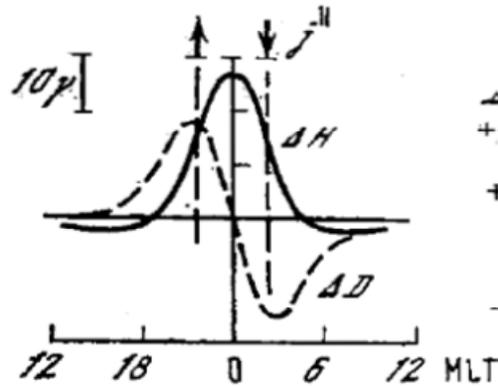
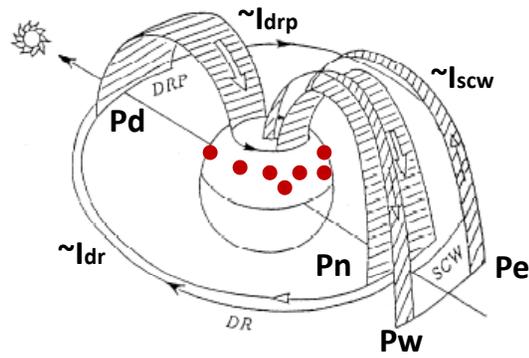
Spread-out wire-type model with realistic field-line finite-thickness FACs – to accurately represent both magnetospheric and ionospheric observations

Input parameters for model : I_{scw} , P_w , P_e – SCW total current and longitudes (from ground magn. observations);

RT – distance to current disruption; **R_{CF}** – field line stretching (T89) - (from spacecraft observations) ; current spread parameter



Midlatitude Input for TW09 model.



I_{scw} , I_{dr} , I_{drp} (linear parameters)
 P_w , P_E , W , P_{drp} (non-linear ..)

Method : Sergeev et al. [JGR, 1996].
 • IDL realization – Apatenkov [2006]
 FL shape from SCW = IGRF
 SCW + DRP (частично-кольцевой ток) + DR (кольцевой ток)

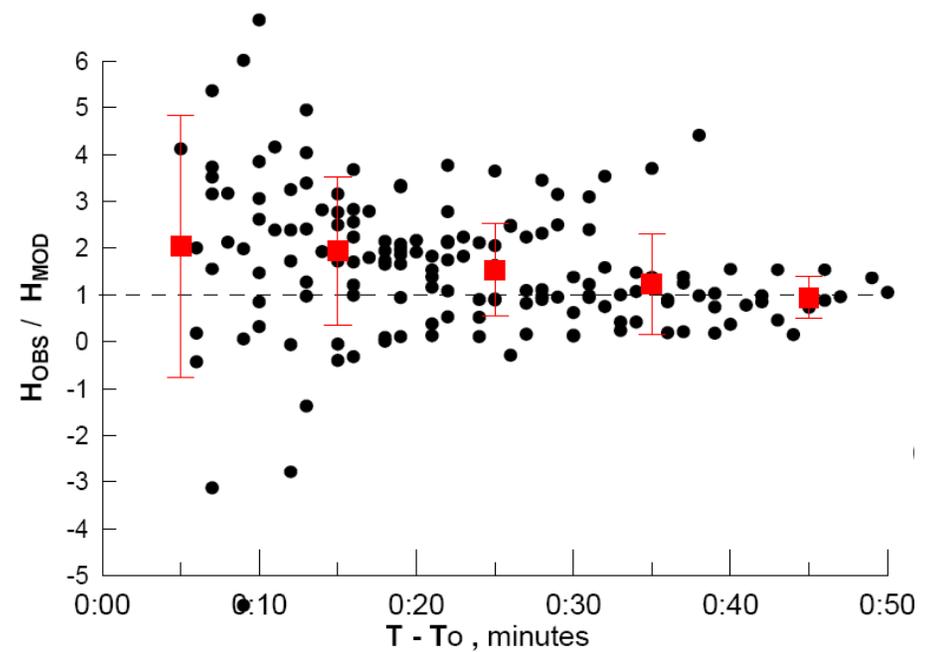
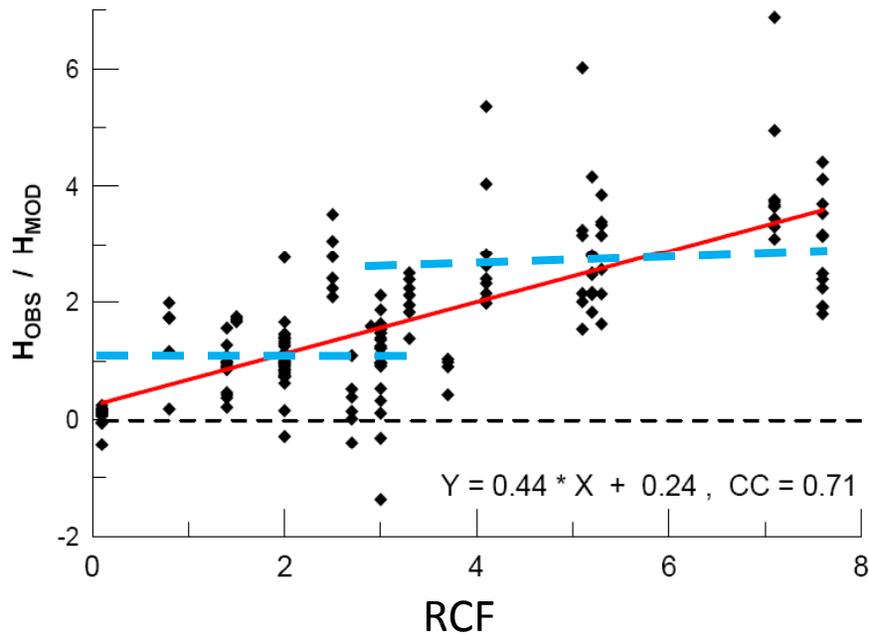
Dependence of ratio $H_{\text{obs}}/H_{\text{mod}}$ at GOES (6.6 Re)

(Sergeev et al, JGR, 2011)

on the stretching parameter (RCF)

on the substorm time

22 substorms

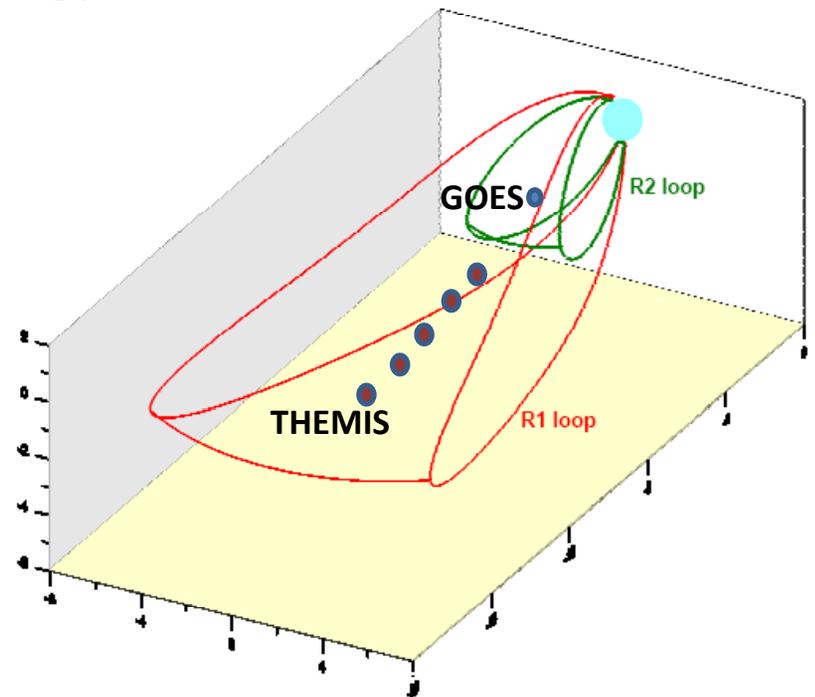


Goals of this study

Confirm the **additional R2-like loop** component of the Substorm Current Wedge and identify its location during substorm dipolarizations based on

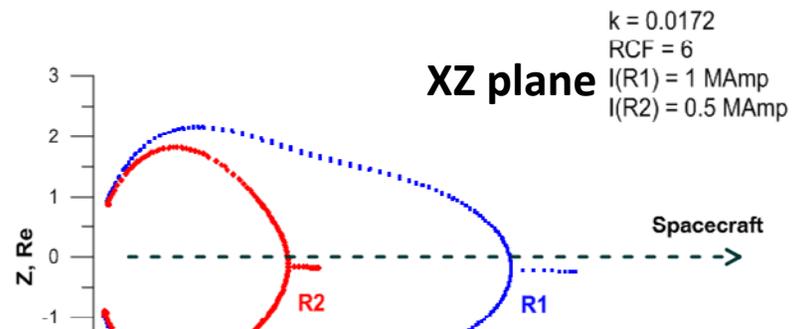
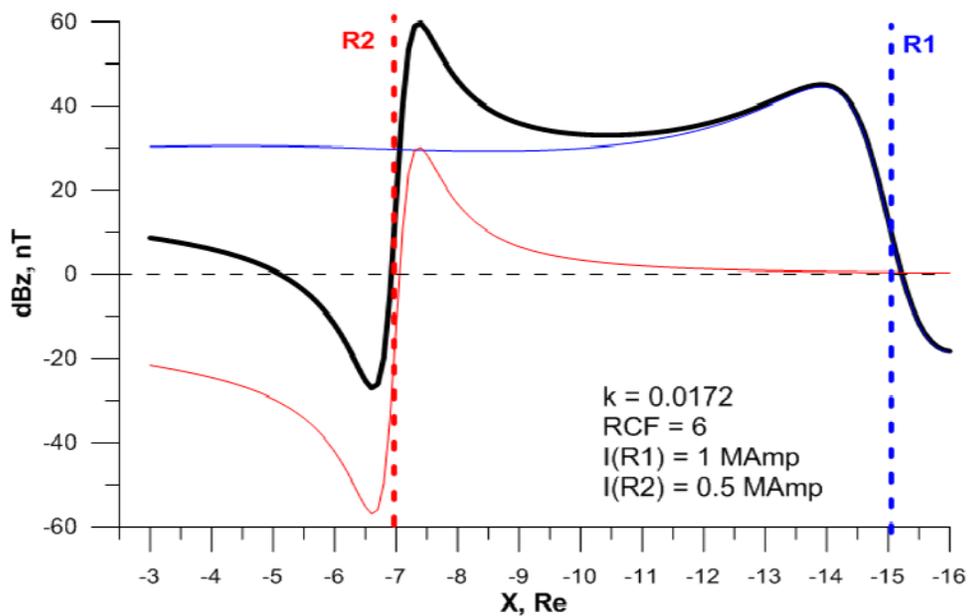
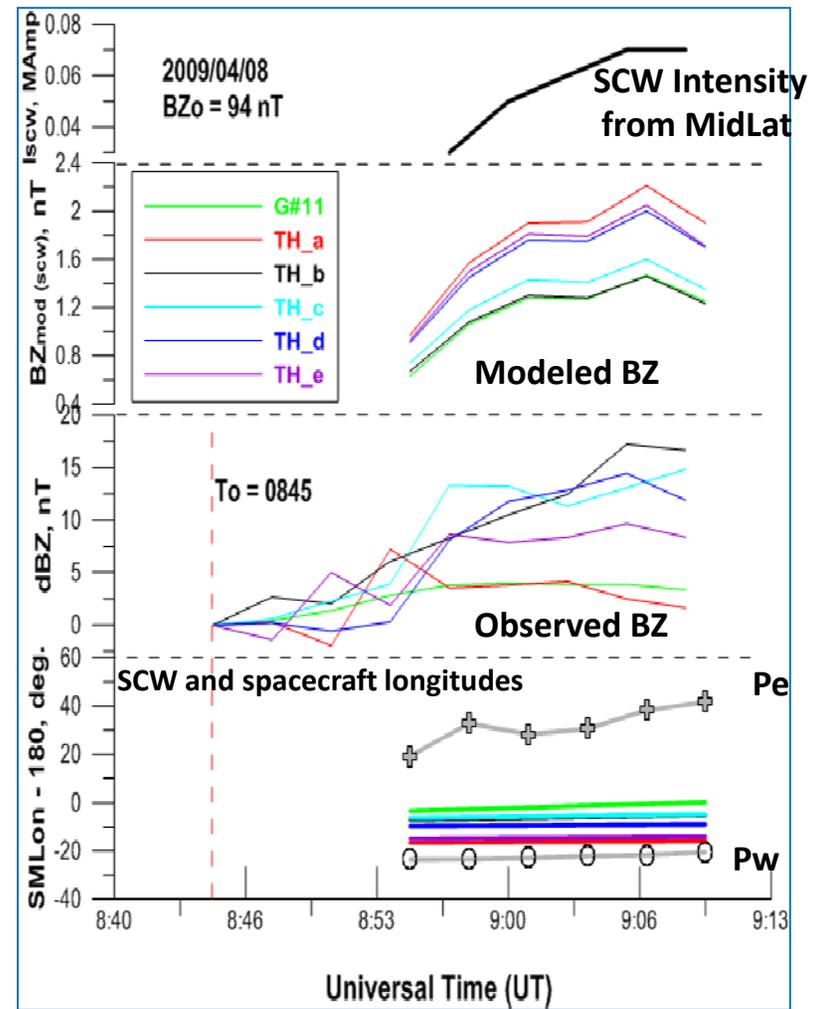
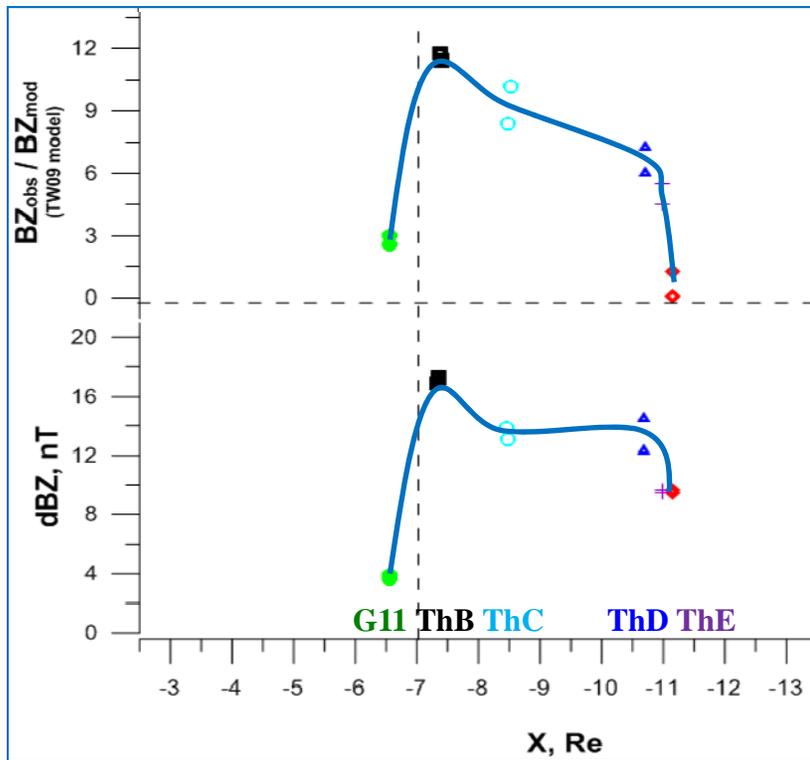
coordinated observations of GOES и THEMIS spacecraft during substorm dipolarizations using :

- ❖ Radial conjunction of 5-6 SC;
- ❖ Statistical relationship between dipolarization amplitudes at THEMIS ($\sim 11R_E$) and GOES ($6.6R_E$)



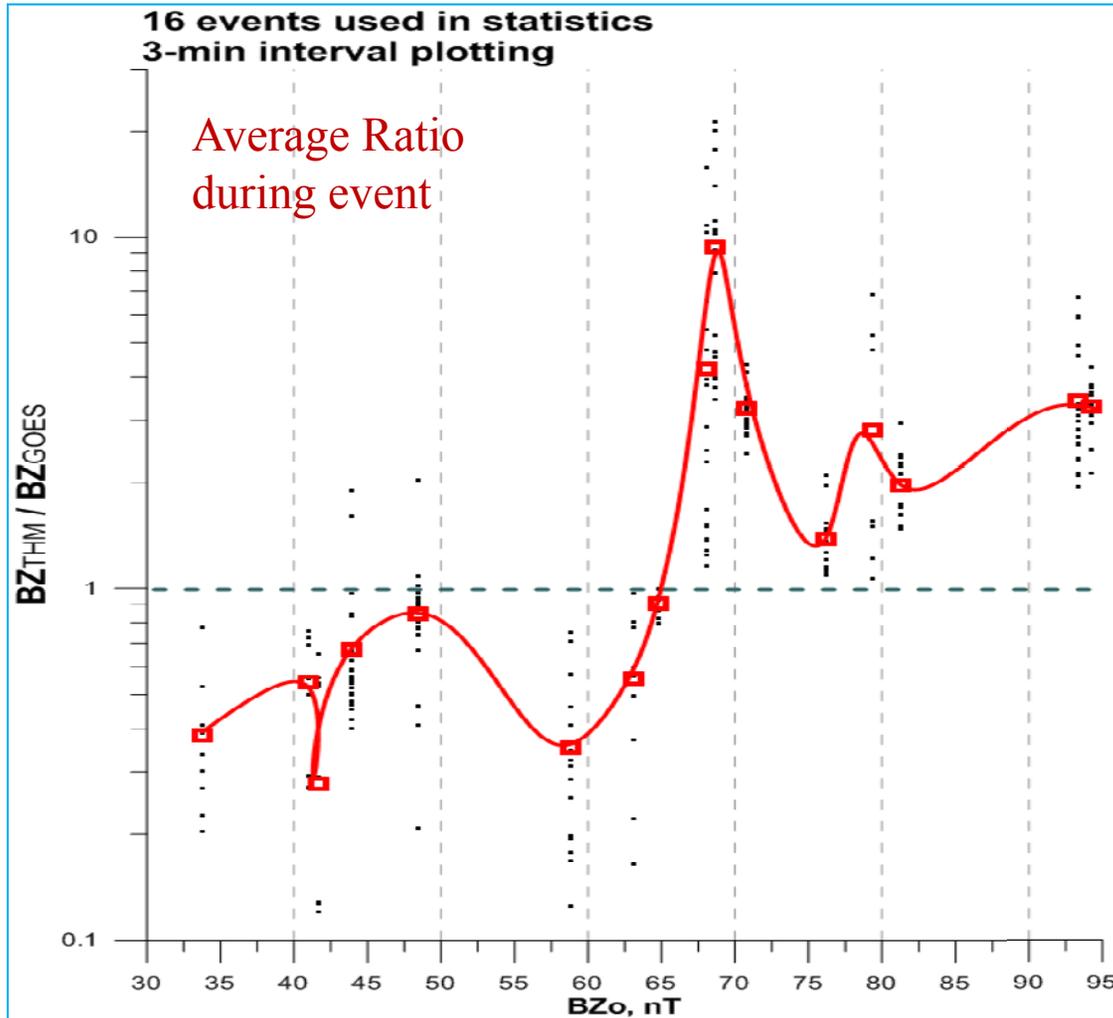
Radial conjunction 2009/04/08 ~08:50UT

~100nT AE substorm



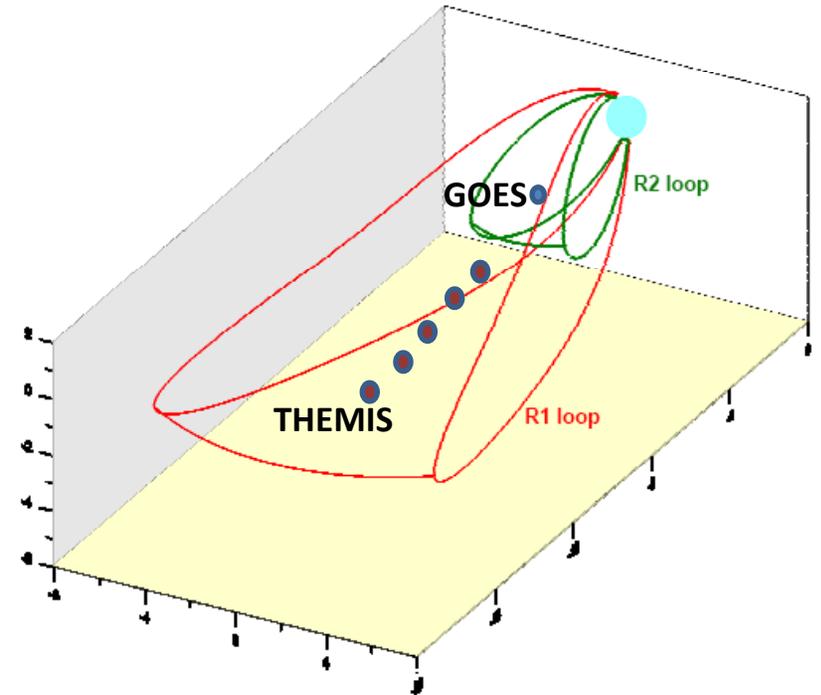
Dipolarizations at radial pairs

THEMIS-GOES (11-6.6Re)



R2 locations depending on GOES Bz0

- $|X_{R2}| > 6.6 \text{ Re}$, $Bz_0^{GOES} \sim 70-100 \text{ nT}$;
- $|X_{R2}| \sim 6.6 \text{ Re}$ under $Bz_0^{GOES} \sim 65-70 \text{ nT}$;
- $|X_{R2}| < 6.6 \text{ Re}$ under $Bz_0^{GOES} < 65 \text{ nT}$;



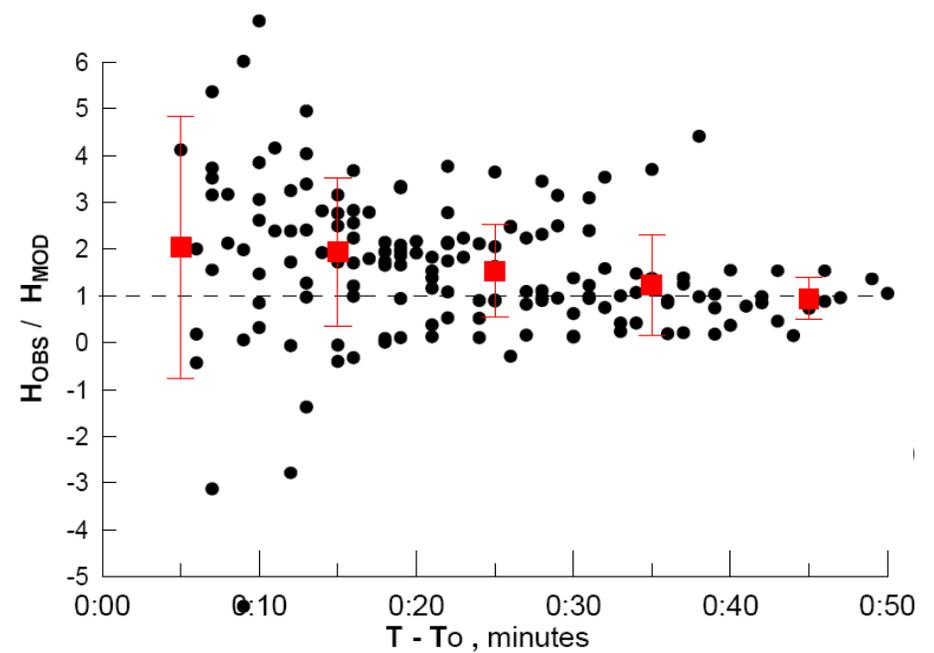
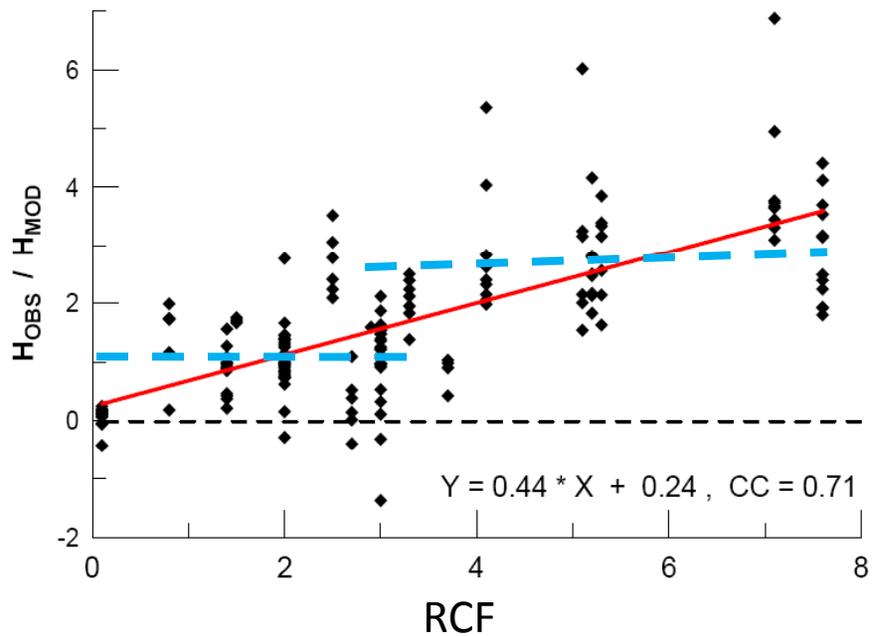
Dependence of ratio $H_{\text{obs}}/H_{\text{mod}}$ at GOES (6.6 Re)

(Sergeev et al, JGR, 2011)

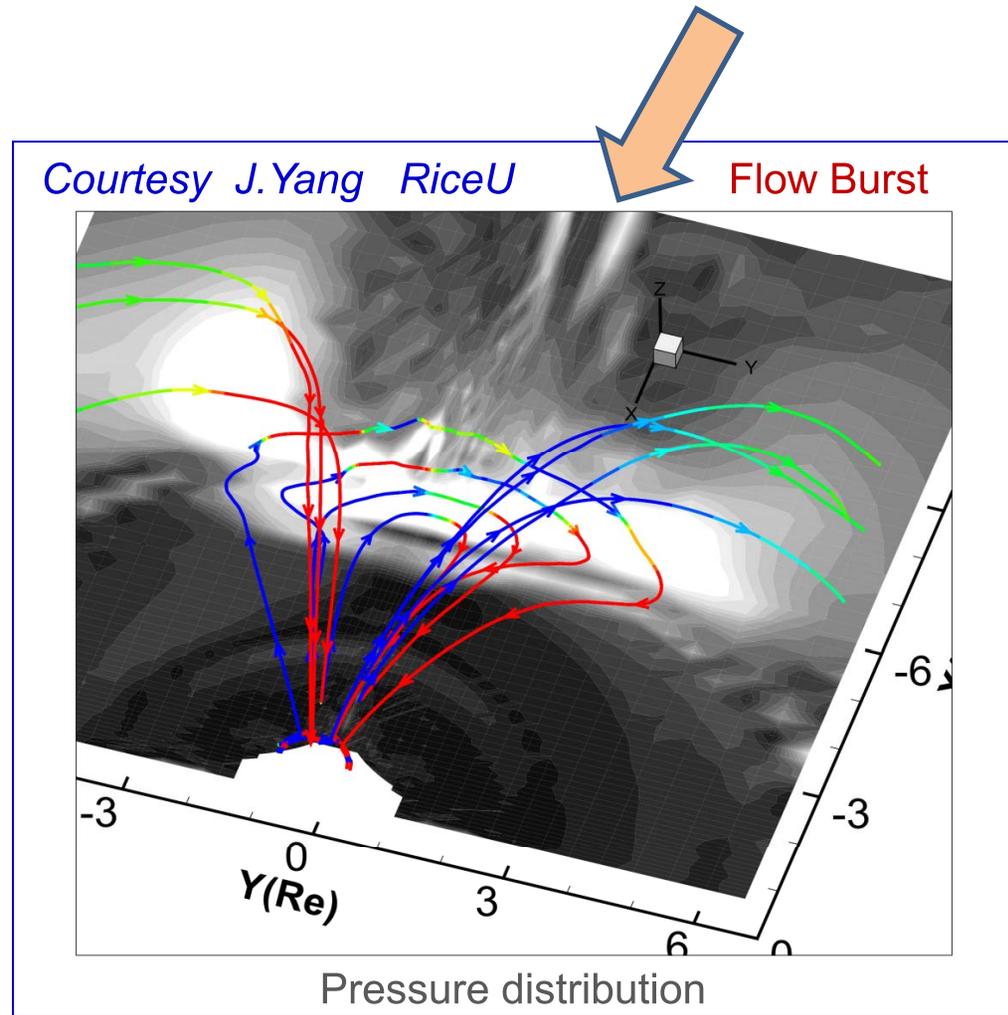
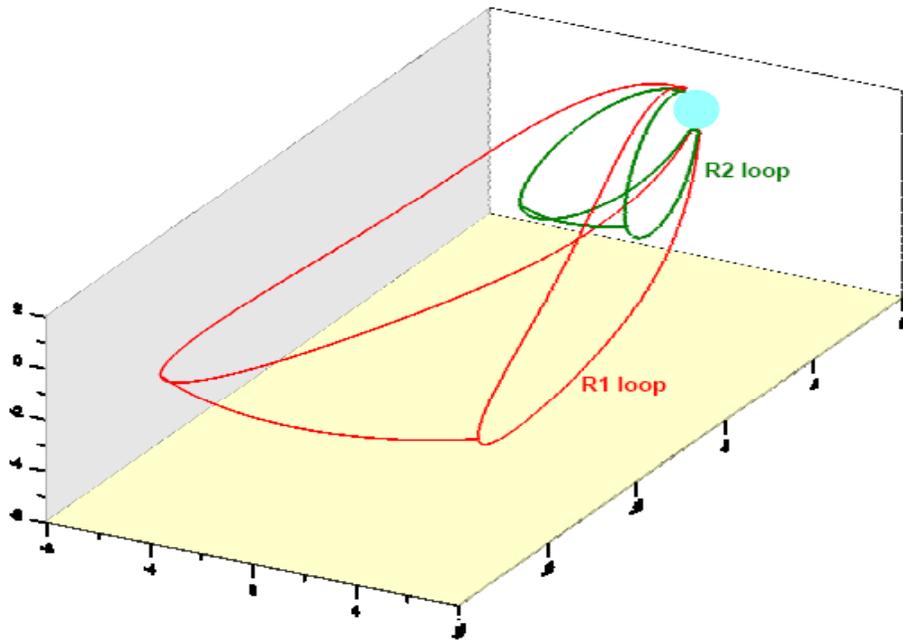
on the stretching parameter (RCF)

on the substorm time

22 substorms



Interpretation of **R2** component of the **SCW**



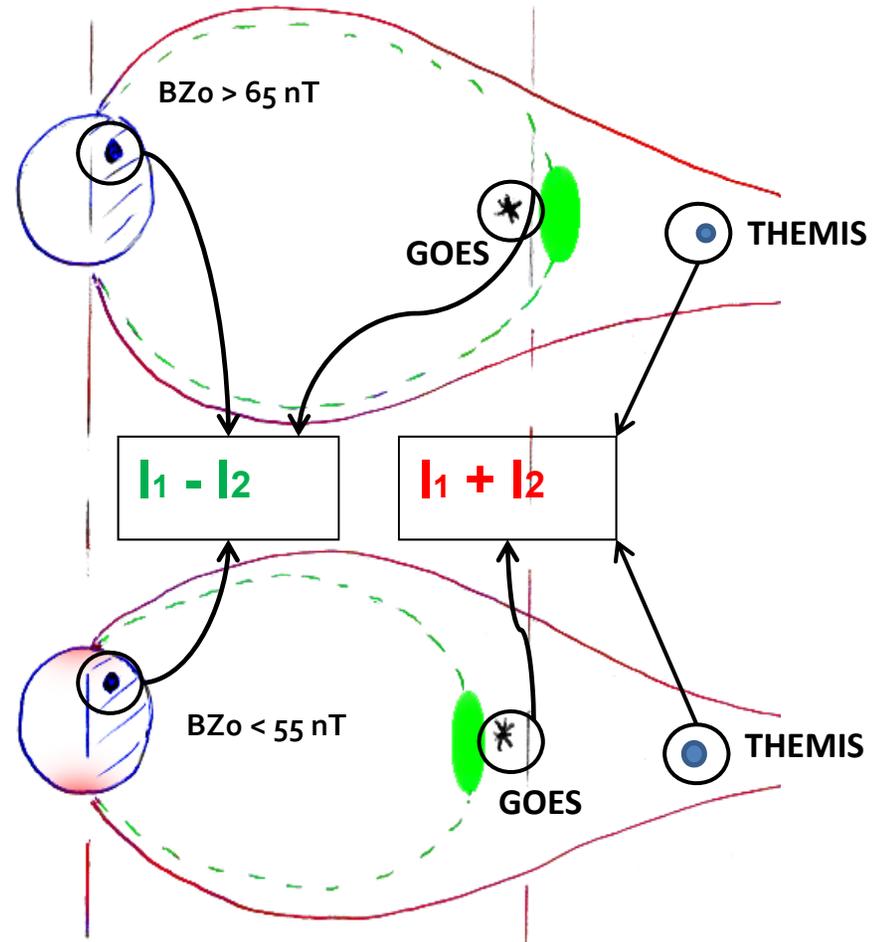
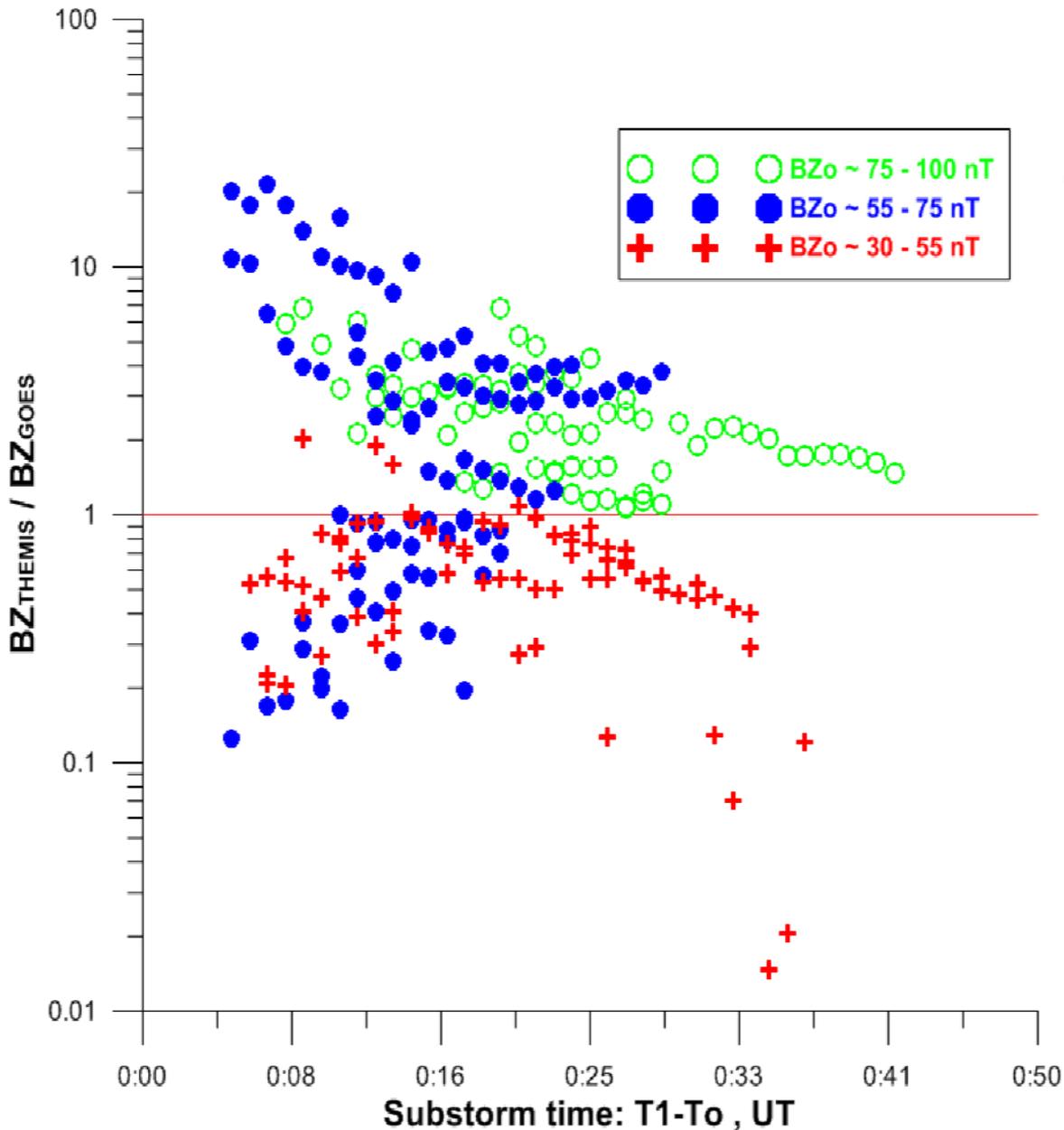
Birn et al, 1999, 2011; Yang et al 2011:
R2-like currents are generated in the frontal part of the flow burst (reconnection exhaust, bubble) when reaching the inner region with strong-B gradient ;
formed in addition to basic (**R1**) component arising at the edges of flow burst

Work in progress...

Статистический анализ (2)

- $I_{scw} > 0.05 - 0.25$ Mamp;
- $I_{scw} \sim 0.3-0.5$ Mamp;
- $I_{scw} > 0.5$ Mamp;

Возможная интерпретация: радиальное движение границы не только в хвост, но и в направлении к Земле (флуктуации???)



Заключения

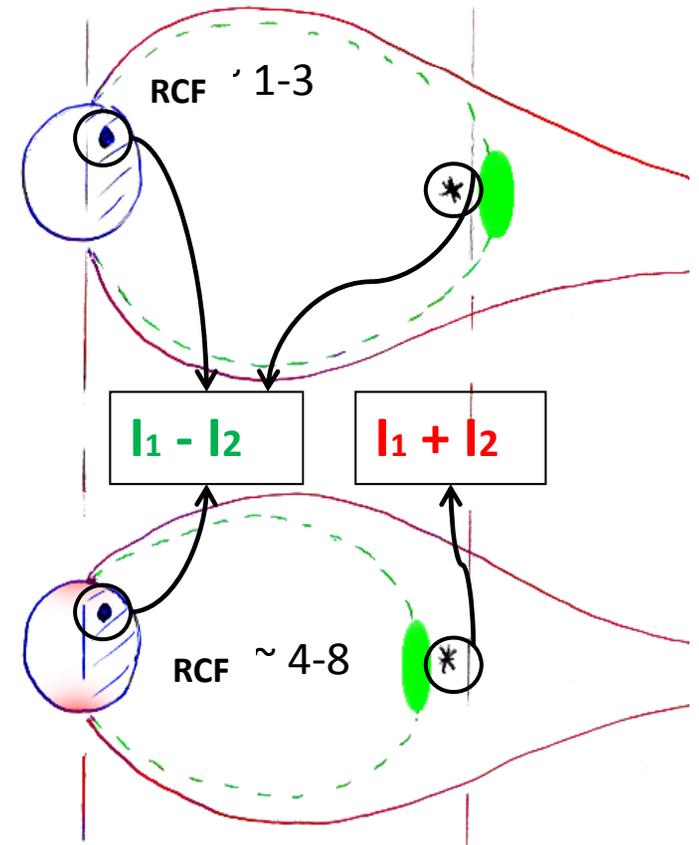
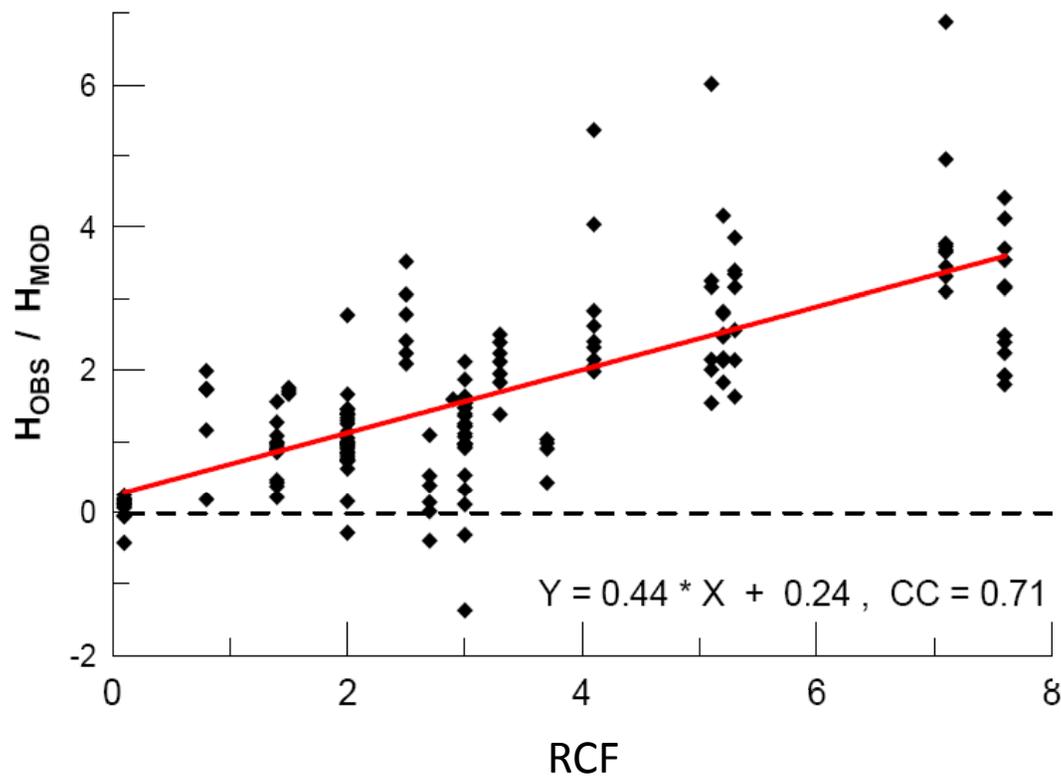
1. Подтверждено существование дополнительного элемента системы токового клина (SCW) вблизи внутренней границы плазменного слоя (ПС).
2. Анализ амплитуд магнитных возмущений $d\mathbf{BZ}_{\text{THEMIS}} / d\mathbf{BZ}_{\text{GOES}}$ подтвердил существование тока с утра на вечер типа R2, который образуется:
 - За геостационарной орбитой $X_{\text{gsm}} > -6.6R_e$ в периоды *слабо-возмущённых* событий: $I_{\text{scw}} > 0.05 - 0.25 \text{ MAmp}$, $B_{\text{zo}} \sim 80-100 \text{ nT}$;
 - в районе геостационарной орбиты ($X_{\text{gsm}} \sim 5.5-6.5 R_e$) в периоды *средне-возмущённых событий*: $I_{\text{scw}} \sim 0.3-0.5 \text{ MAmp}$, $B_{\text{zo}} \sim 55-70 \text{ nT}$;
 - на расстояниях $X_{\text{gsm}} < -5.5R_e$ в периоды *сильно-возмущённых событий*: $I_{\text{scw}} > 0.5 \text{ MAmp}$, $B_{\text{zo}} \sim 30-55 \text{ nT}$;

Анализ отдельного события 2009/04/08 показывает (подтверждает), что в периоды *слабых возмущений* ($B_{\text{zo}} \sim 80-100 \text{ nT}$, $I_{\text{scw}} \sim 0.05 - 0.25 \text{ MAmp}$) экваториальная часть токового клина зоны 2 находится за геостационарной орбитой в районе $X_{\text{gsm}} \sim 7 R_e$.

3. Существует систематическая зависимость $d\mathbf{BZ}_{\text{THEMIS}} / d\mathbf{BZ}_{\text{GOES}}$ от времени взрывной фазы суббури, что в свою очередь может обуславливаться радиальным движением экваториальной части токового клина.

Зависимость H_{obs}/H_{mod} от конфигурации магнитных силовых линий

Область диполизации отодвигается в хвост ☐
схождение отношения H_{obs}/H_{mod} к единице.



Модель токового клина суббури (TW09, Sergeev et al, JGR, 2011)

Модель каркасного типа с токами конечной толщины, текущими по реальным силовым линиям - пригодна для расчетов как в ионосфере, так и в магнитосфере

Входные параметры модели:

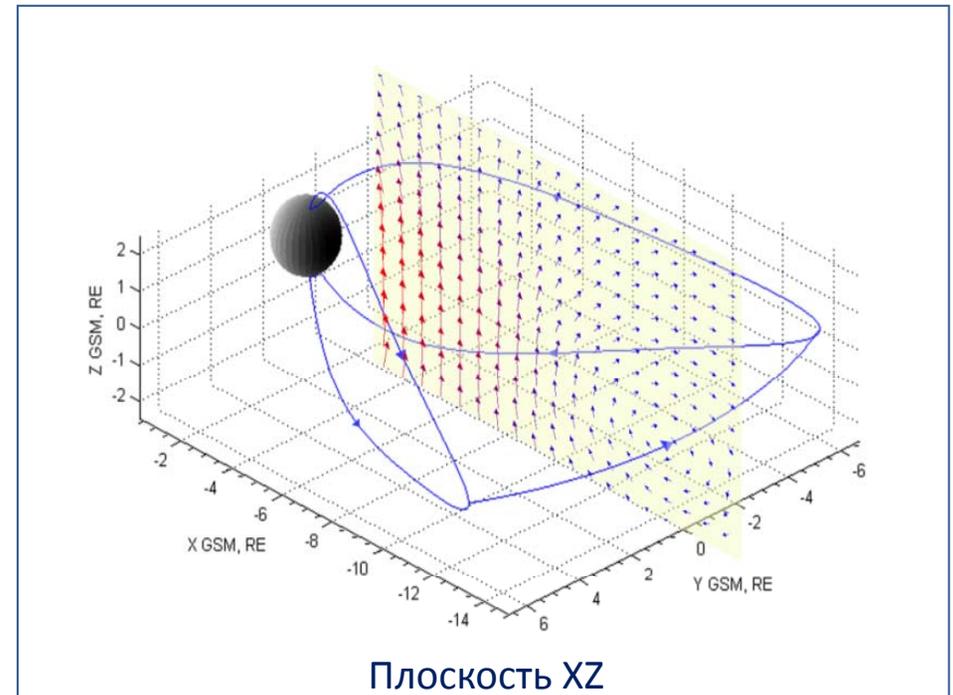
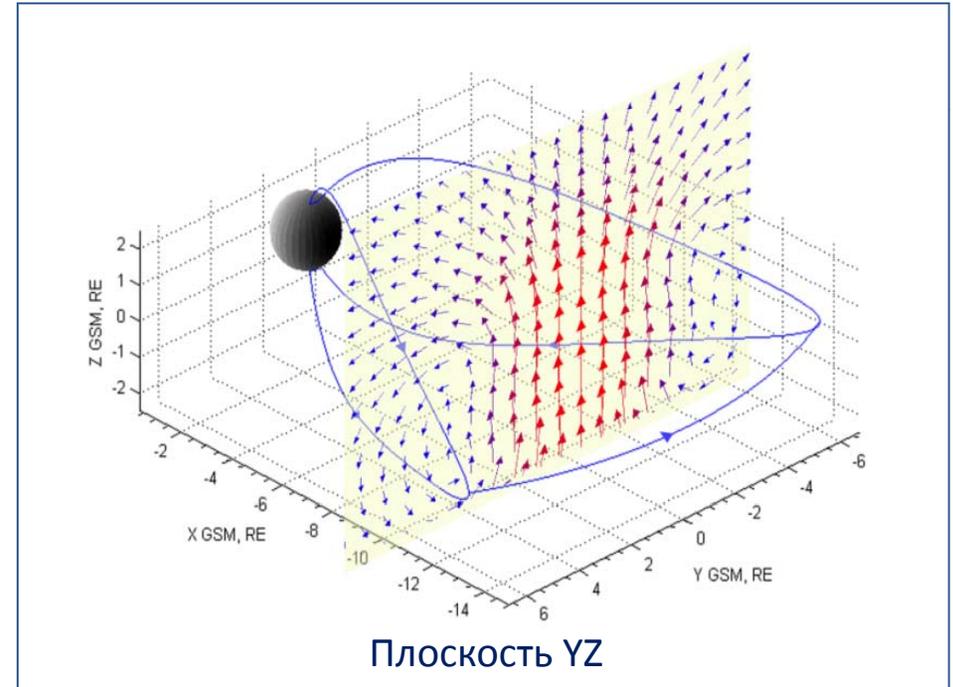
Pw, Pe – долготы продольных токов;

Iscw – интенсивность.

RT - положение области разрушения тока; *требуется определения по спутниковым данным*

RCF – контролирует вытянутость силовых линий в модели T89; *требуется определения по спутниковым данным*

D :~ B^{-1/2} у Земли, но <2Re на $\geq 15Re$.



$$\vec{B} = \frac{I}{c} \oint \frac{\vec{e}_j \times (\vec{R} - \vec{R}')}{|\vec{R} - \vec{R}'|^3} ds$$

