



Russian Academy of Sciences

**IZMIRAN**

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ТРЕХМЕРНЫХ ТОКОВ  
В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ  
СРЕДЫ ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ**

*А.Е. Левитин*

До эпохи спутниковых измерений представление о токовых системах в ионосфере было двумерное. Полагалось, что ток в ионосфере, создающий геомагнитные вариации на уровне земной поверхности, сосредоточен в её слое E, и что это – динамо-ток. Чтобы такую ситуацию подчеркнуть, я хочу напомнить, что создатель Ленинградской школы магнитосферщиков, Михаил Иванович Пудовкин, которому было 34 года, весной 1968 года защитил докторскую диссертацию - «Морфология и природа полярных бурь», где полярные бури объяснялись этим током.

Трёхмерная картина токов, которая существует сегодня, за свой 45-летний период развития - с начала 70-х гг, была доведена до модельного представления, и об этом ее представлении идет речь в данном докладе.

## *Обратим внимание на*

- *Данные, используемые для модельного построения пространственно-временного распределения электрического поля и трехмерных токов в высокоширотной ионосфере.*
- *Предположения (постулаты), которые используются для этого построения*
- *Методы расчета электрического поля и токов.*
- *Модели электрического поля и токов: их подобие и различия.*
- *Результаты сопоставления моделей со спутниковыми и радарными измерениями.*

# Данные, используемые для модельного построения пространственно-временного распределения электрического поля и трехмерных токов в высокоширотной ионосфере

- ✓ *Параметры межпланетной среды вблизи дневной магнитосферы*  
*Скорость, концентрация частиц, межпланетное магнитное поле (ММП)*
- ✓ *Спутниковые измерения в магнитосфере*  
*Магнитное поле, электрическое поле*
- ✓ *Радары*  
*Конвекция, электрическое поле*
- ✓ *Геомагнитные измерения на уровне земной поверхности*  
*Данные магнитных обсерваторий*
- ✓ *Модель проводимости ионосферы*

# Предположения (постулаты), которые используются для модельного построения пространственно-временного распределения электрического поля и трехмерных токов в высокоширотной ионосфере

- ✓ Силовые линии геомагнитного поля эквипотенциальны и они перпендикулярны к земной поверхности.
- ✓ Ионосфера рассматривается как тонкая пленка, расположенная на высоте 100 км, обладающая интегральной по высоте реальной ионосферы проводимостью.
- ✓ Электрическое поле, создаваемое в ионосфере магнитосферными источниками, потенциально.
- ✓ Пространственный размер токовых систем  $L$  много больше высоты слоя  $E$  ионосферы.
- ✓ Проводимость земной поверхности велика.
- ✓ Форма токовой системы :  $J_{\perp} + J_{\parallel}$ .
- ✓  $\Sigma_{хол} \gg \Sigma_{мед}$ .

*Рецепт решения задачи восстановления электрического поля и трехмерной токовой системы в полярной ионосфере по наземным геомагнитным данным был предложен Керном :*

*Kern I.W., Analysis of polar magnetic storms // J.Geomagn. Geoelectr. 1966. P.125.*

*Программы решения этой задачи были реализованы практически одновременно*

- в ИЗМИРАН (группа Я.И. Фельдштейна) при участии математиков А.Л.Крылова и Д.С. Фаермарка (ИФЗ РАН),*
- в группе В.М. Мишина (СИБИЗМИР),*
- за рубежом создан метод KRM: Kamide Y, Richmond A. D., Matsushita S.*

*Исходным материалом для решения задачи являются наземные геомагнитные данные.*

# Восстановление высокоширотных токовых систем по геомагнитным данным

1. Выделение геомагнитных вариаций на уровне земной поверхности  
(обсерватория, сезон года, час UT)

$$H(\Phi, MLT) = KB_x(\Phi, MLT) \cdot B_x + KB_y(\Phi, MLT) \cdot B_y + KB_z(\Phi, MLT) \cdot B_z + K_v(\Phi, MLT) \cdot V^2 + K_n(\Phi, MLT) \cdot NV^2 + H_0(\Phi, MLT)$$

$\Phi$  – исправленная геомагнитная широта точки наблюдения

MLT – местное магнитное время

\*Интерполяция по пространству

2. Уравнения связи  $H$  и  $E$  (ионосфера)

ионосфера – пленка,  $\Sigma_{хол} \gg \Sigma_{мед}$ ;

силовые линии эквипотенциальны;

форма токовой системы :  $J_{\perp} + J_{\parallel}$

$E = -\nabla\varphi$ ;  $H = \nabla U$ ;  $\Psi = (const) \cdot U$ ,  $\Psi$  – токовая функция эквивалентного тока;

проводимость Земли –  $const$ ;

$$J_{\perp} = (\Sigma) \cdot E = (\Sigma) \cdot (-\nabla\varphi) = ROT + \nabla = [\nabla\Psi \times Re] + \nabla F,$$

$$J_{\parallel} = Div J_{\perp}, ROT\{(\Sigma) \cdot (-\nabla\varphi)\} = ROT\{[\nabla\Psi \times Re]\} = \Delta\Psi$$

$\varphi$  – граничное условие

Модели, основанные на среднечасовых параметрах, не могут детально описывать распределение полей и токов во время магнитосферных суббурь. Но они способны описывать изменение пространственной структуры полей и токов в зависимости от ситуации в солнечном ветре на уровне орбиты Земли и давать верное представление о поведении магнитного возмущения вдоль геомагнитных широт и долгот. Не давая точного значения амплитуды параметров электромагнитной погоды в конкретной точке наблюдения, такие модели хорошо прогнозируют относительное изменение амплитуды полей и токов от одной точки наблюдения к другой.

Тем самым модели помогают выделить главные существенные моменты в пространственно-временном поведении полей и токов и предсказать поведение электромагнитных параметров не только в отдельных точках наблюдения, но в целых областях, а, значит, помогают связать разрозненные геофизические наблюдения в разных точках пространства в единую картину.

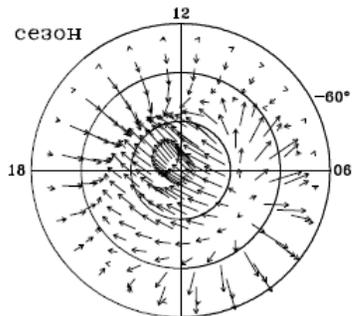
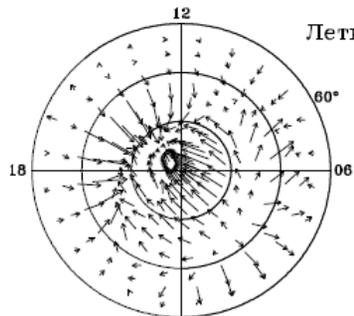
# ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМИРАН НАЗЕМНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ТОКОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ

Модель магнитного поля:  $H_0$  для  $B_z < 0$

Северное полушарие

Южное полушарие

Летний сезон

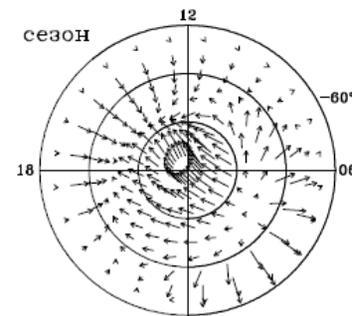
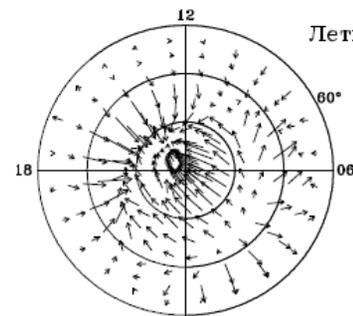


Модель геомагнитного поля:  $H_0$  для  $B_z > 0$

Северное полушарие

Южное полушарие

Летний сезон

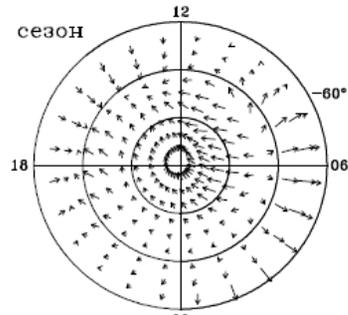
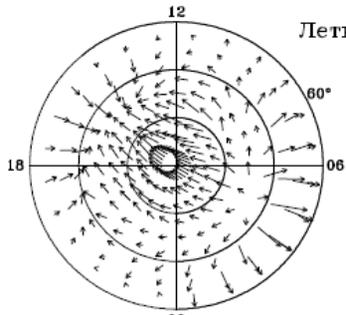


Модель геомагнитного поля:  $KB_z$  для  $B_z < 0$

Северное полушарие

Южное полушарие

Летний сезон

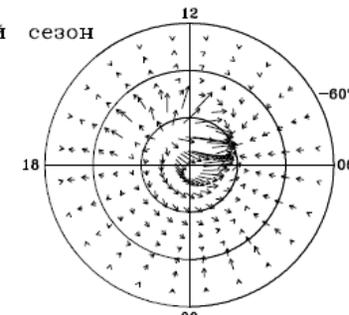
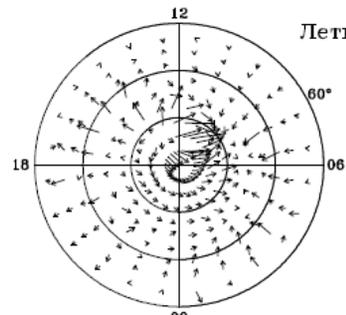


Модель геомагнитного поля:  $KB_z$  для  $B_z > 0$

Северное полушарие

Южное полушарие

Летний сезон

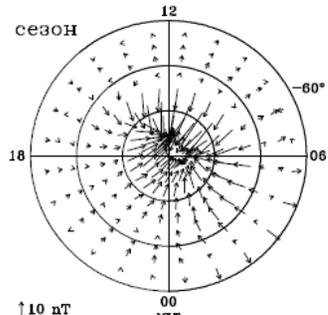
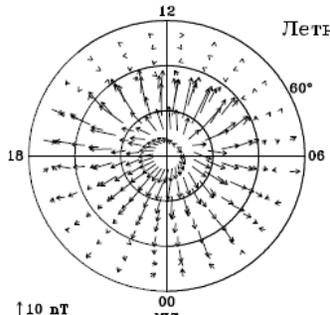


Модель геомагнитного поля:  $KB_y$  для  $B_y < 0$  &  $B_z < 0$

Северное полушарие

Южное полушарие

Летний сезон

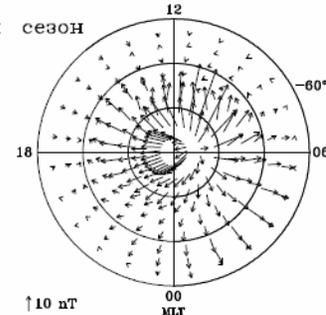
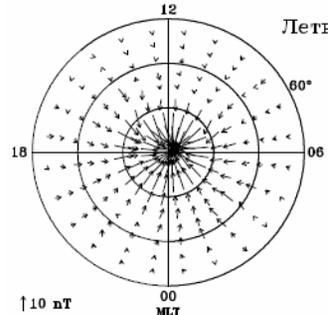


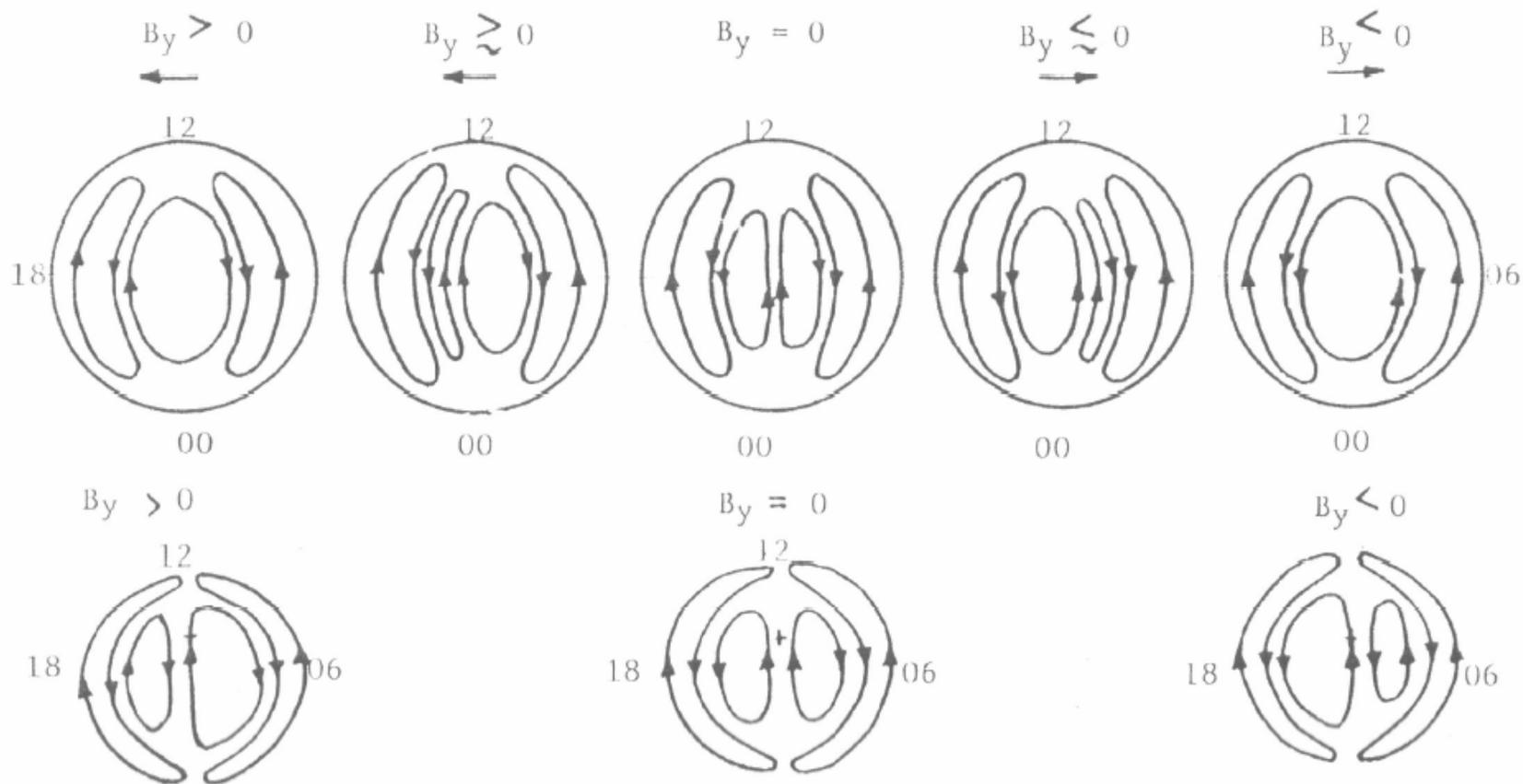
Модель геомагнитного поля:  $KB_y$  для  $B_y > 0$  &  $B_z > 0$

Северное полушарие

Южное полушарие

Летний сезон

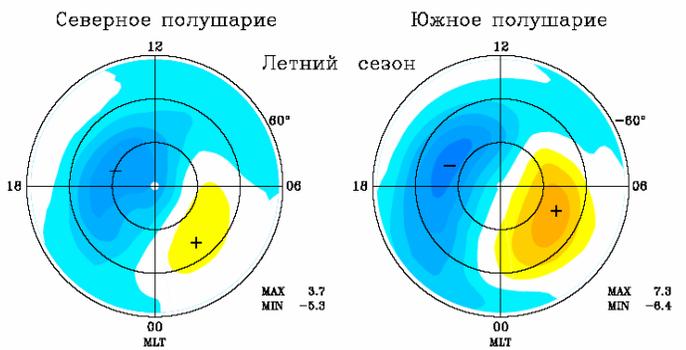




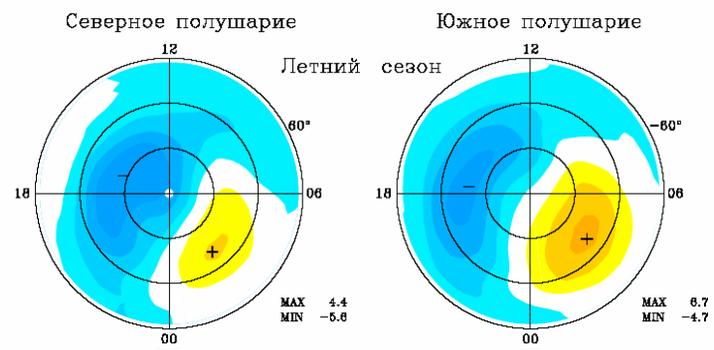
*Схематическое представление конвекции при  $B_z < 0$  для различных значений  $B_y$ . Верхняя панель из работы Potemra et al., 1984, нижняя - из Reiff and Burch, 1985*

# ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМИРАН НАЗЕМНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ТОКОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ

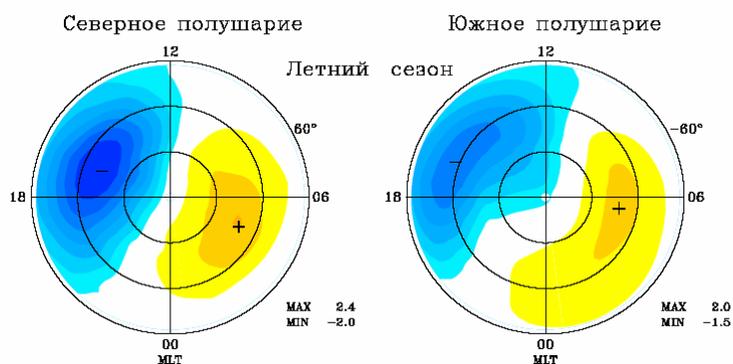
Модель потенциала электрического поля:  $H_0$  для  $B_z < 0$



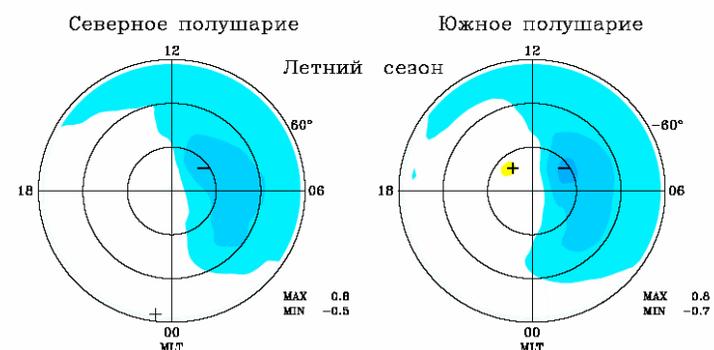
Модель потенциала электрического поля:  $H_0$  для  $B_z > 0$



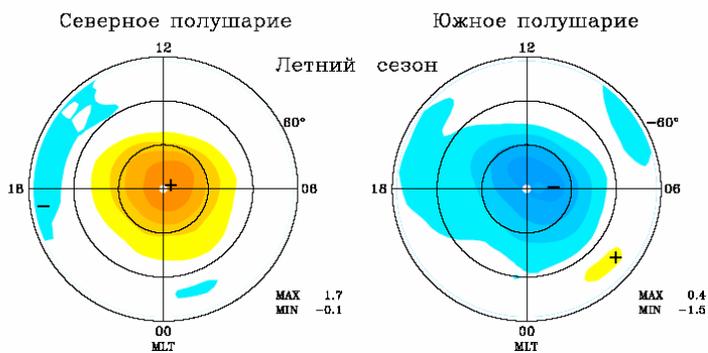
Модель потенциала электрического поля:  $KV_z$  для  $B_z < 0$



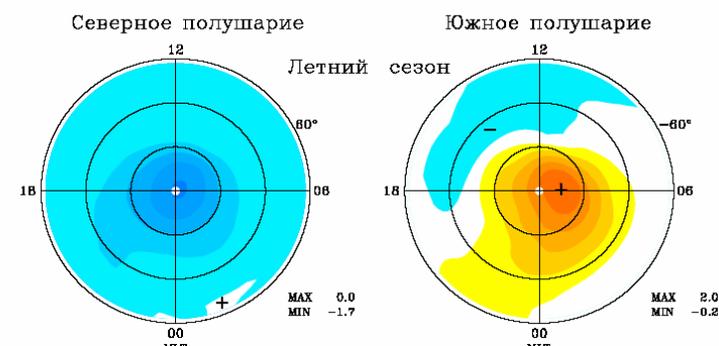
Модель потенциала электрического поля:  $KV_z$  для  $B_z > 0$



Модель потенциала электрического поля:  $KV_u$  для  $B_u < 0$  &  $B_z < 0$

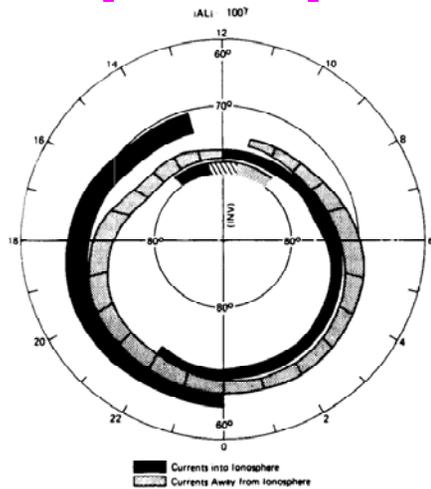
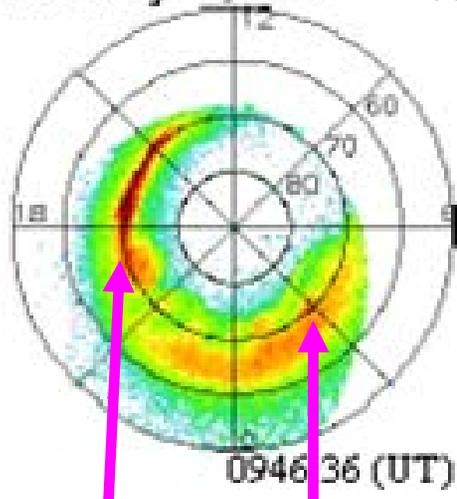


Модель потенциала электрического поля:  $KV_u$  для  $B_u > 0$  &  $B_z > 0$

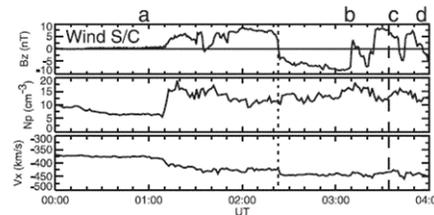


**Polar UVI LBHL**  
February 10, 1997

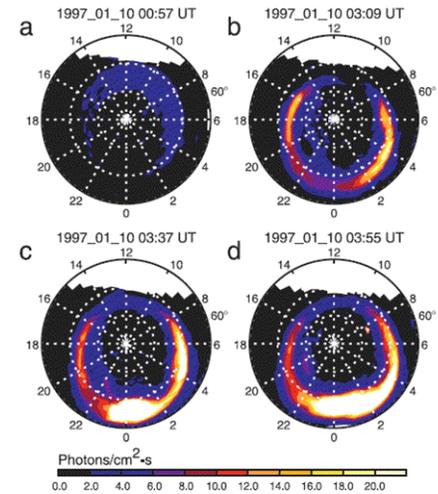
Вытекающие токи Ииджимы и Потемры можно наблюдать с использованием данных авроральных имиджеров.



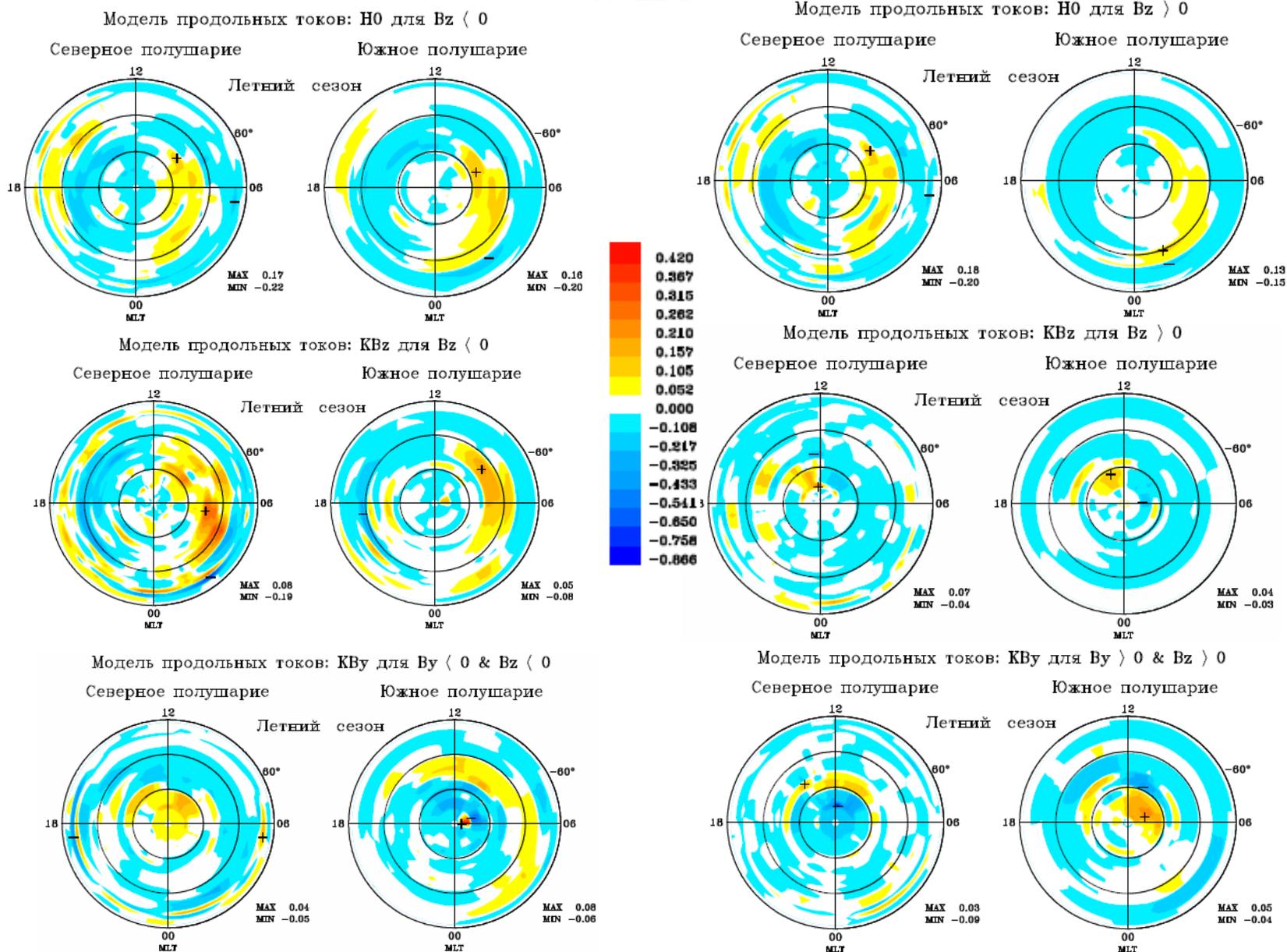
Shue et al., GRL (2002)



**Polar UVI**



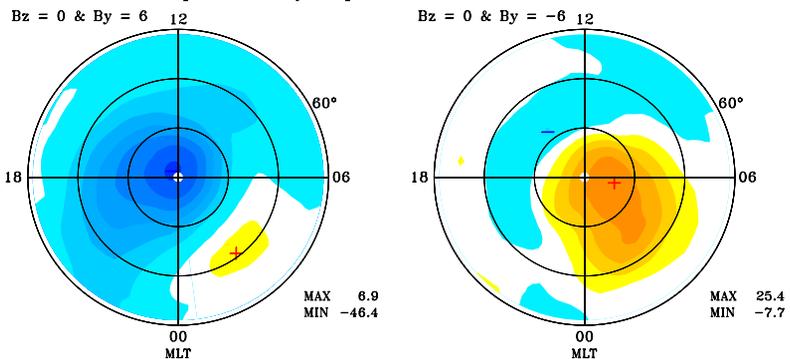
# ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМИРАН НАЗЕМНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ТОКОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ



# ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМИРАН НАЗЕМНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ТОКОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ

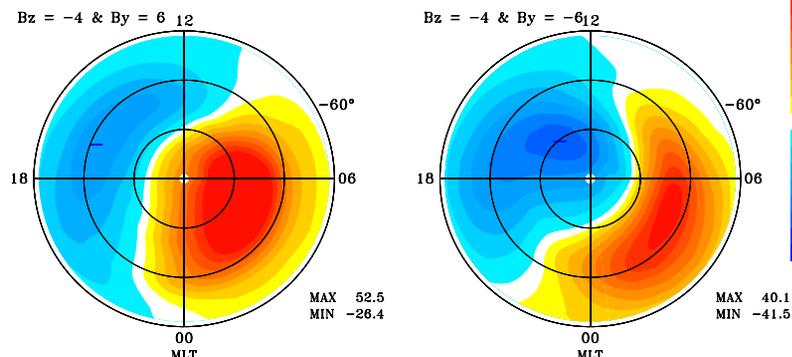
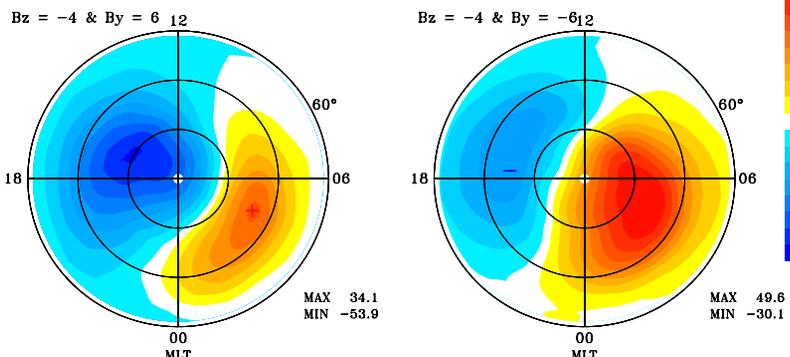
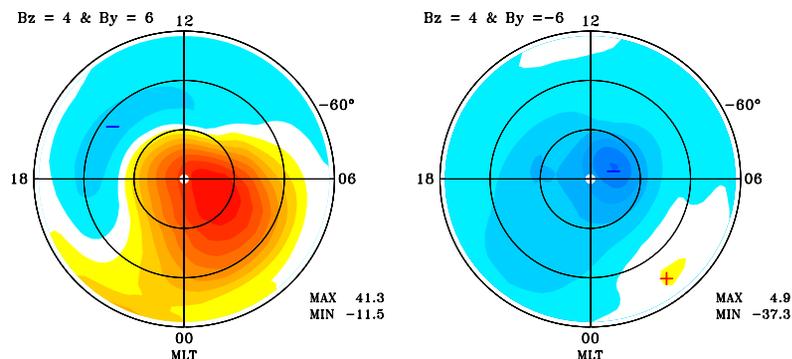
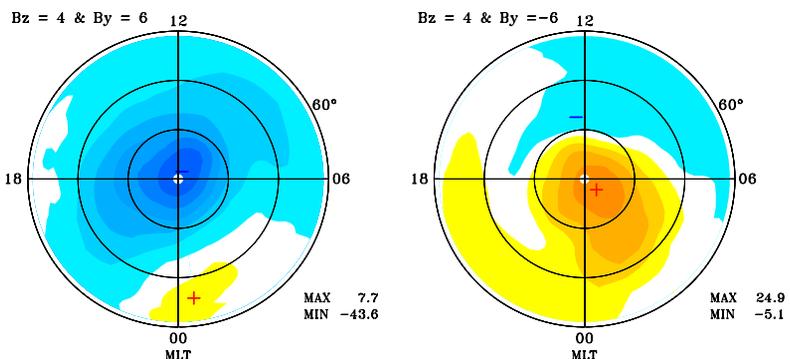
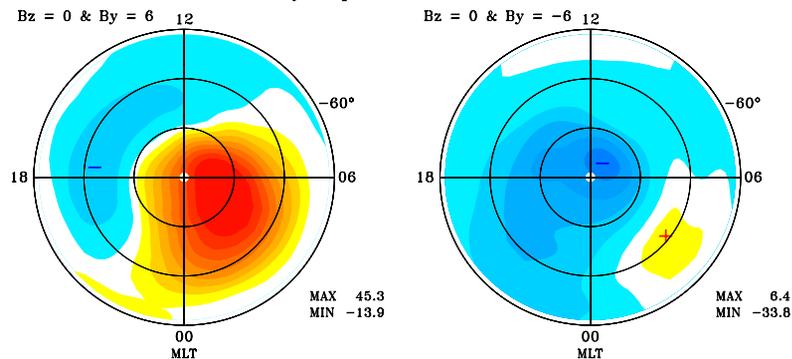
Потенциал электрического поля

Северное полушарие, летний сезон

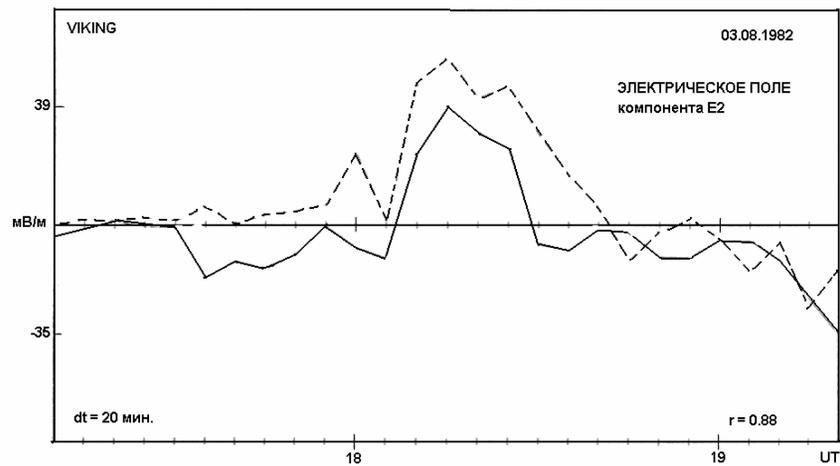
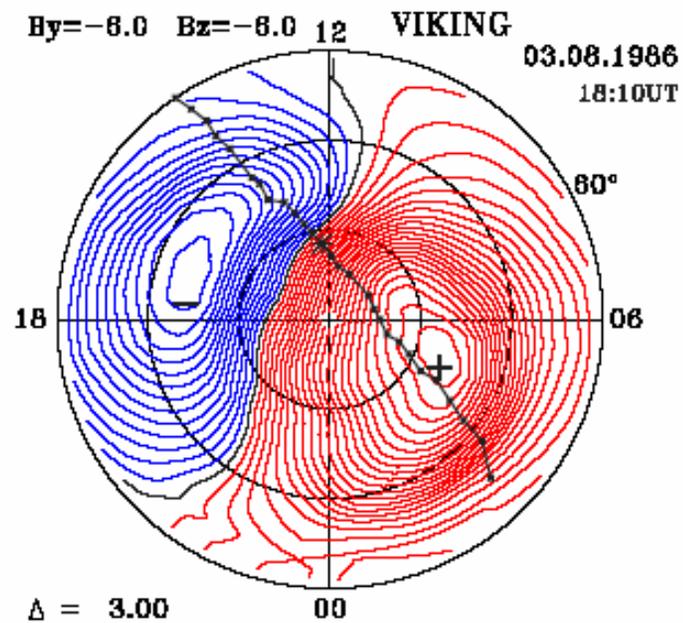
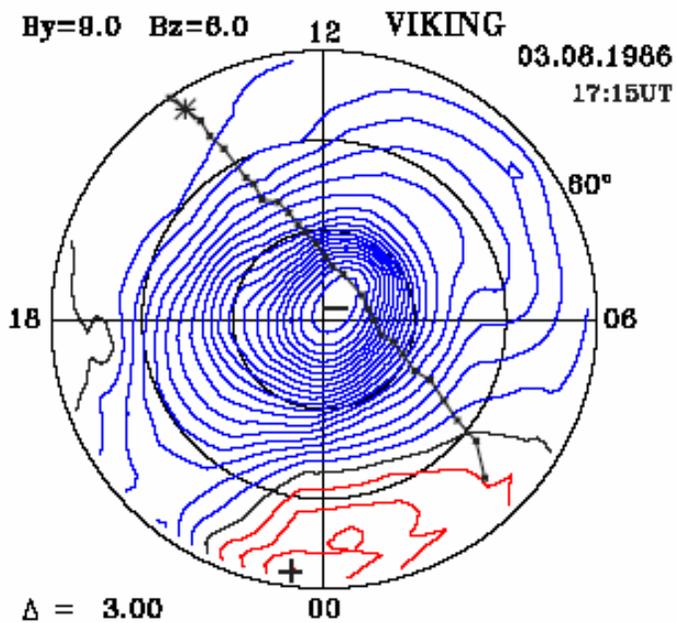


Потенциал электрического поля

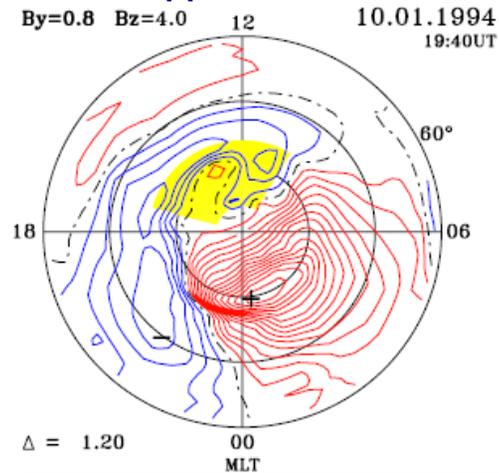
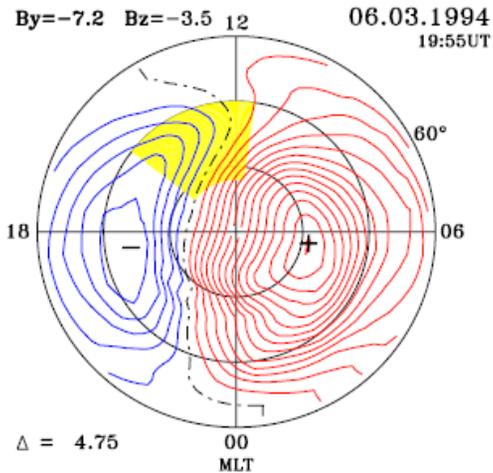
Южное полушарие, летний сезон



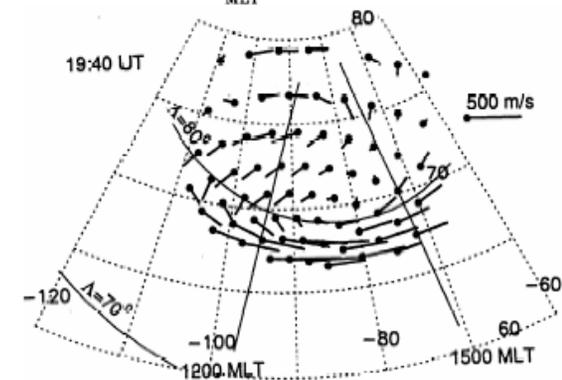
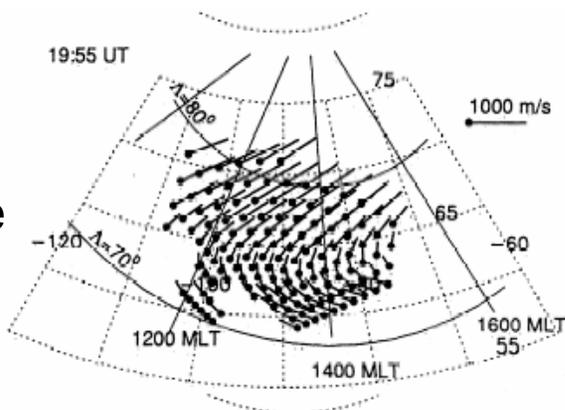
# СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ПОЛЕЙ И ТОКОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ



# СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ПОЛЕЙ И ТОКОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

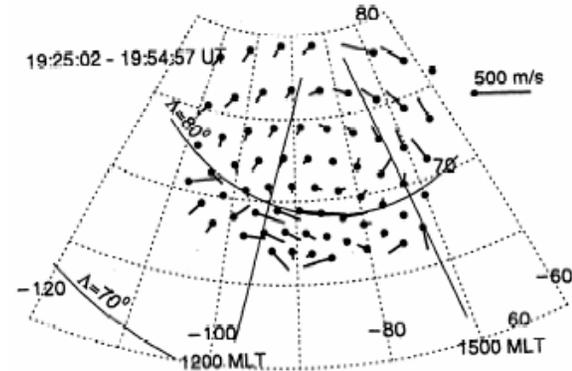
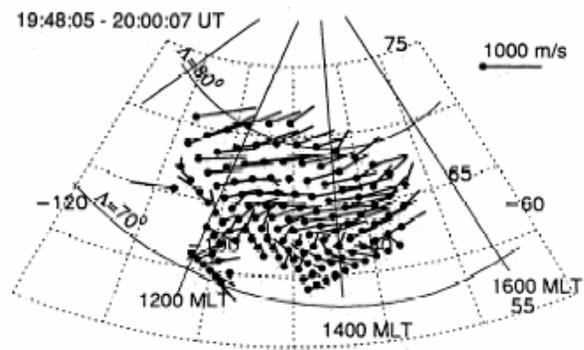


Модель ИЗМИРАН

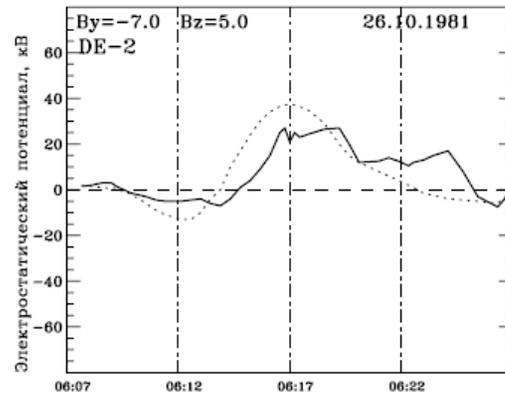
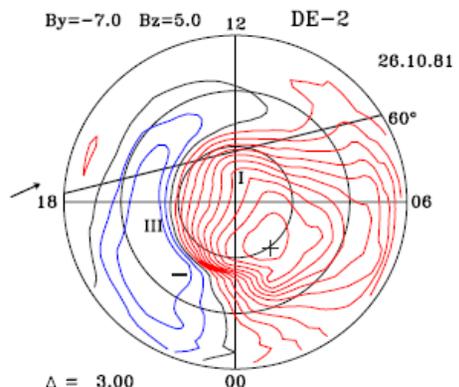
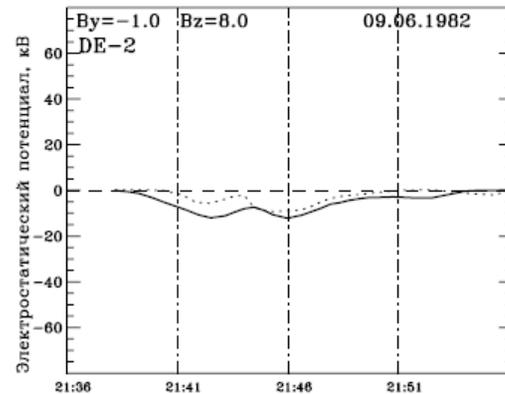
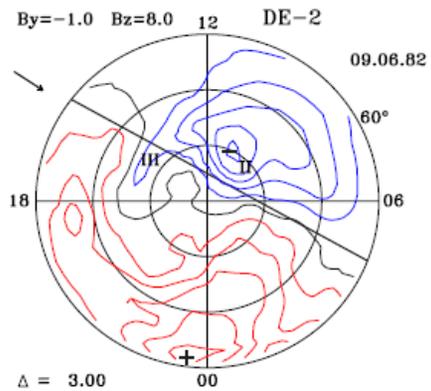
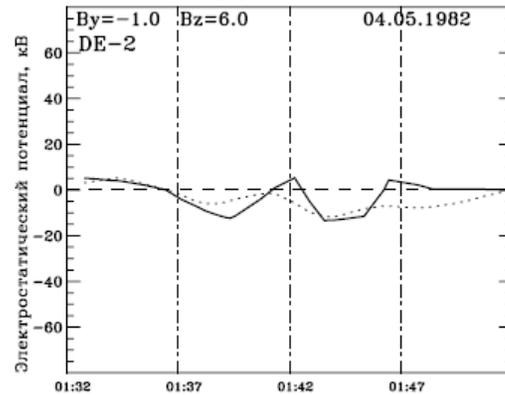
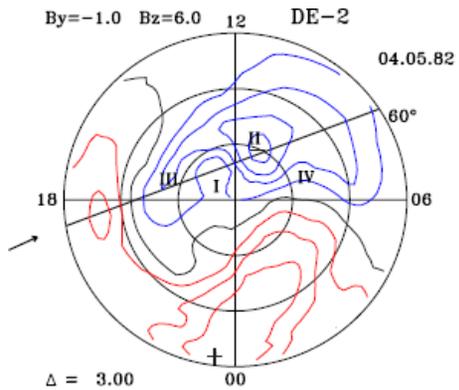


Электрическое поле

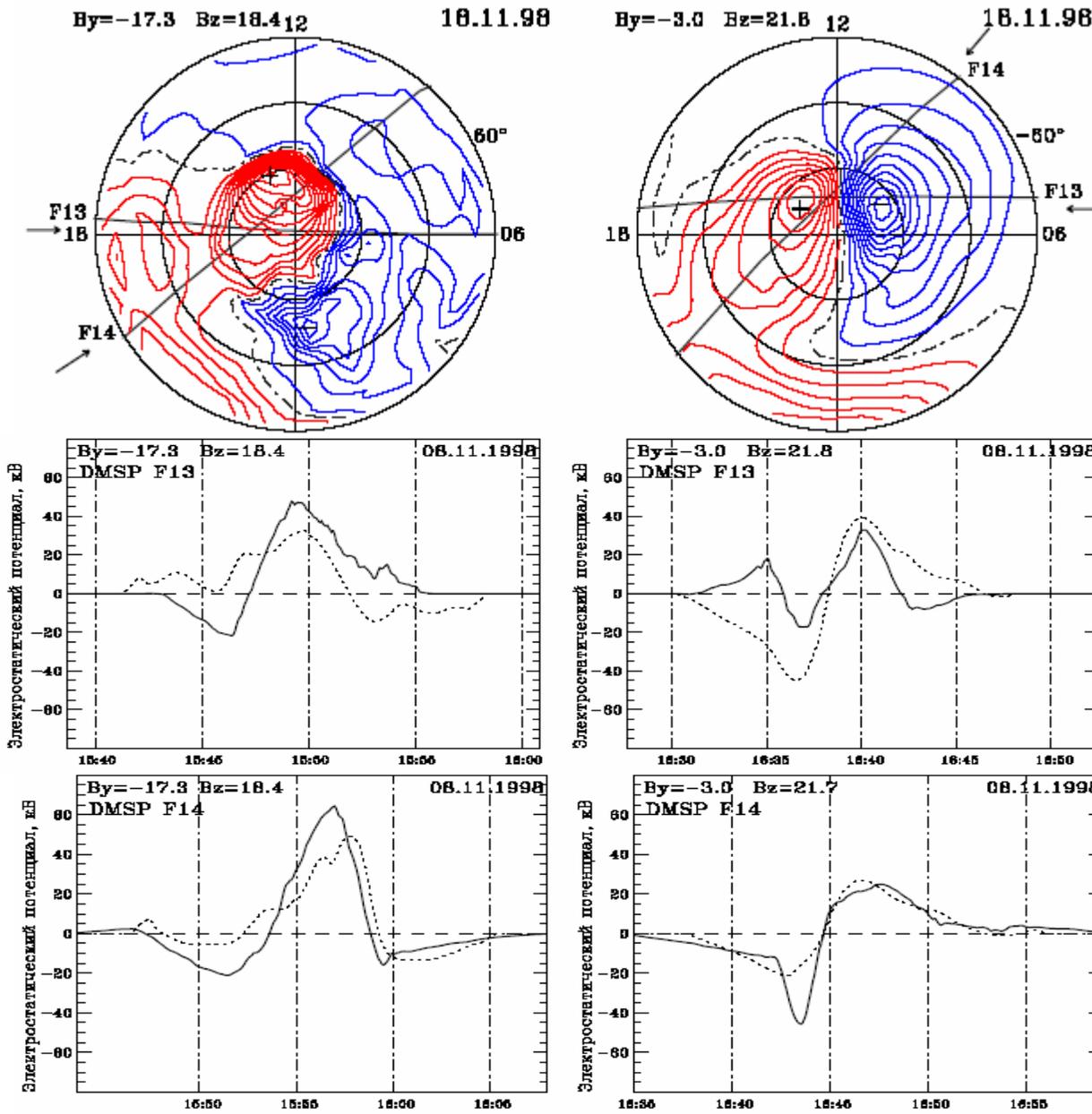
СуперДАРН



# СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ПОЛЕЙ И ТОКОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ



# СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ПОЛЕЙ И ТОКОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ



*В создании моделей пространственно-временного распределения электрического поля и трехмерных токов в высокоширотной ионосфере в зависимости от динамики параметров межпланетной среды вблизи орбиты Земли, принимали участие многие научные коллективы разных стран.*

*В нашей стране значительный вклад в эту работу сделан учеными:*

- Ленинградского университета – группа М.И. Пудовкина*
- Института Солнечно – Земной Физики (СИБ ИЗМИР) – группа В.М. Мишина*
- ИЗМИРАНа – группа Я.И. Фельдштейна*
- Полярного геофизического Института – группа В.Б. Ляцкого*
- НИИЯФ МГУ – группа Б.А. Тверского и группа В.П. Шабанского*
- ИВМ СО РАН – группа В.В. Денисенко*

*За рубежом наибольший вклад в эту работу внесли ученые США, Японии, Дании, Швеции*

# ВЫВОДЫ

*В настоящее время существуют модели, позволяющие нарисовать пространственно-временную картину электрического поля (конвекции), и токов в области высоких широт в зависимости от ситуации в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле вблизи орбиты Земли.*

*Эта картина отражает крупномасштабную структуру поля и токов, усредненную по времени (порядка среднечасового усреднения). Быстрые (минутные, не говоря о секундных) изменения поля и токов модели отразить не могут – такие изменения не соответствуют используемым в моделях постулатам.*

*Для оценки точности моделей можно предложить создание специального, согласованного с научным сообществом, набора экспериментальных наземных и спутниковых измерений. Результат сопоставления модели с этим набором данных – невязка – даст количественную оценку точности модели.*

*Дальнейшее развитие наших знаний будет происходить с развитием радарных наблюдений. Развитие спутниковых измерений, в количестве, которое необходимо, чтобы получать информацию по всему пространству высокоширотной ионосферы, произойдет – если человечество приступит к решению задачи получения электричества из ионосферы.*

*Уже сегодня можно найти в Интернете такие сведения.*

**Способ получения электрической энергии из ионосферы Земли**

**18 Июля 2011 г.**

**Изобретение относится к устройствам, использующим природные источники электричества, а именно к устройствам, использующим энергию ионосферы Земли. Поставленная задача решается с помощью плоско-поляризованного лазерного луча, лишенного расходимости, т.е. луча, преобразованного в иглу. Сущность изобретения заключается в том, что лазерный луч, лишенный расходимости, являясь «проводником» электрических зарядов, пройдя ионосферу Земли и отразившись от геостационарного спутника, дает стабильный электрический ток в магнитогидродинамическом генераторе.**