

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ И СУББУРЬ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Белаховский В.Б.¹, Пилипенко В.А.², Сахаров Я.А.³,
Епишкин Д., Селиванов В.Н.⁴

¹ – Полярный геофизический институт, г. Апатиты

² – Институт физики Земли РАН, г. Москва

³ – Геофизический центр РАН, г. Москва

⁴ – Центр физико-технический проблем энергетики Севера КНЦ РАН, г. Апатиты

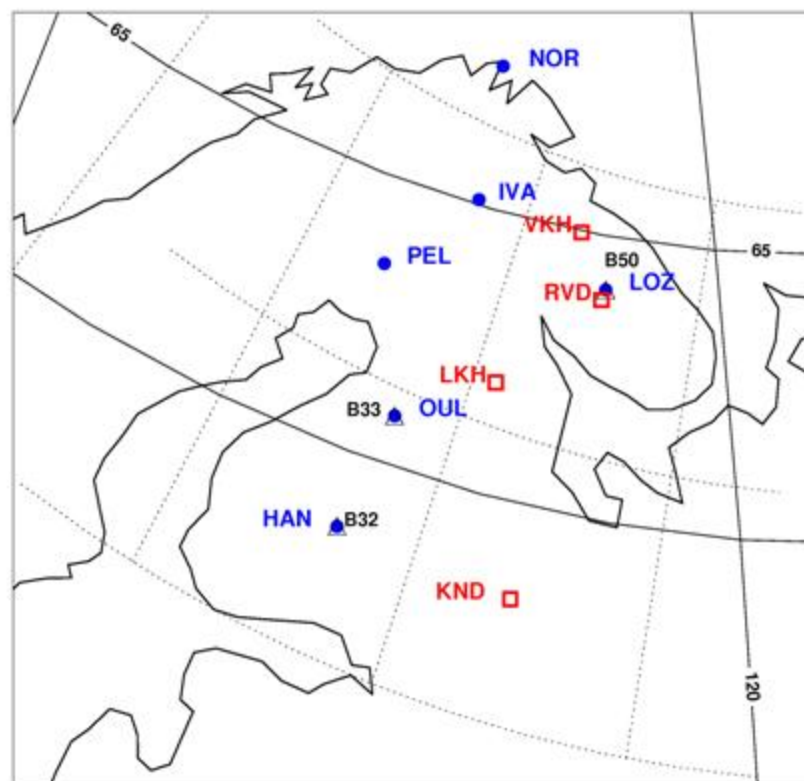
- Рост геомагнитно-индуцированных токов (по западной терминологии - geomagnetically induced currents, GIC) в протяженных технологических системах – важнейший фактор космической погоды.

Наведенные ГИТ опасны для трубопроводов, высоковольтных линий электропередач, железнодорожного оборудования, морских коммуникационных кабелей, телефонных и телеграфных линий.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

- ПГИ совместно с ЦФТПЭС КНЦ РАН создана единственная в России система регистрации ГИТ.
- ГИТ регистрируются в линиях электропередач Кольского полуострова и Карелии. Система включает в себя 5 станций. Регистрация ведется непрерывно с 2010 года.
- данные магнитометров сети IMAGE.

В данной работе произведена оценка воздействия магнитосферных и ионосферных возмущений (суббури, P13 пульсации, SSC, TCV импульсы) на резкие скачки ГИТ в линиях электропередач.

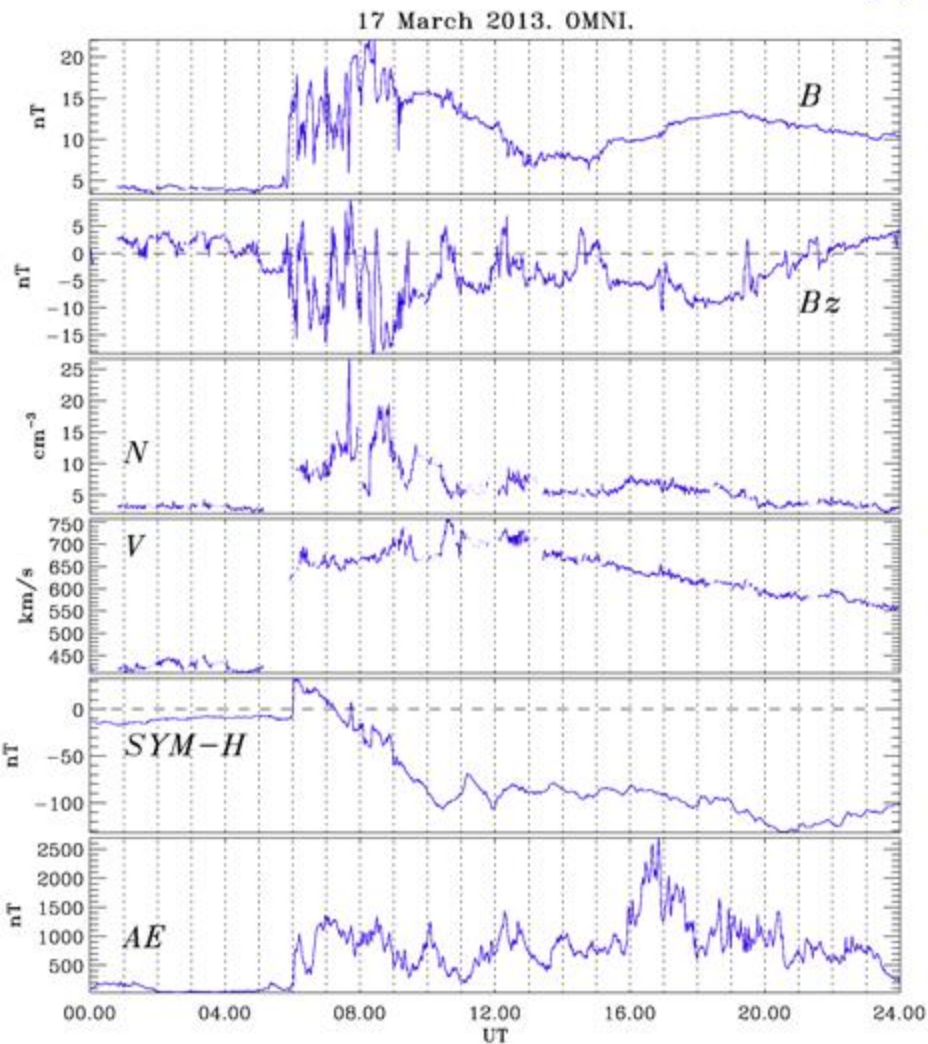


Название станции	код	Геогр. шир., °	Геогр. долг, °	Напр. в линии
Vykhodnoj	VKH	68.83	33.08	330 кВ
Revda	RVB	67.77	34.99	110 кВ
Titan	TTN	□67.5	33.62	330 кВ
Loukhy	LKH	65.77	31.08	330 кВ
Kondopoga	KND	□62.2	34.28	330 кВ

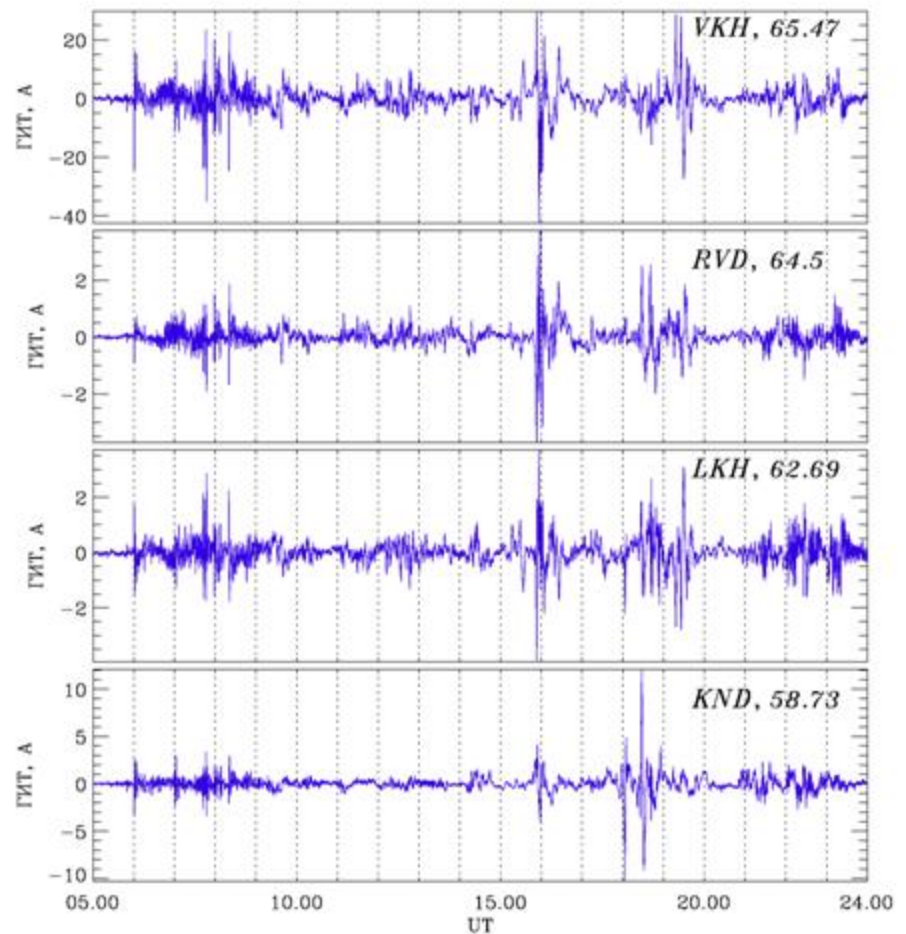
1

- Система регистрации вытянута в направлении север-юг.
- Данные этой сети передаются в европейскую сеть по регистрации ГИТ EURISGIC (European Risk for Geomagnetically Induced Currents, <http://eurisgic.org>).

Магнитная буря 17-18 марта 2013



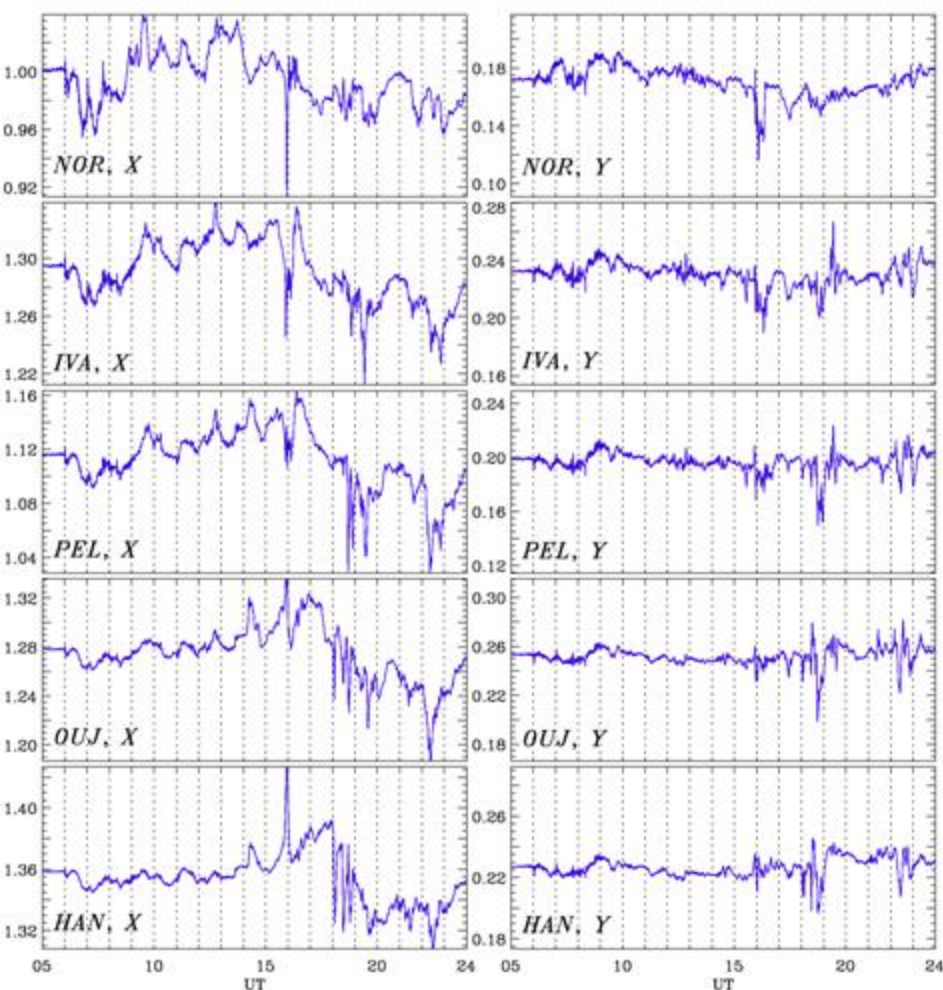
SC в ~06 UT, $V \sim 650-700$ км/с
 $AE \sim 2500$ нТл, $SYM-H \sim -150$ нТл



$VKH \sim 40$ A, $KND \sim 12$ A

- Белаховский В.Б., Пилипенко П.А., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н. Характеристики
вариабельности геомагнитного поля для изучения воздействия магнитных бурь и
суббурь на электроэнергетические системы // *Физика Земли*. № 1. с. 56-68. 2018.

$$\Delta X \gg \Delta Y$$



$|dY/dt|$ лучше коррелирует с ГИТ, чем $|dX/dt|$

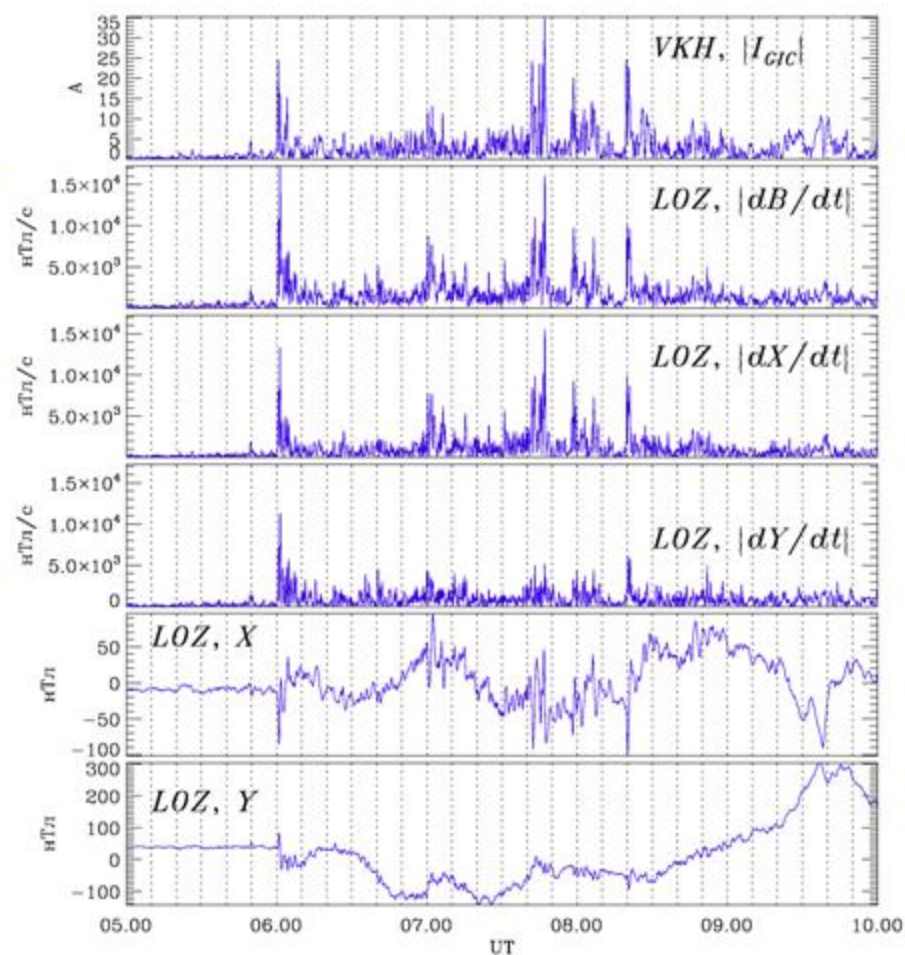
но $|dX/dt|$ и $|dY/dt|$ сопоставимы

Коэффициенты корреляции (7-10 UT):

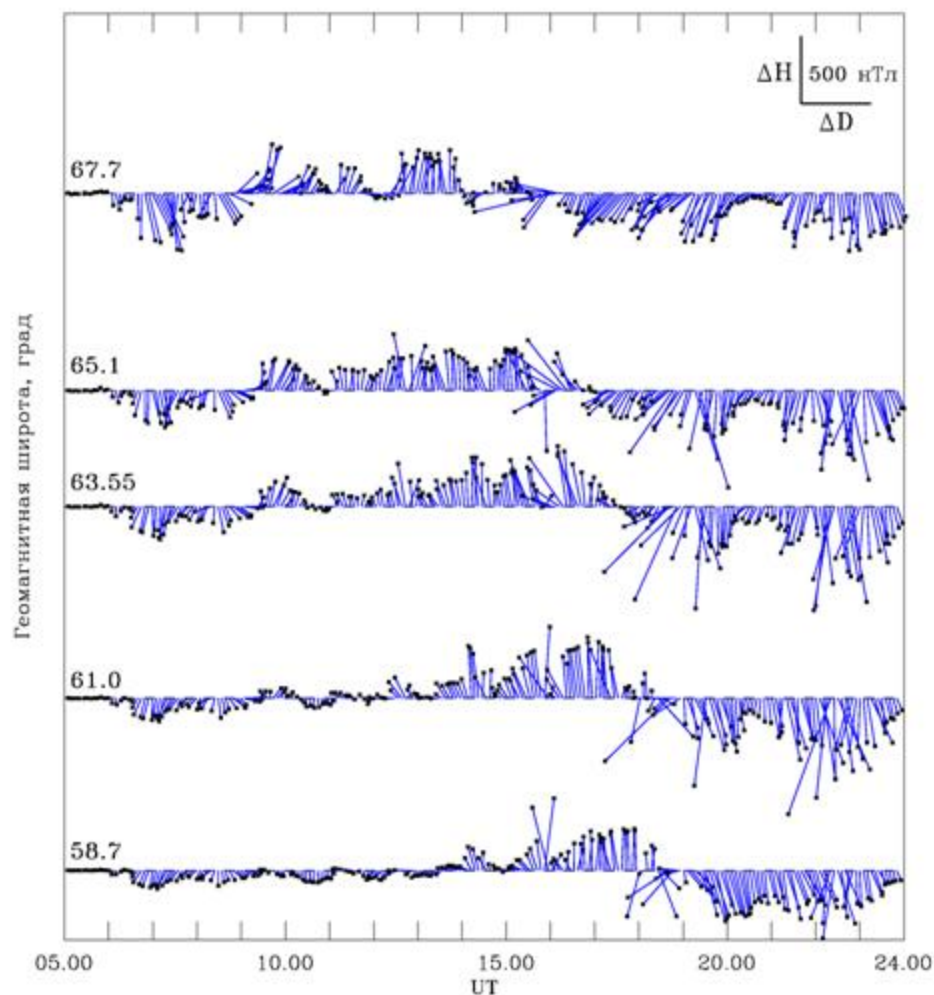
$$R(|dX/dt| - |I_{GIC}|) = 0.45,$$

$$R(|dY/dt| - |I_{GIC}|) = 0.61,$$

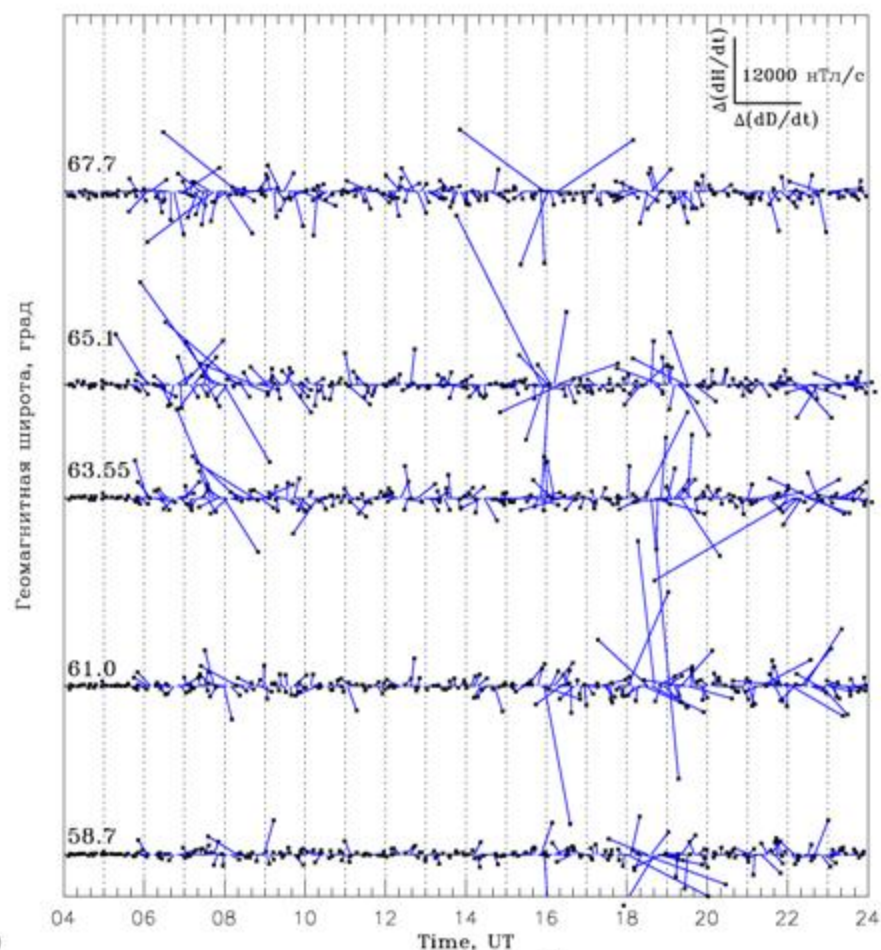
$$R(|dB/dt| - |I_{GIC}|) = 0.63.$$



Временная вариация вектора магнитных возмущений вдоль меридионального профиля



Временная вариация производной вдоль меридионального профиля

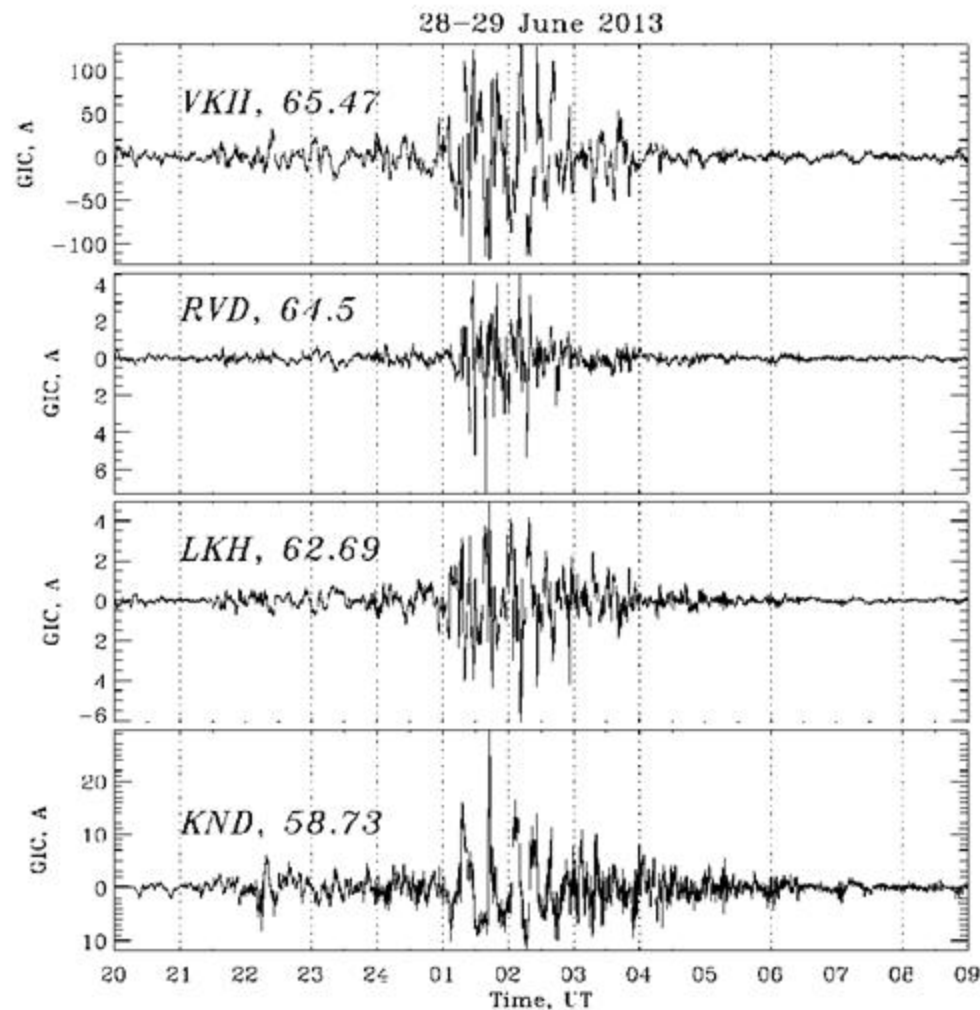


Для производной характерны более хаотичные вариации

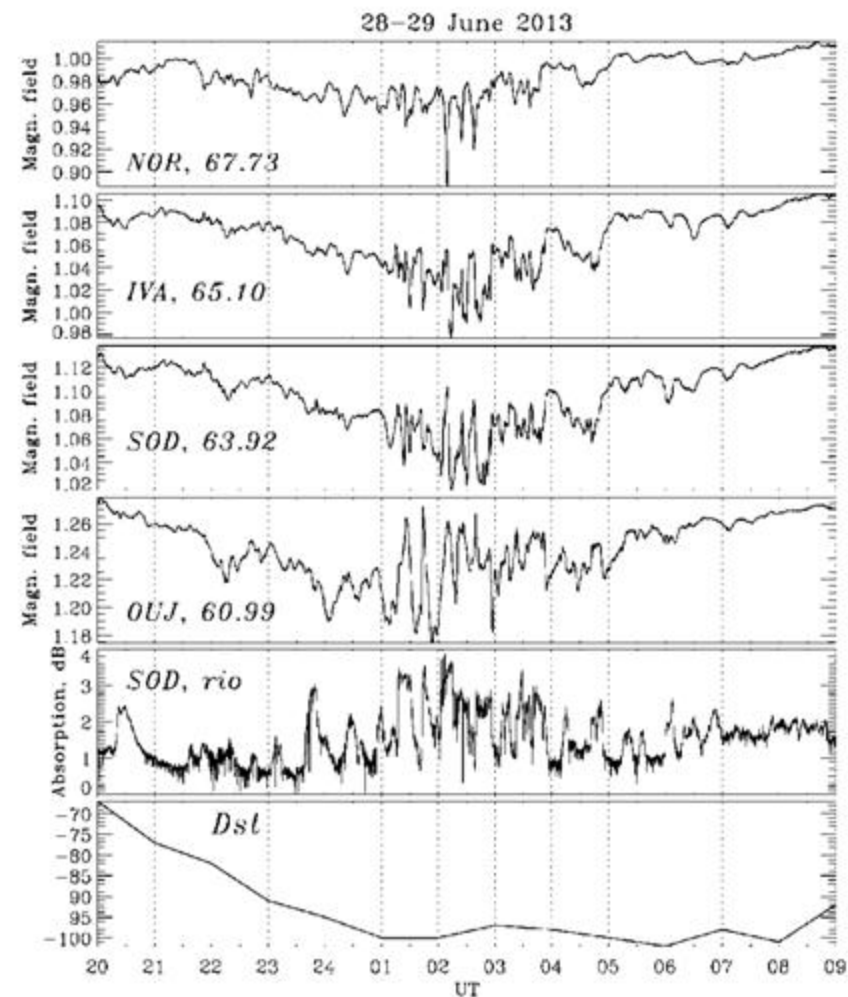
Полученное распределение dB/dt не может быть объяснено простой моделью протяженного ионосферного тока и требует учета полей от нестационарных вихревых структур, создаваемых локальными продольными токами. Хотя амплитуды тока в таких структурах сравнительно невелики и не могут существенно повлиять на распределение B , но их временные вариации достаточно быстрые, и тем самым они заметно влияют на распределение dB/dt .

Вклад Y -компоненты геомагнитного поля сопоставим и иногда превосходит вклад X -компоненты в скачки ГИТ. Таким образом, ГИТ представляют опасность и для электропроводящих энергетических систем, вытянутых в том числе и в северно-южном направлении.

Магнитная буря 28–29 июня 2013

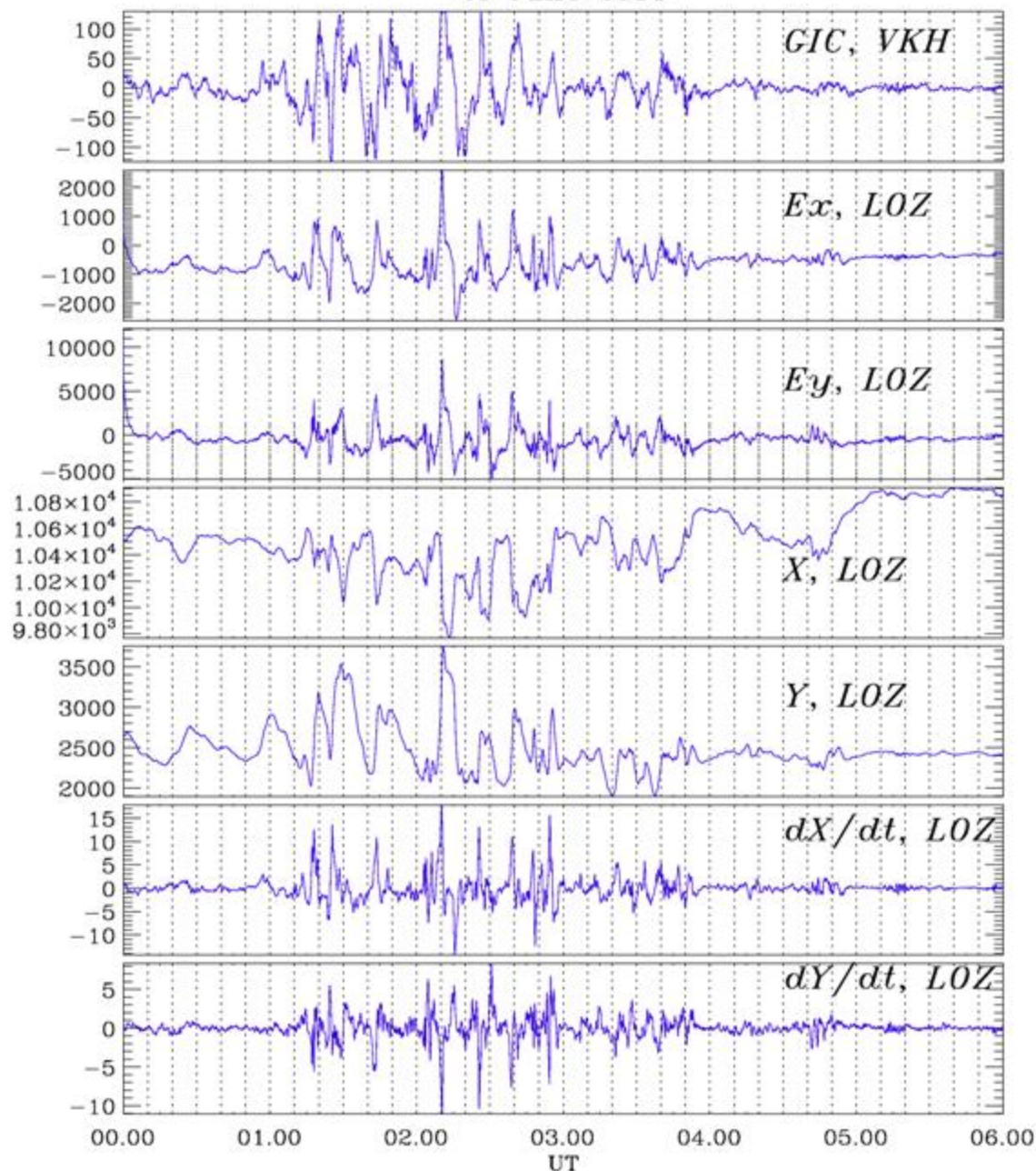


Наибольшие значения тока за историю наблюдений (120 A)



Pi3 пульсации на фоне суббури

29 June 2013

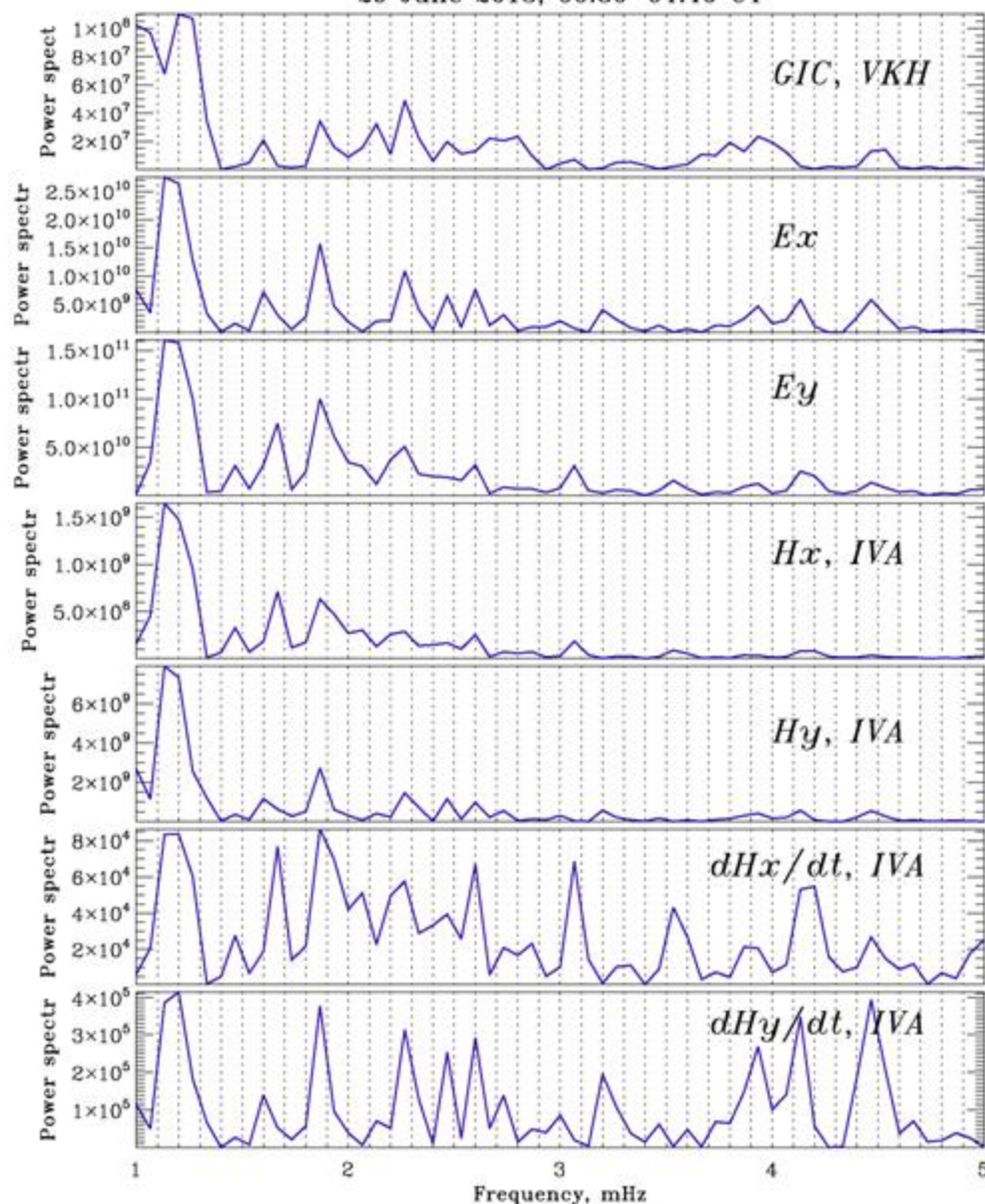


Теллурическое поле E_x , E_y , ответственное за генерацию ГИТ.

Были использованы импедансы земной поверхности, рассчитанные в ходе глобального эксперимента BEAR 1998 г. по магнитотеллурическому зондированию (MTЗ) Скандинавии, Кольского полуострова

Вариации магнитного поля лучше коррелируют с ГИТ, чем dB/dt

29 June 2013, 00.30–04.40 UT



K-т корреляции (01-04 UT):

$$R(E_x - I_{GIC}) = 0.542736$$

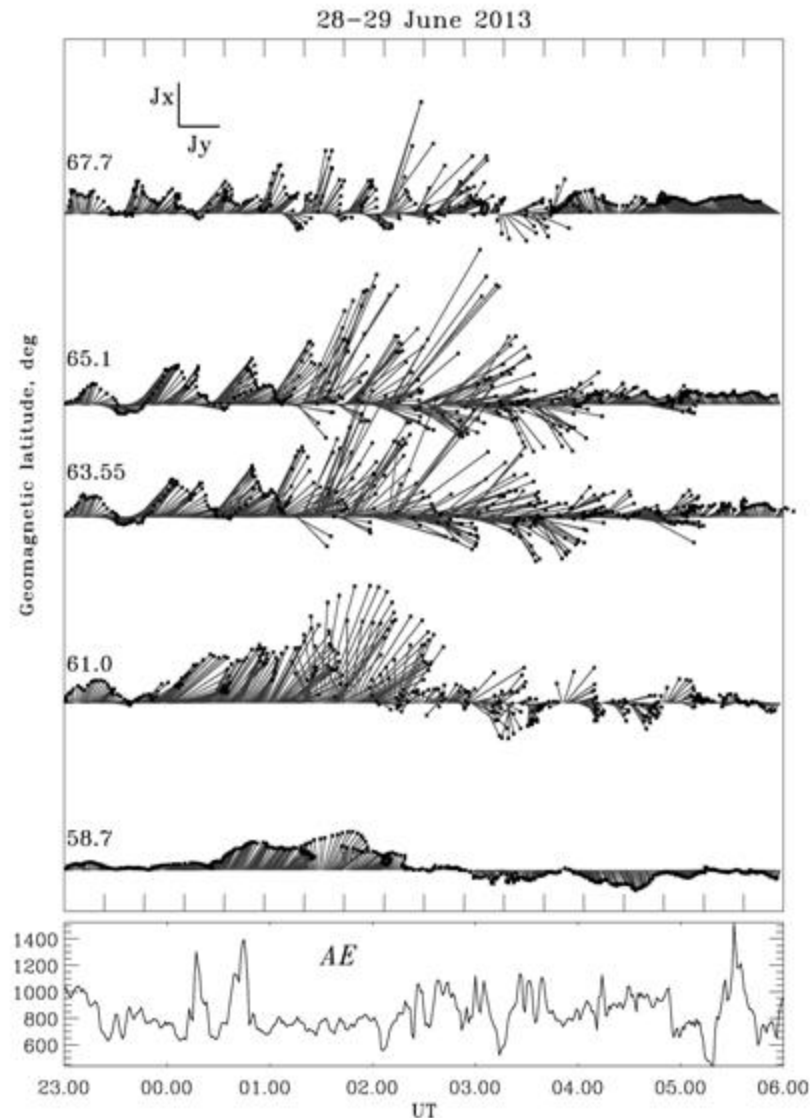
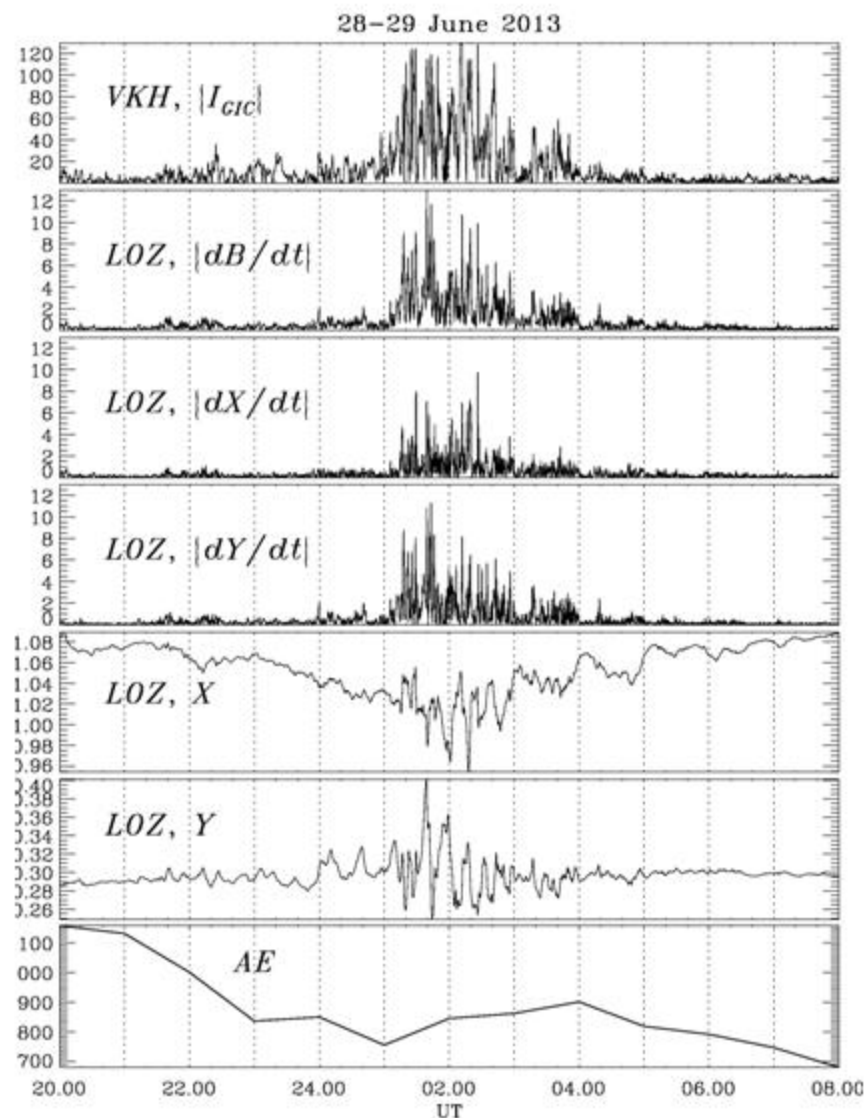
$$R(E_y - I_{GIC}) = 0.374345$$

$$R(H_x - I_{GIC}) = -0.289352$$

$$R(H_y - I_{GIC}) = 0.691911$$

$$R(dH_x/dt - I_{GIC}) = -0.0582581$$

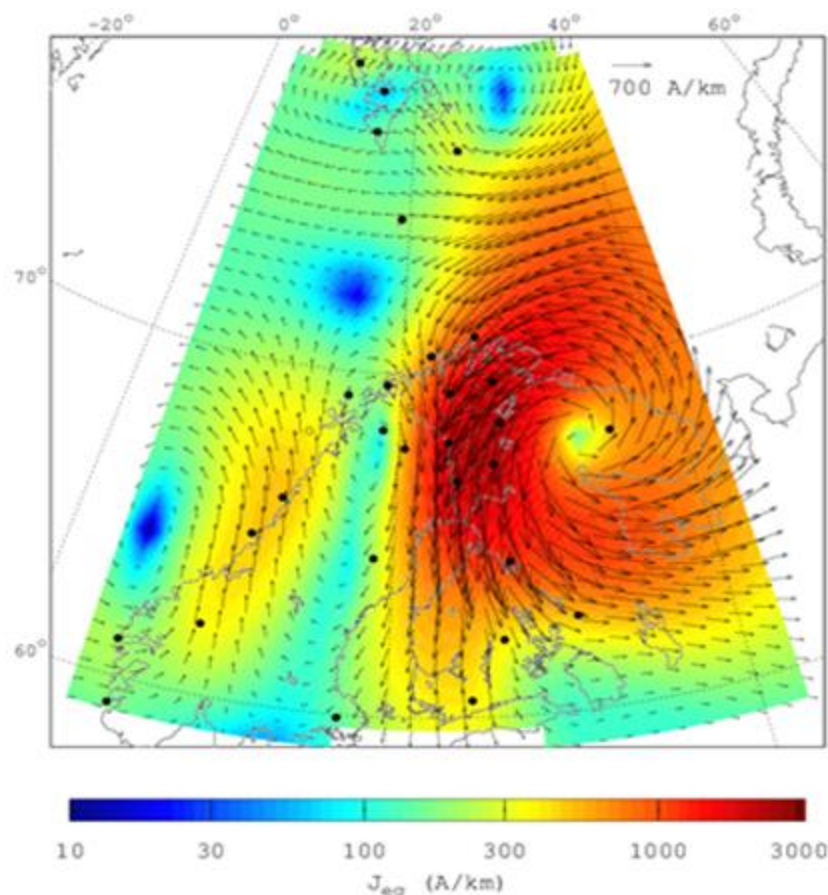
$$R(dH_y/dt - I_{GIC}) = 0.00376682$$



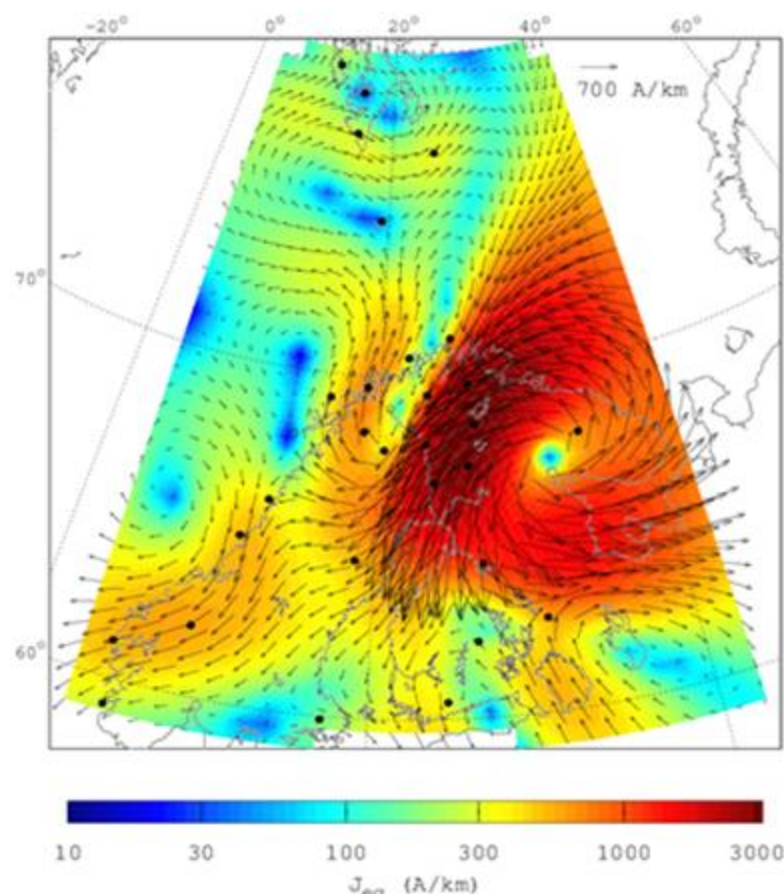
Экстремальные значения ГИТ могут быть вызваны не только временными вариациями X , Y -компонент геомагнитного поля, но и пространственными вариациями мелкомасштабных вихревых ионосферных токовых систем, связанных с продольными токами в магнитосфере.

Двухмерные эквивалентные ионосферные токи для события 29 июня 2013 года в Скандинавии и на Кольском полуострове.

01.25 UT

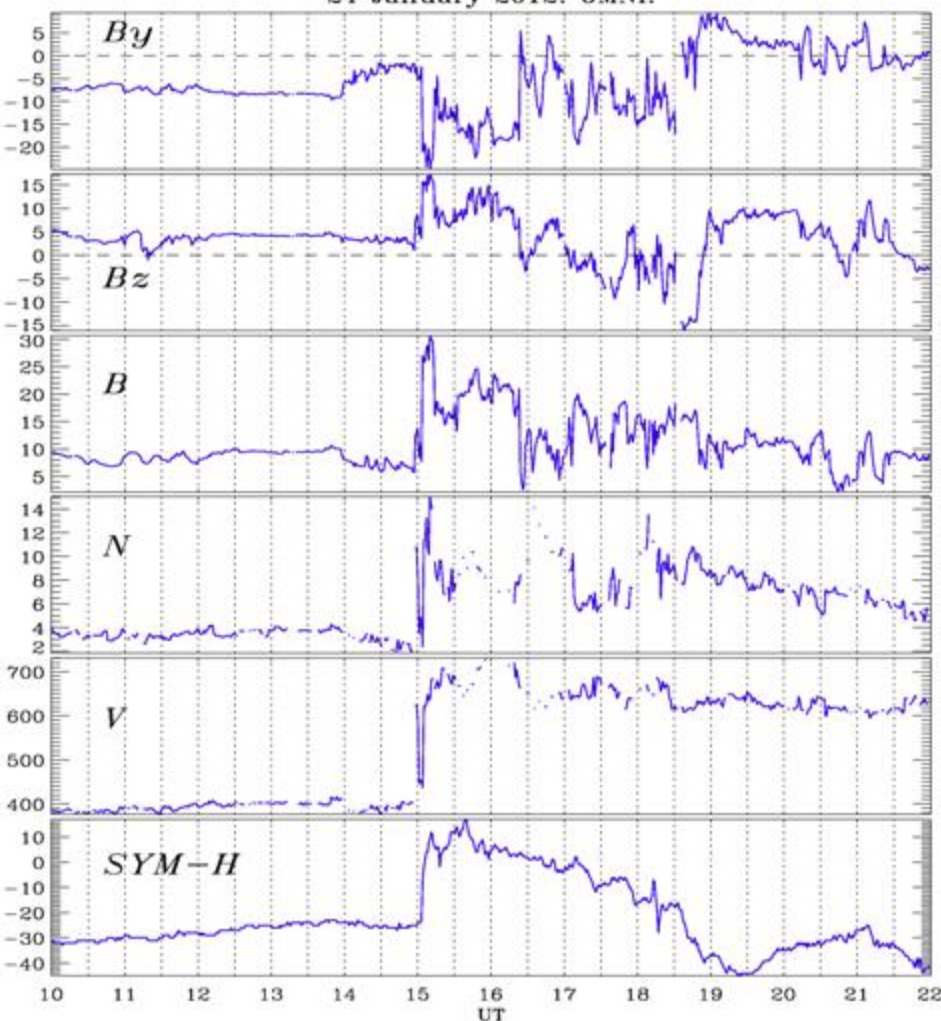


02.10 UT



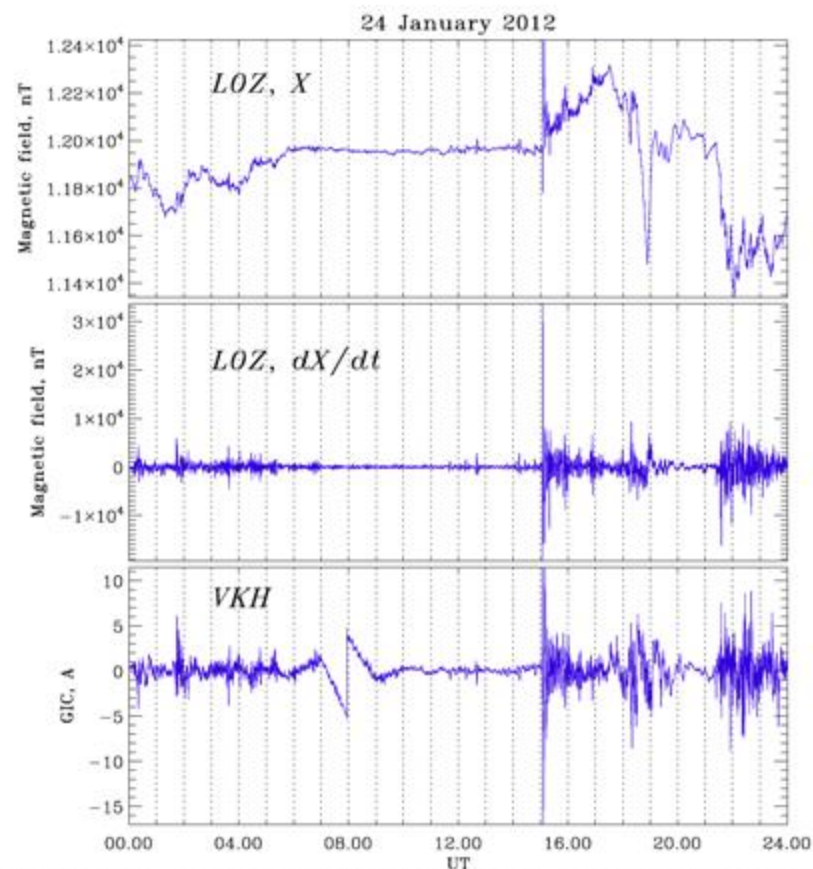
В рост величины ГИТ заметный вклад вносит не только авроральный электроджет, но и мелкомасштабные токовые системы (вихревые токовые системы, связанные с продольными токами в магнитосфере). Это необходимо учитывать при построении моделей ГИТ.

24 January 2012. OMNI.



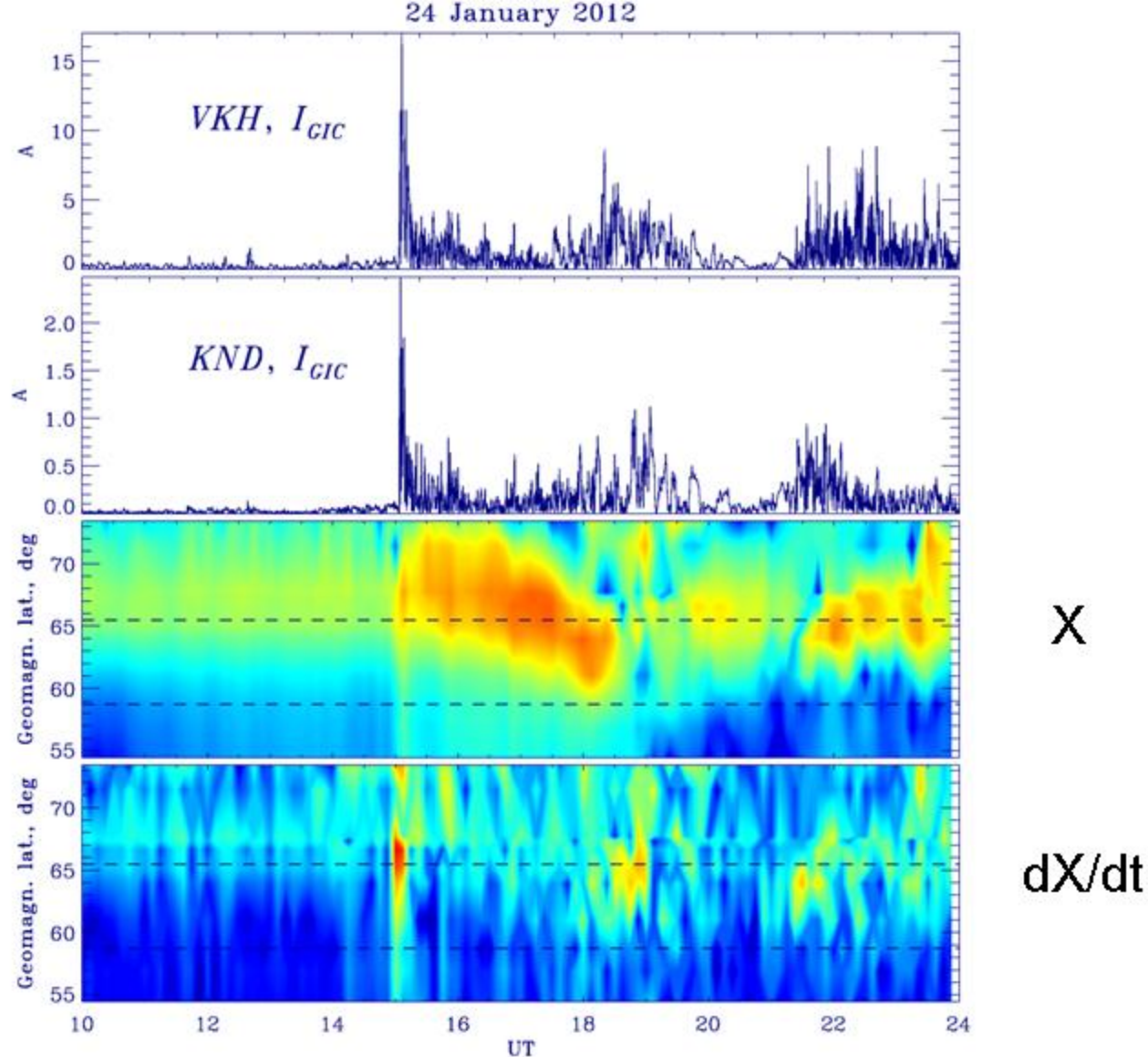
Storm sudden commencement

VKH ~ 30 A.



dX/dt на станции LOZ хорошо коррелирует с ГИТ на станции VKH

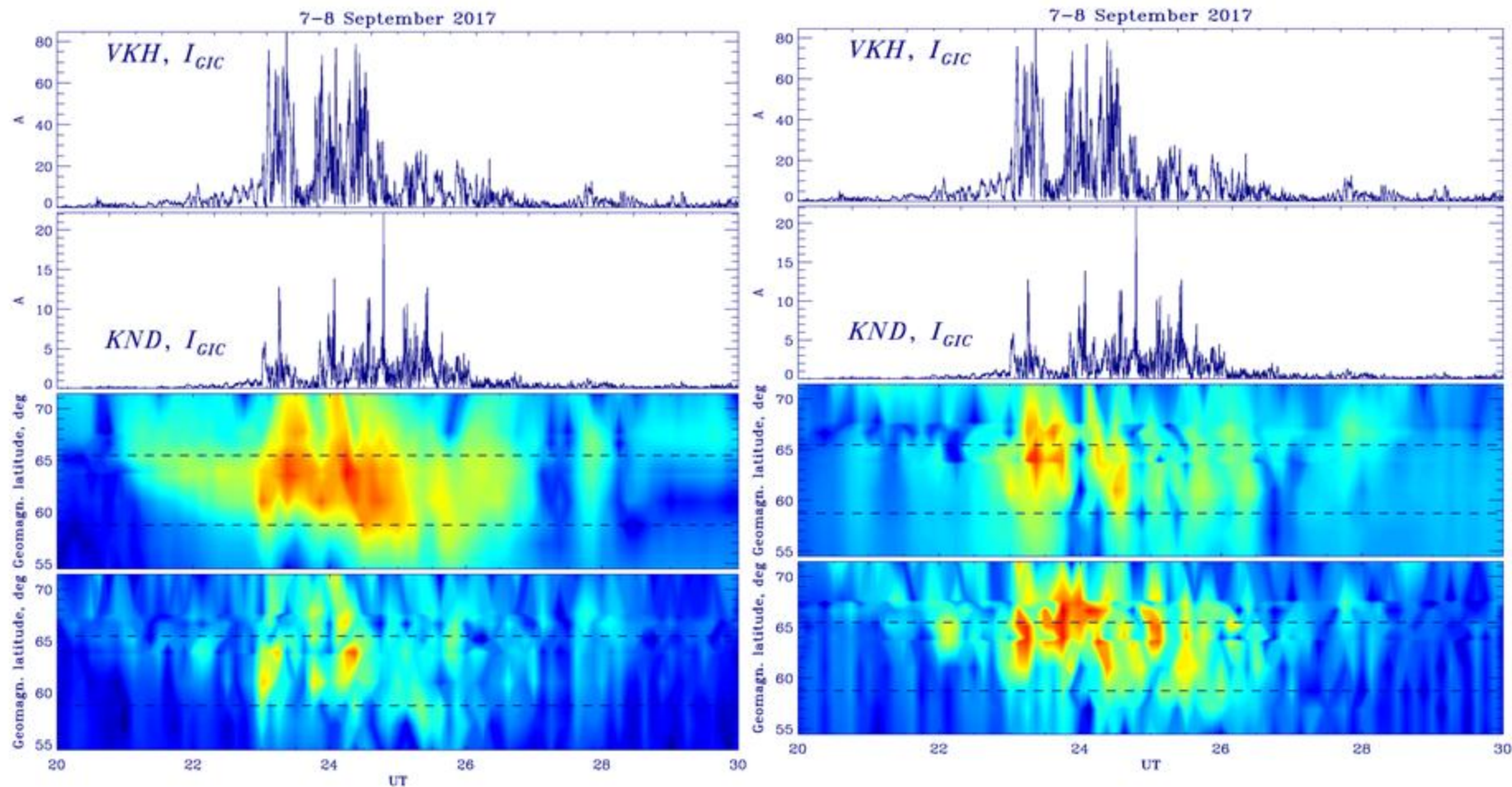
- Belakhovsky V.B., Pilipenko V.A., Sakharov Ya.A., Lorentzen D.L., Samsonov S.N. Geomagnetic and ionospheric response to the interplanetary shock on January 24, 2012 // *Earth, Planets and Space*. Vol. 69. Issue 1. article id. #105. 25 pp. 2017



Пространственное распределение максимума геомагнитных возмущений не совпадает с пространственным распределением максимума производной dX/dt . Поэтому проблема предсказания ГИТ далеко не всегда сводиться к предсказанию АЕ индекса.

7-8 сентября 2017 года

Пространственное распределение геомагнитных вариаций, производной



Выводы

Крупномасштабная структура ионосферных токов на авроральных широтах определяется авроральным электроджетом, что проявляется в преобладании X -компоненты магнитных возмущений. Однако вклад dY/dt может даже превышать вклад dX/dt . Векторная техника представления вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля и его производной показала гораздо большую вариабельность величины dB/dt по сравнению с ΔB .

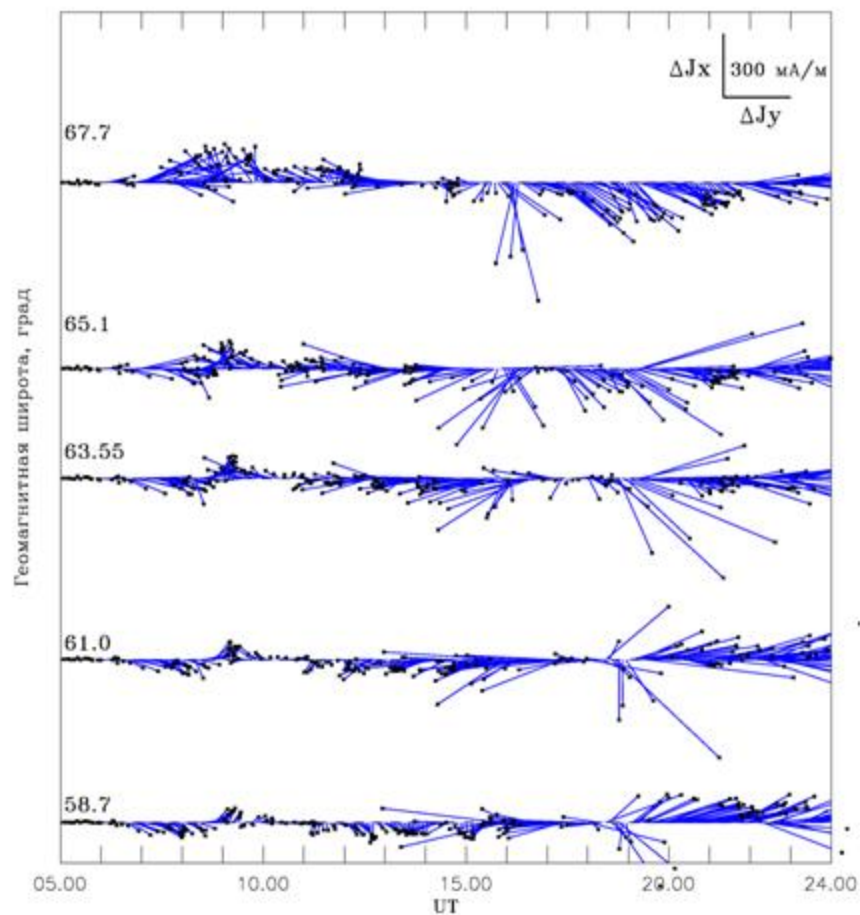
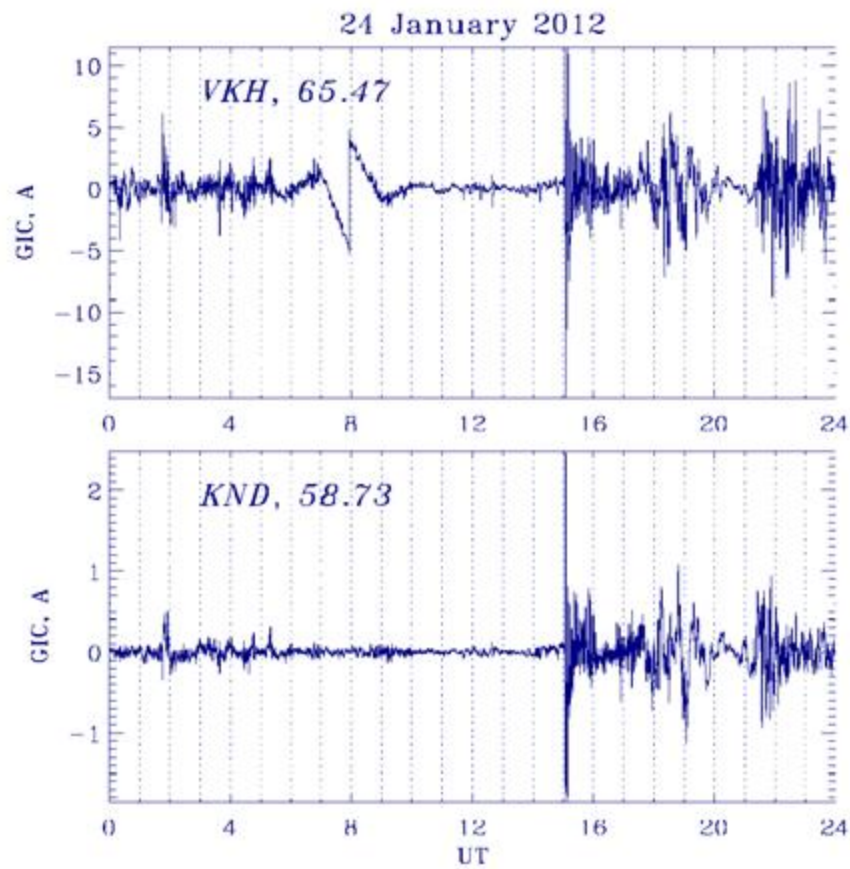
Эти результаты не могут быть объяснены простой моделью протяженного ионосферного тока и показывают важность учета полей мелкомасштабных (вихревых) токовых структур для расчета ГИТ.

В результате ГИТ направлены как в восточно-западном, так и в северно-южном направлениях. Поэтому ГИТ представляют опасность и для технологических систем, вытянутых в направлении север-юг.

Экстремальные значения ГИТ могут быть вызваны не только временными вариациями X , Y -компонент геомагнитного поля, но и пространственными вариациями мелкомасштабных вихревых ионосферных токовых систем, связанных с продольными токами в магнитосфере.

Пространственное распределение максимума геомагнитных возмущений не совпадает с пространственным распределением максимума производной геомагнитного поля. Поэтому проблема предсказания ГИТ далеко не всегда сводится к предсказанию суббури (АЕ индекса).

Наибольших значений ГИТ достигает во время суббури.

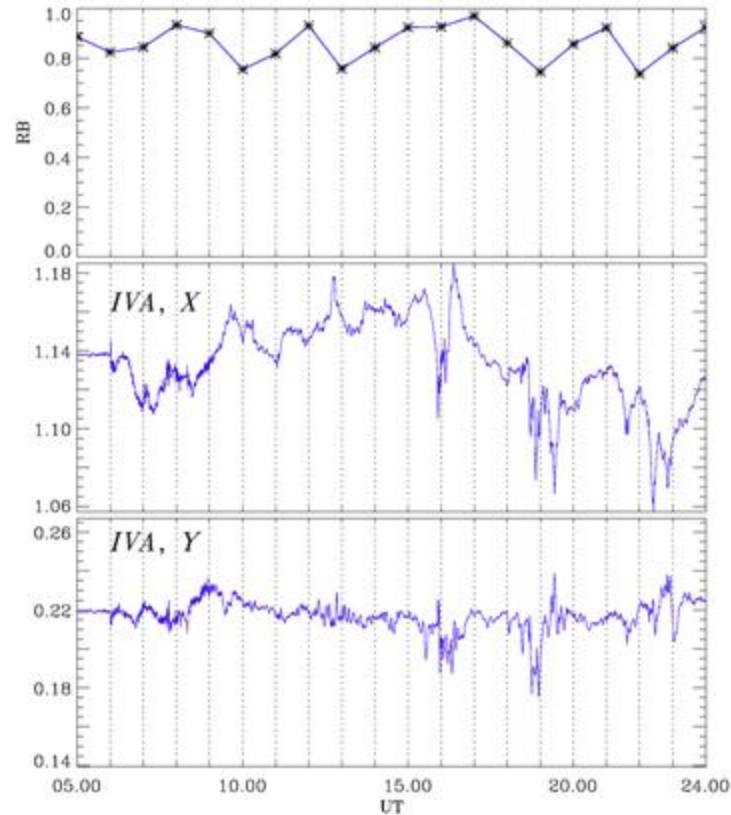


Крупномасштабная структура ионосферных токов на авроральных широтах определяется восточно-западным электроджетом. Однако на более мелком региональном уровне эквивалентные ионосферные токи и создаваемые ими геомагнитные возмущения испытывают сильные вариации по направлению.

В результате ГИТ направлены как в В-З, так и в С-Ю направлениях.

Эти результаты показывают важность учета мелкомасштабных токовых структур для расчета ГИТ.

Поэтому простая характеристика динамики геомагнитного поля, полностью определяющая величину ГИТ, вряд ли существует. Для практических приложений важно оценить, какой величины ГИТ можно ожидать при различных по физической природе геомагнитных возмущениях.



$$RB = 1 - \frac{1}{N} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N \cos_x \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N \cos_y \right)^2}$$

В результате, ГИТ направлены как в восточно-западном, так и в северно-южном направлениях.

Однако на более мелком региональном уровне эквивалентные ионосферные токи и создаваемые ими геомагнитные возмущения испытывают сильные вариации не только по величине, но и по направлению.

