



Дополненный метод проведения границ Ииджимы и Потемры.

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск

А.А. Шаповалова,

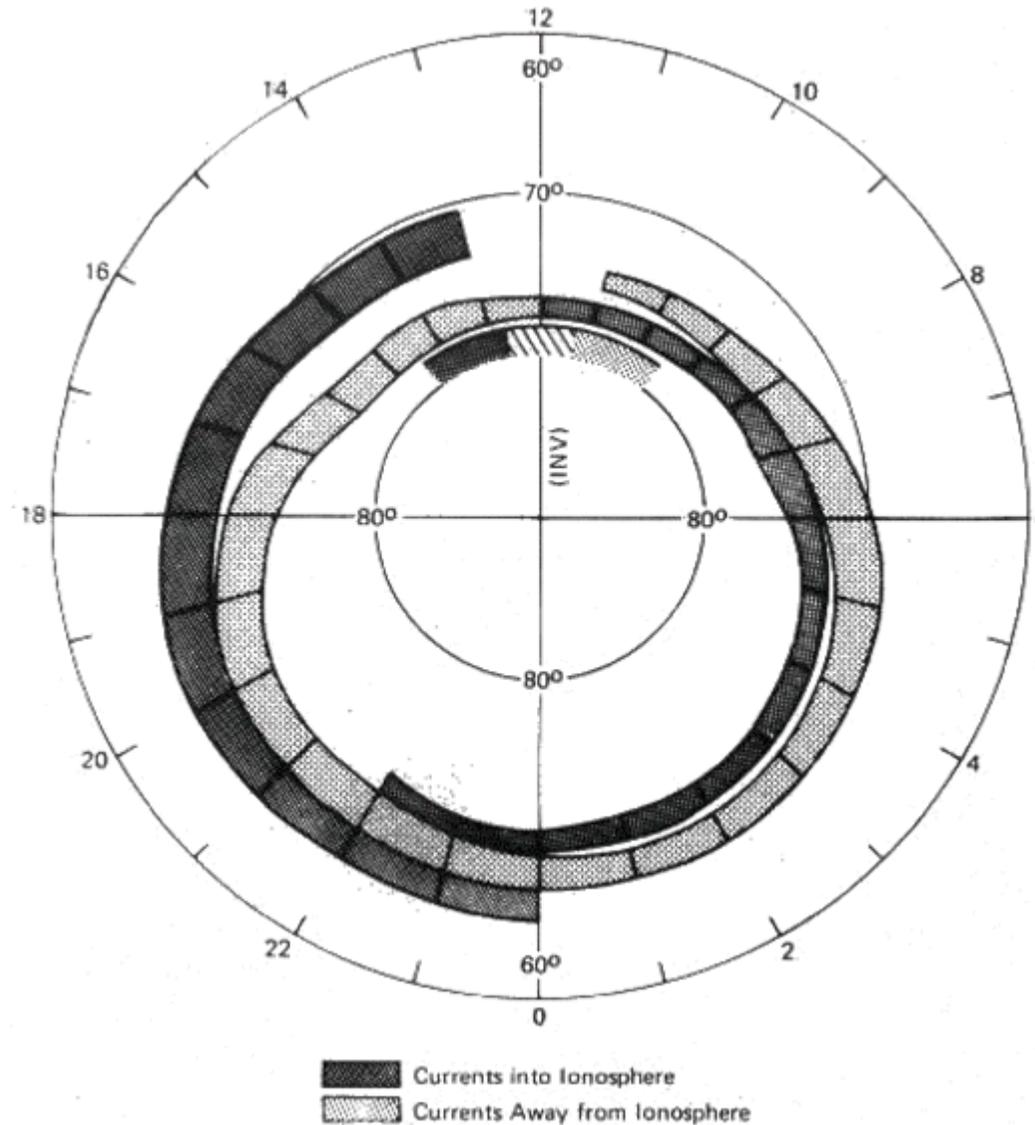
Ю.А. Караваев

ВВЕДЕНИЕ

В работе дополнена модель продольных токов Iijima and Potemra [1978], введен ряд ее новых элементов. На основе дополненной модели расширен известный на данное время принцип распределения продольных токов (ПТ) в ионосфере, согласно которому продольные токи зоны 1 замыкаются на магнитосферный генератор через продольные токи зоны 2 и частичный кольцевой ток DRP в ближнем хвосте.

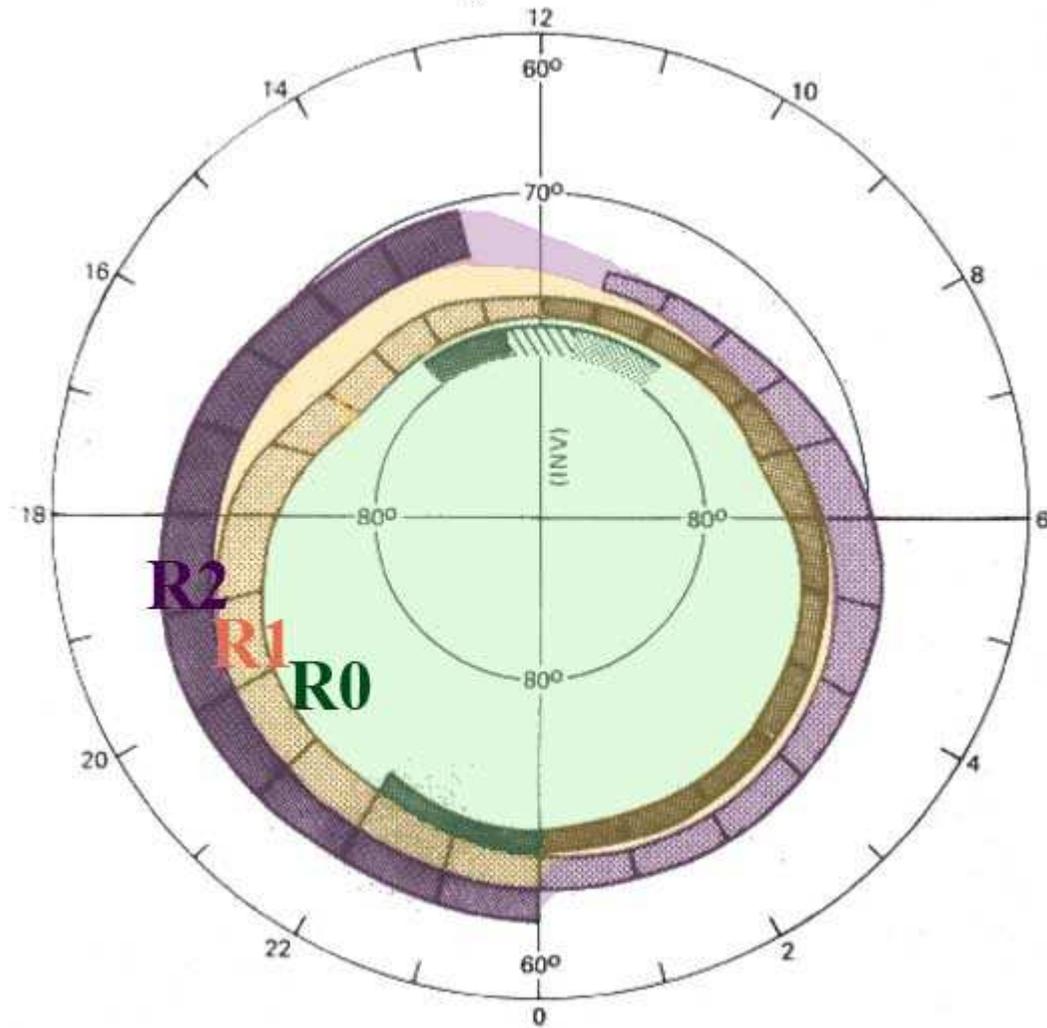
Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

Спокойные условия $AE < 100$ нТ



Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

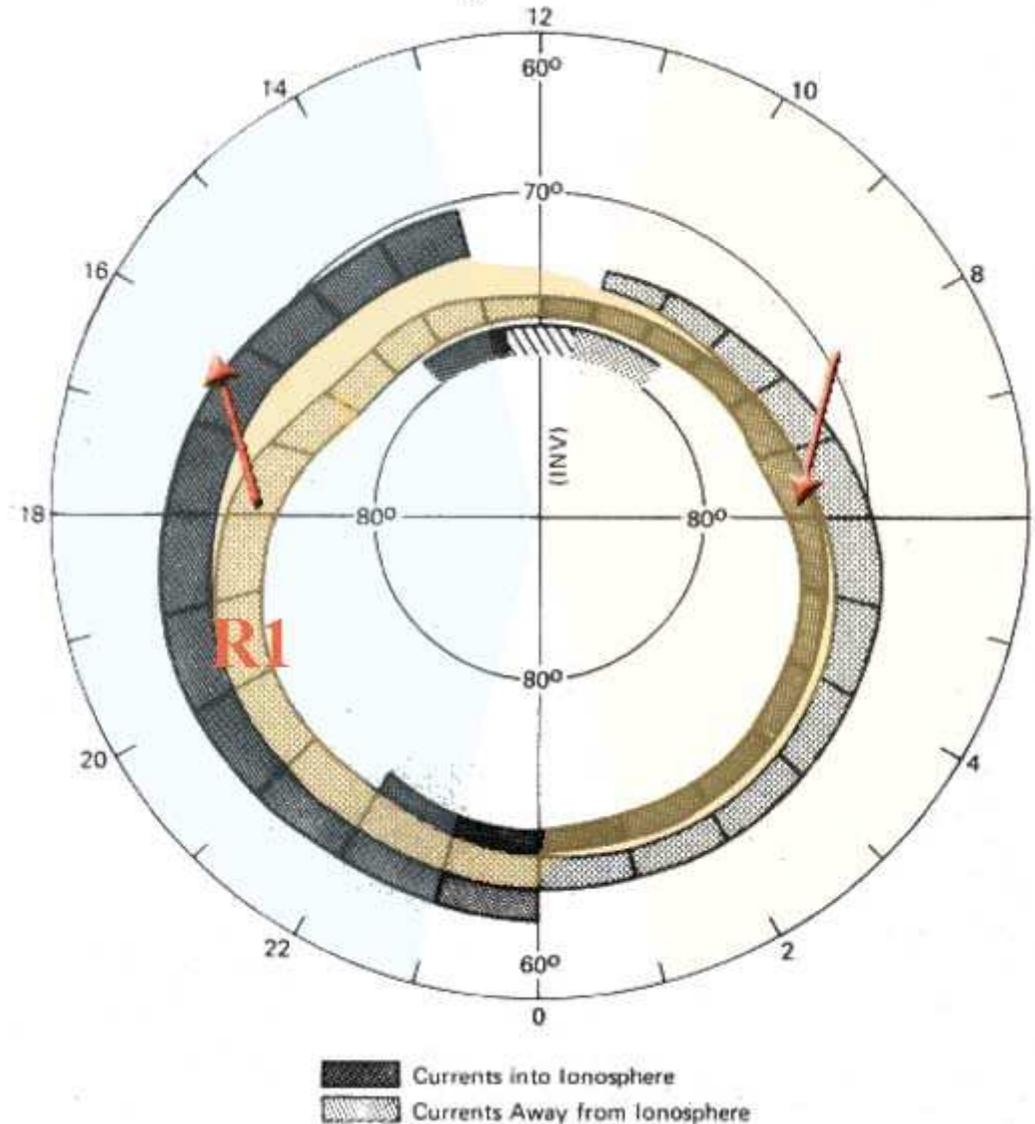
Спокойные условия $AE < 100$ нТ



■ Currents into Ionosphere
▨ Currents Away from Ionosphere

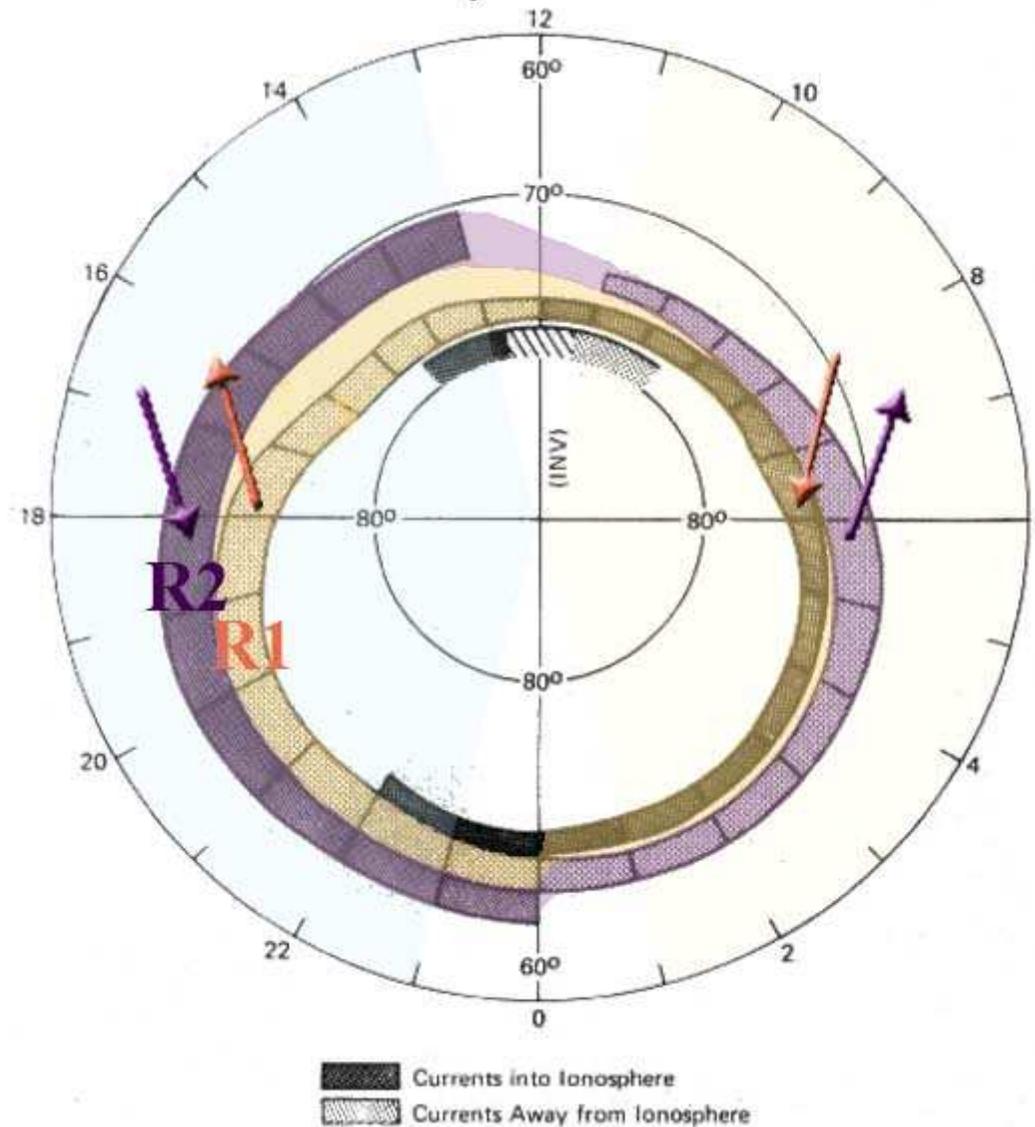
Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

Спокойные условия $AE < 100$ nT



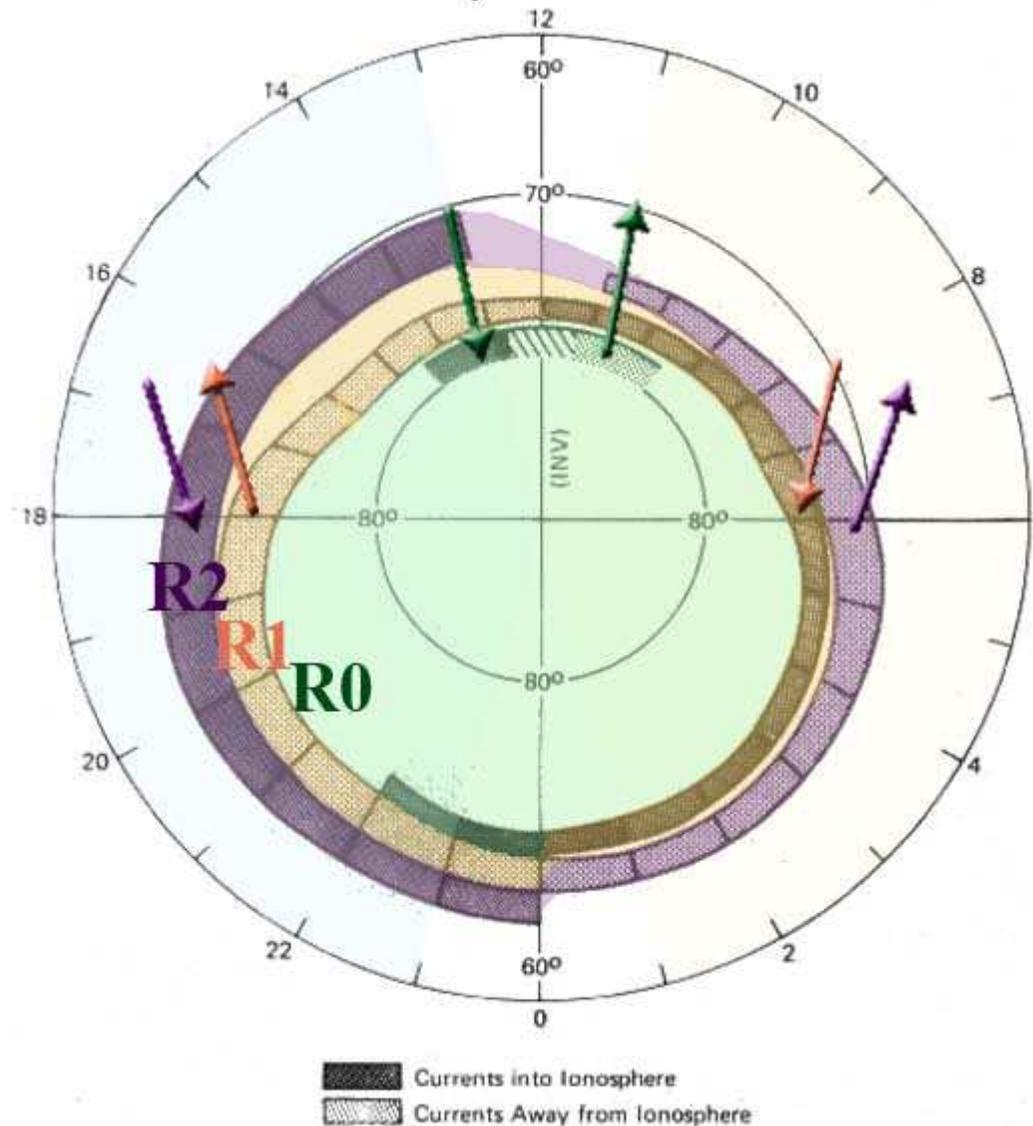
Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

Спокойные условия $AE < 100$ nT



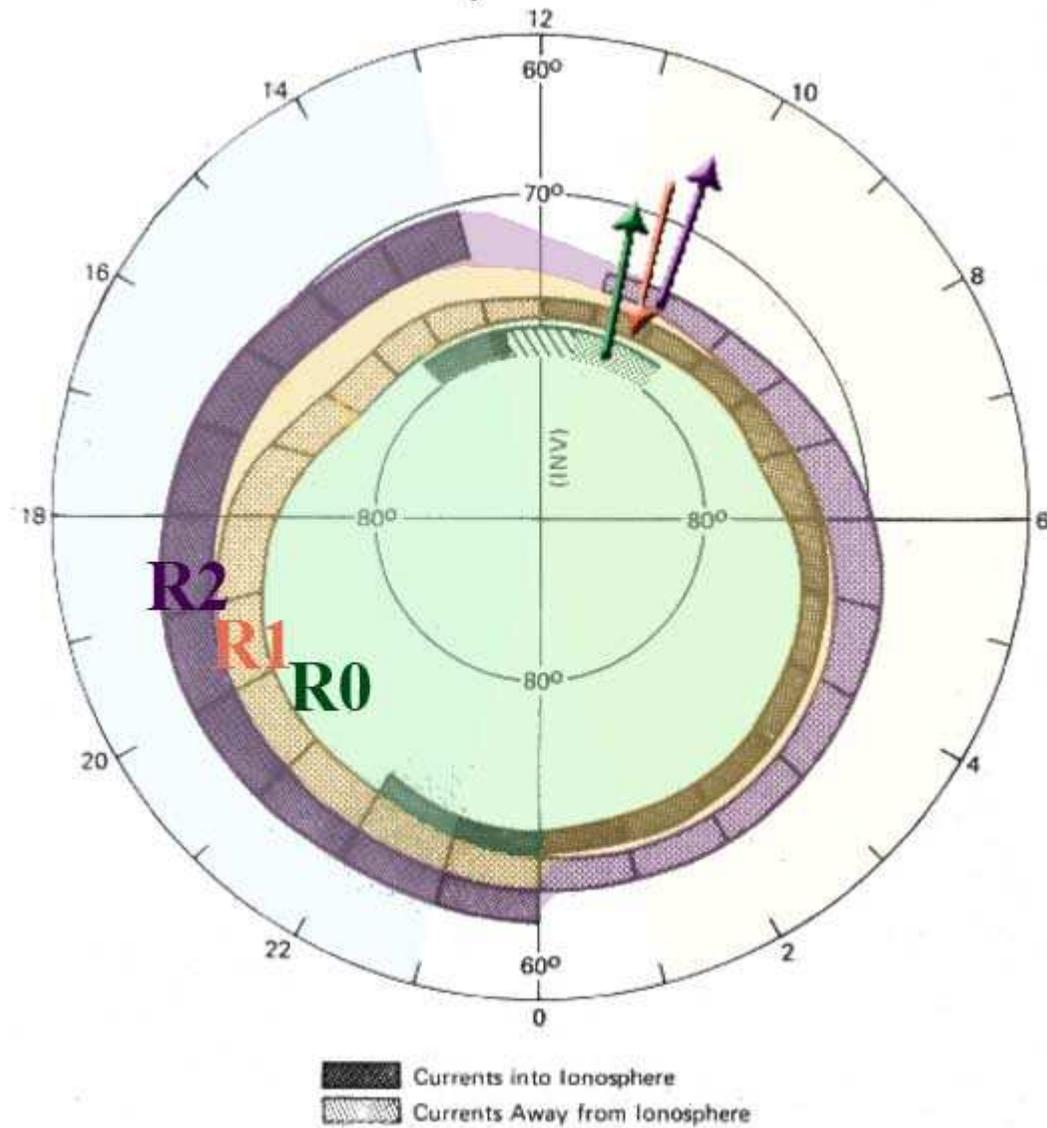
Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

Спокойные условия $AE < 100$ нТ



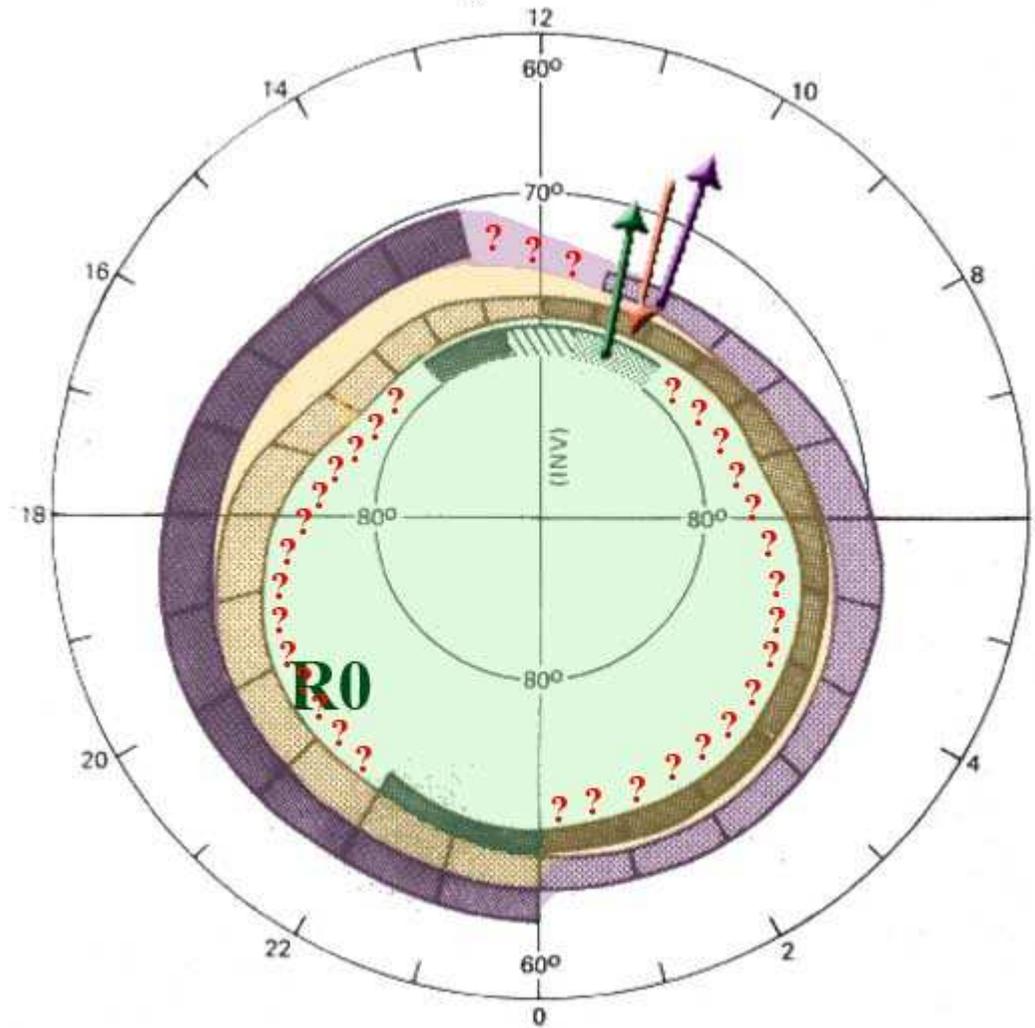
Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

Спокойные условия $AE < 100$ нТ



Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

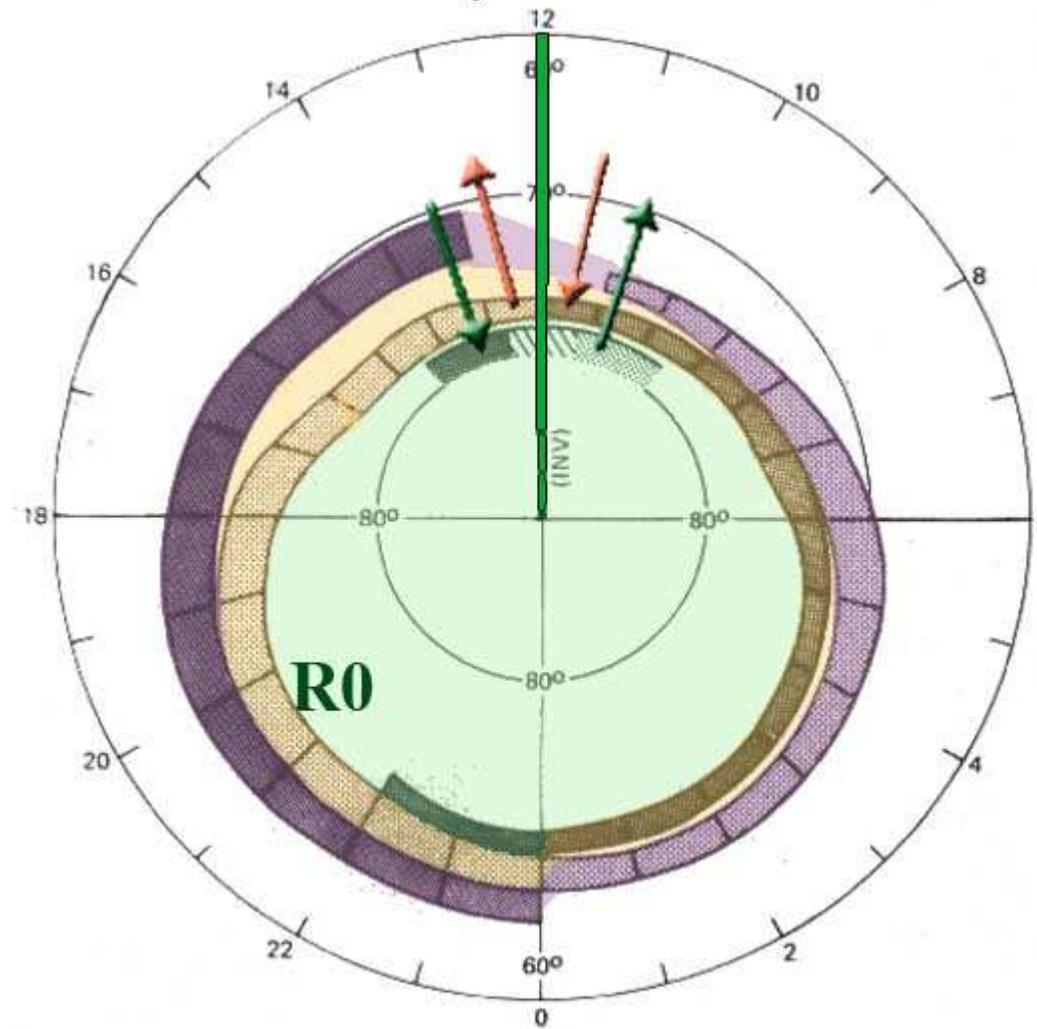
Спокойные условия $AE < 100$ нТ



■ Currents into Ionosphere
▨ Currents Away from Ionosphere

Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

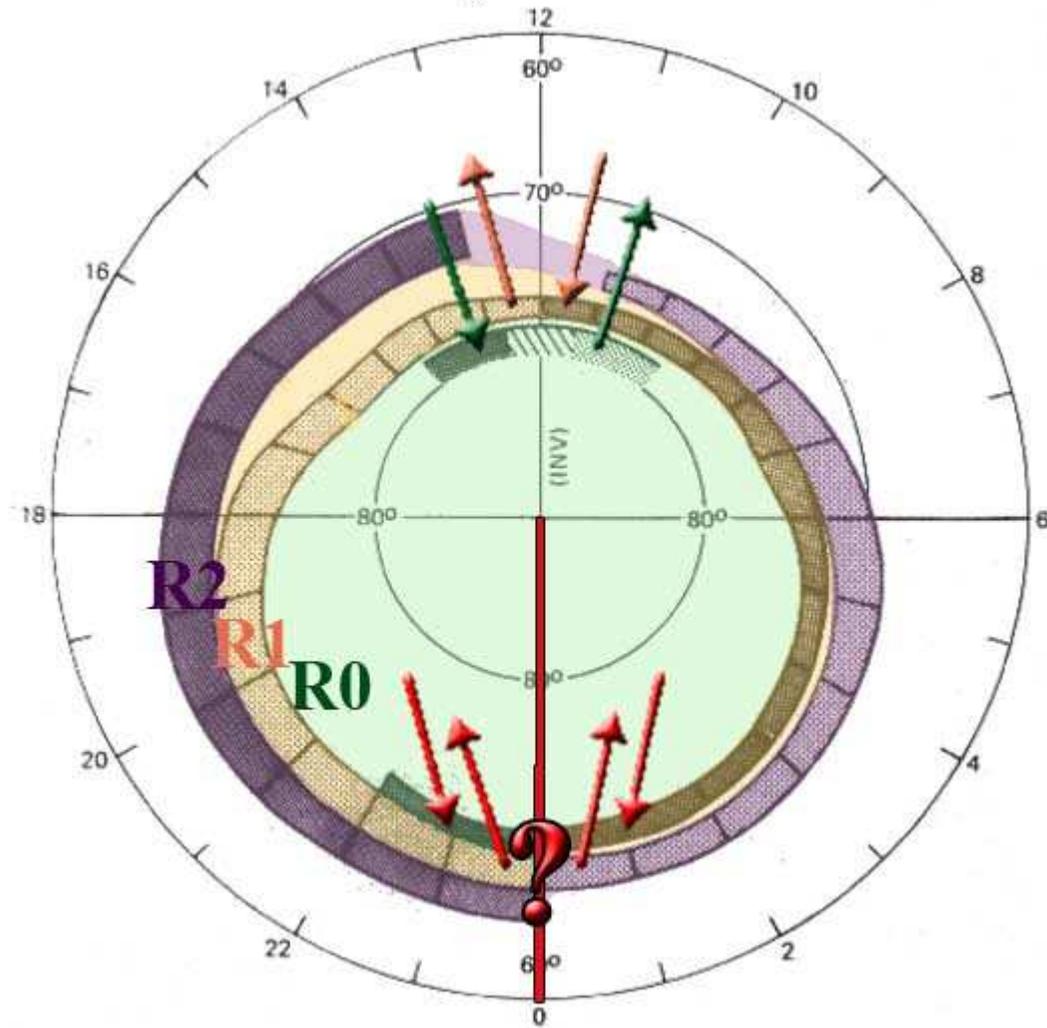
Спокойные условия $AE < 100$ нТ



■ Currents into Ionosphere
▨ Currents Away from Ionosphere

Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

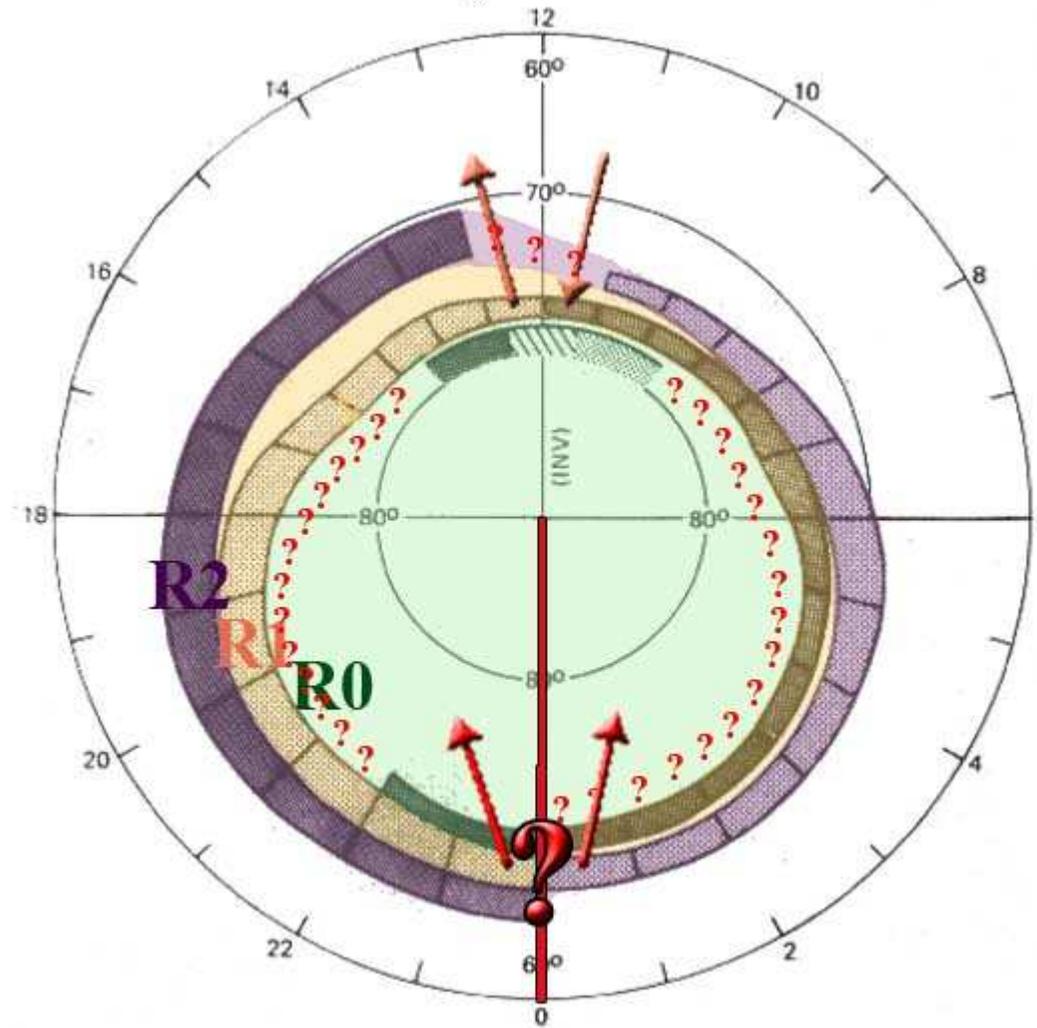
Спокойные условия АЕ < 100 нТ



■ Currents into Ionosphere
■ Currents Away from Ionosphere

Модель квазиколецевых зон Иджимы и Потемры (И-П)

Спокойные условия $AE < 100$ нТ



■ Currents into Ionosphere
--- Currents Away from Ionosphere

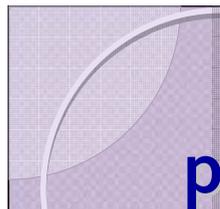
Модель квазиколецевых зон Ииджимы и Потемры (И-П)

Iijima, T., and T. A. Potemra, The amplitude distribution of field-aligned currents at northern high latitudes observed by Triad, *J. Geophys. Res.*, 81, 2165, 1976.

Iijima, T., and T. A. Potemra, Field-aligned currents in the dayside cusp observed by Triad, *J. Geophys. Res.*, 81, 5971, 1976.

Iijima, T., T. A. Potemra, L. J. Zanetti, and P. F. Bythrow, Large-scale Birkeland currents in the dayside polar region during strongly northward IMF: A new Birkeland current system, *J. Geophys. Res.*, 89, 7441, 1984.

Iijima, T., and T. Shibaji, Global characteristics of northward IMF associated (NBZ) field-aligned currents, *J. Geophys. Res.*, 92, 2408, 1987.



Работы сторонников спиральной модели распределения ПТ (критикующие модель И-П)

- Weimer, D. R., Maps of ionospheric field-aligned currents as a function of the interplanetary magnetic field derived from Dynamic Explorer 2 data, *J. Geophys. Res.*, 106, 12,889, 2001
- Christiansen, F., V. O. Papitashvili, and T. Neubert, Seasonal variations of high-latitude field-aligned current systems inferred from Ørsted and Magsat observations, *J. Geophys. Res.*, 107(A2), doi: 10.1029/2001JA900104, 2002
- Papitashvili, V. O., F. Christiansen, and T. Neubert, A new model of field-aligned currents derived from high-precision satellite magnetic field data, *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), 1683, doi: 10.1029/2001GL014207, 2002
- Papitashvili, V. O., and F. J. Rich, High-latitude ionospheric convection models derived from DMSP ion drift observations and parameterized by the IMF strength and direction, *J. Geophys. Res.*, 107 (A8), 198, doi: 10.1029/2001JA00264, 2002
- Papitashvili, V. O., F. Christiansen, and T. Neubert, A new model of field-aligned currents derived from high-precision satellite magnetic field data, *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), 1683, doi: 10.1029/2001GL014207, 2002
- Siscoe, G., and N. Maynard, Distributed two-dimensional Region 1 and Region 2 currents: Model results and data comparison *J. Geophys. Res.*, 96, 21,071, 1991
- Papitashvili, V. O., F. Christiansen, and T. Neubert, A new model of field-aligned currents derived from high-precision satellite magnetic field data, *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), 1683, doi: 10.1029/2001GL014207, 2002
-

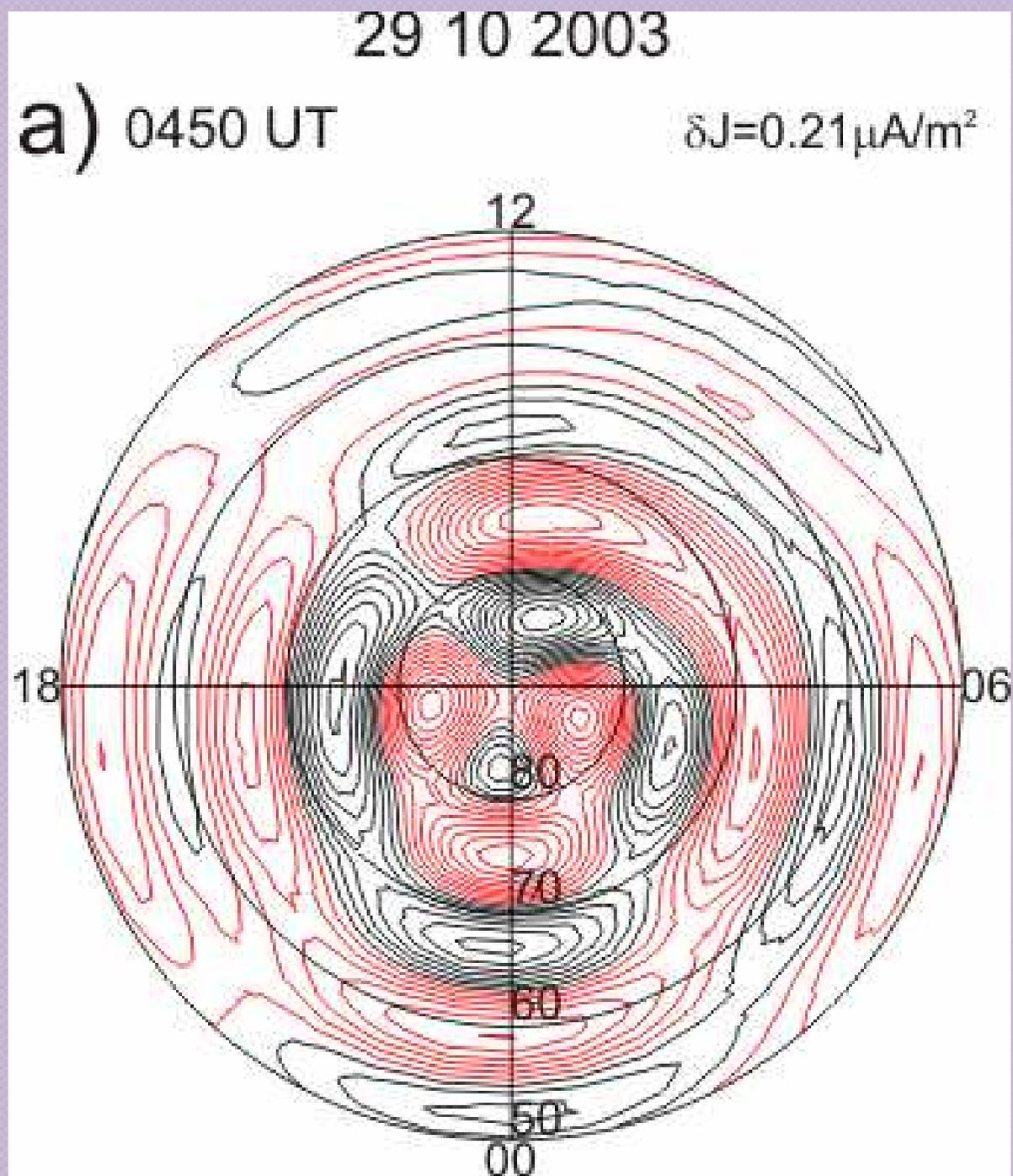
Указанные в данных работах достоинства спиральной модели распределения ПТ

Оригинальная модель Ииджимы и Потемры не показывала сезонные эффекты распределения ПТ в высоких широтах, о которых на данный момент известно.

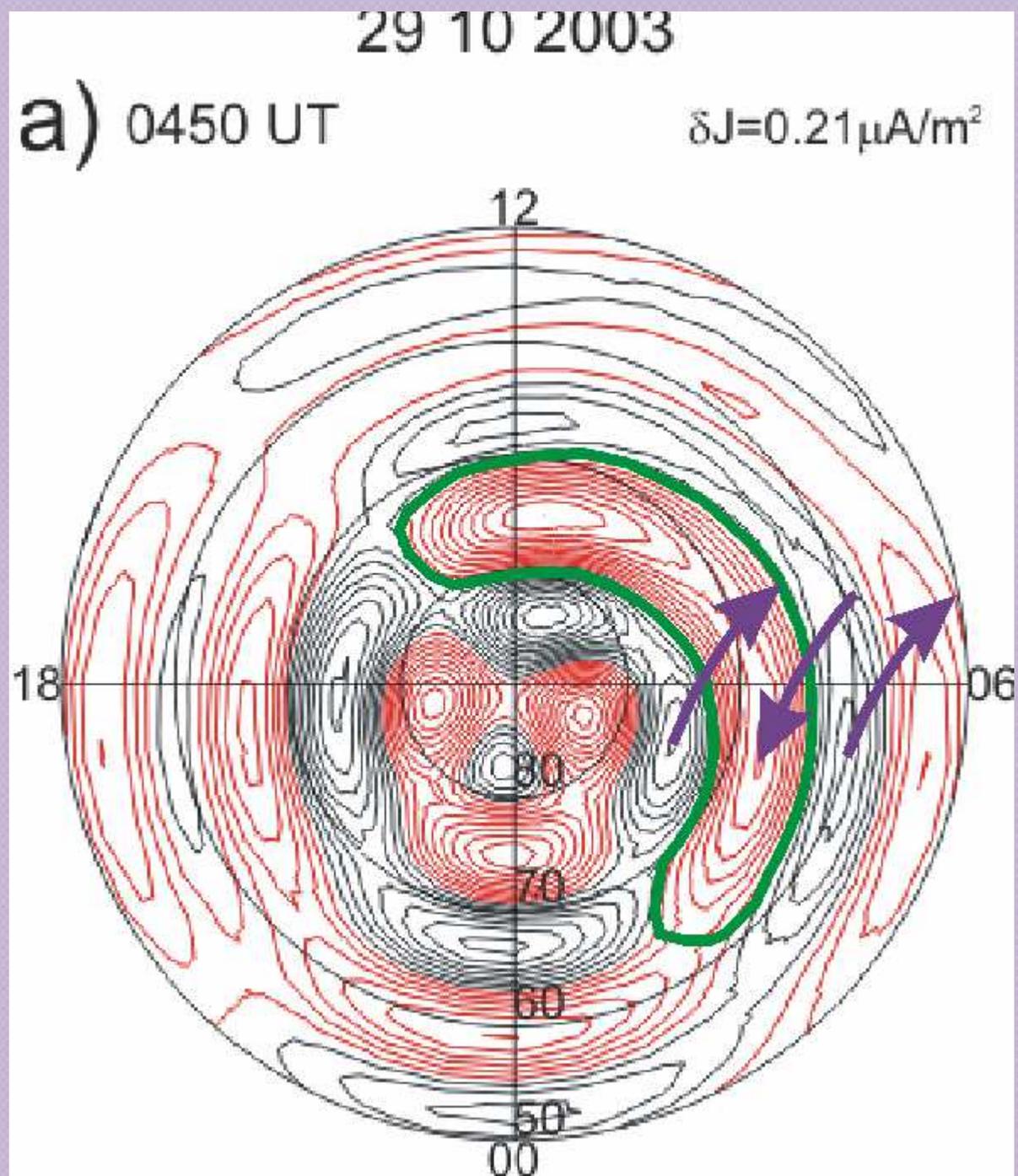
Ииджима и Потемра не рассматривали зависимость распределения ПТ от направления и величины ММП.

Веймер и Папиташвили (сторонники спиральной модели) произвели сравнение с результатами МГД - моделирования, и подтвердили, что их статистическая модель представляет собой физическую «картину» связи магнитосферы и ионосферы. Они пришли к выводу, что что $R1/R2$ термины Ииджимы и Потемры недостаточны для описания 3D систем ПТ, связывающих области внешней и внутренней магнитосферы с полярной ионосферой.

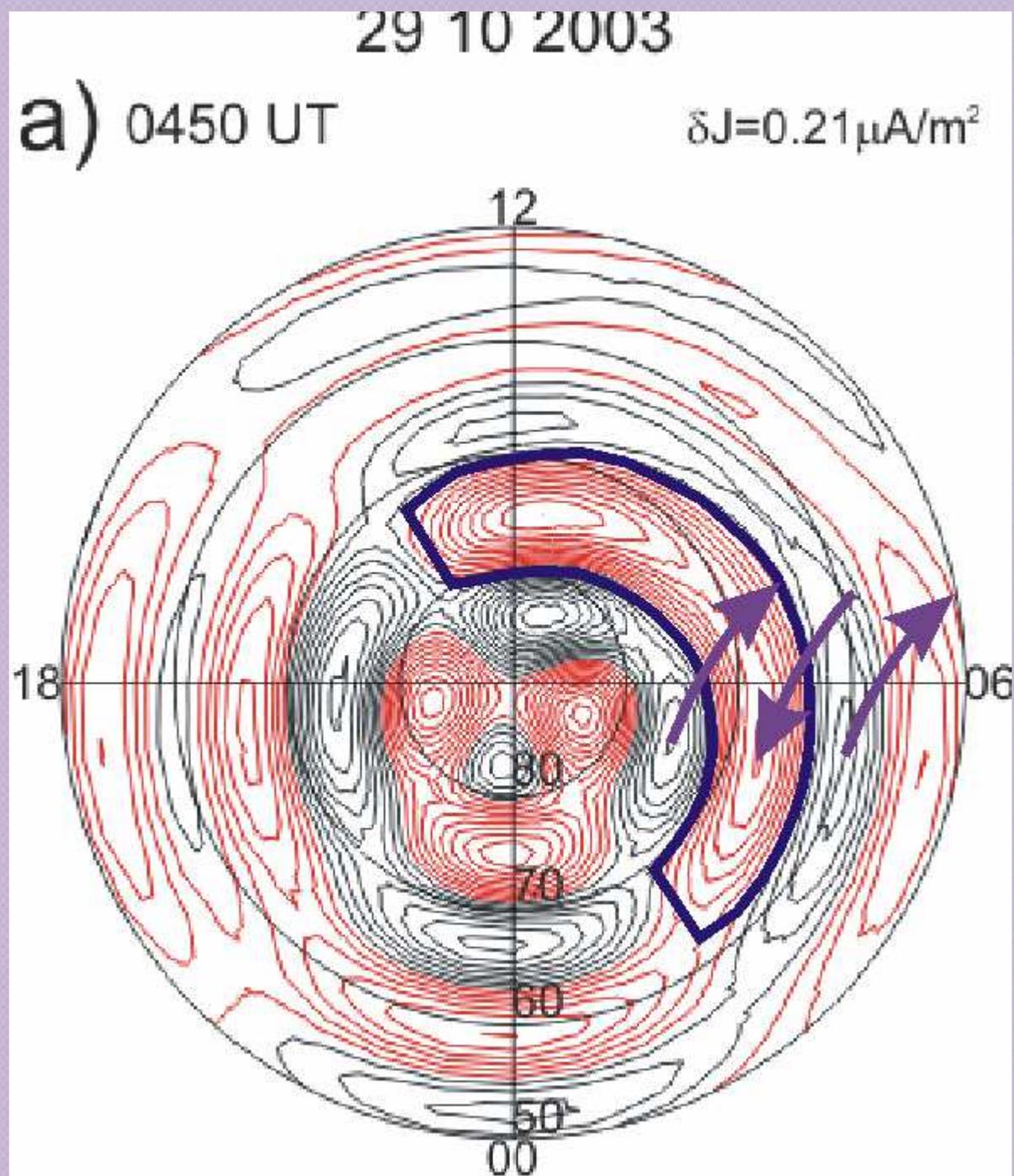
Полное
соответствие
карт ПТ
(полученных по
данным ТИМ)
модели И-П для
супер-
возмущенных
условий
(AE = 1073 nT).



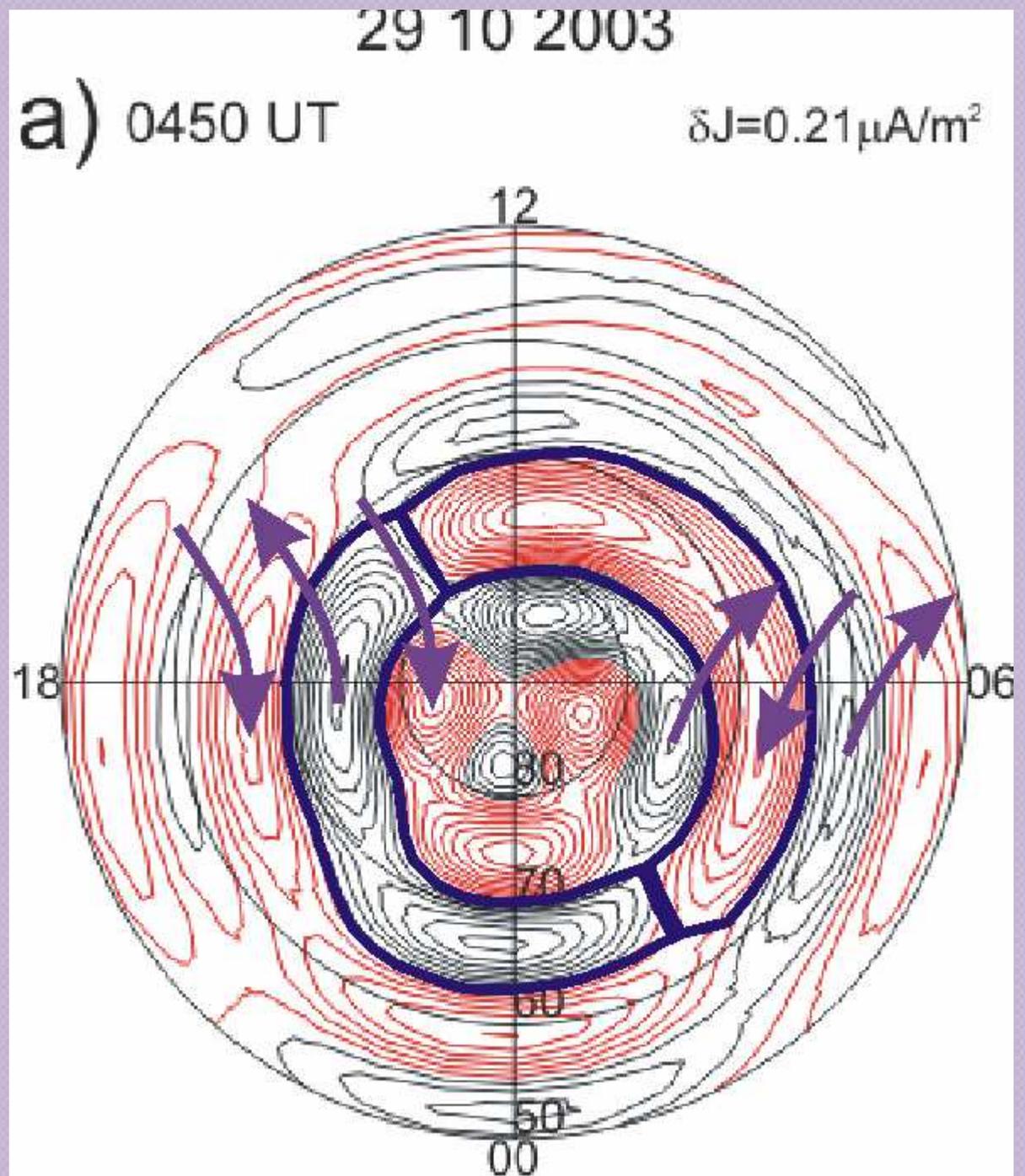
Полное
соответствие
карт ПТ
(полученных по
данным ТИМ)
модели И-П для
супер-
возмущенных
условий
(AE = 1073 nT).



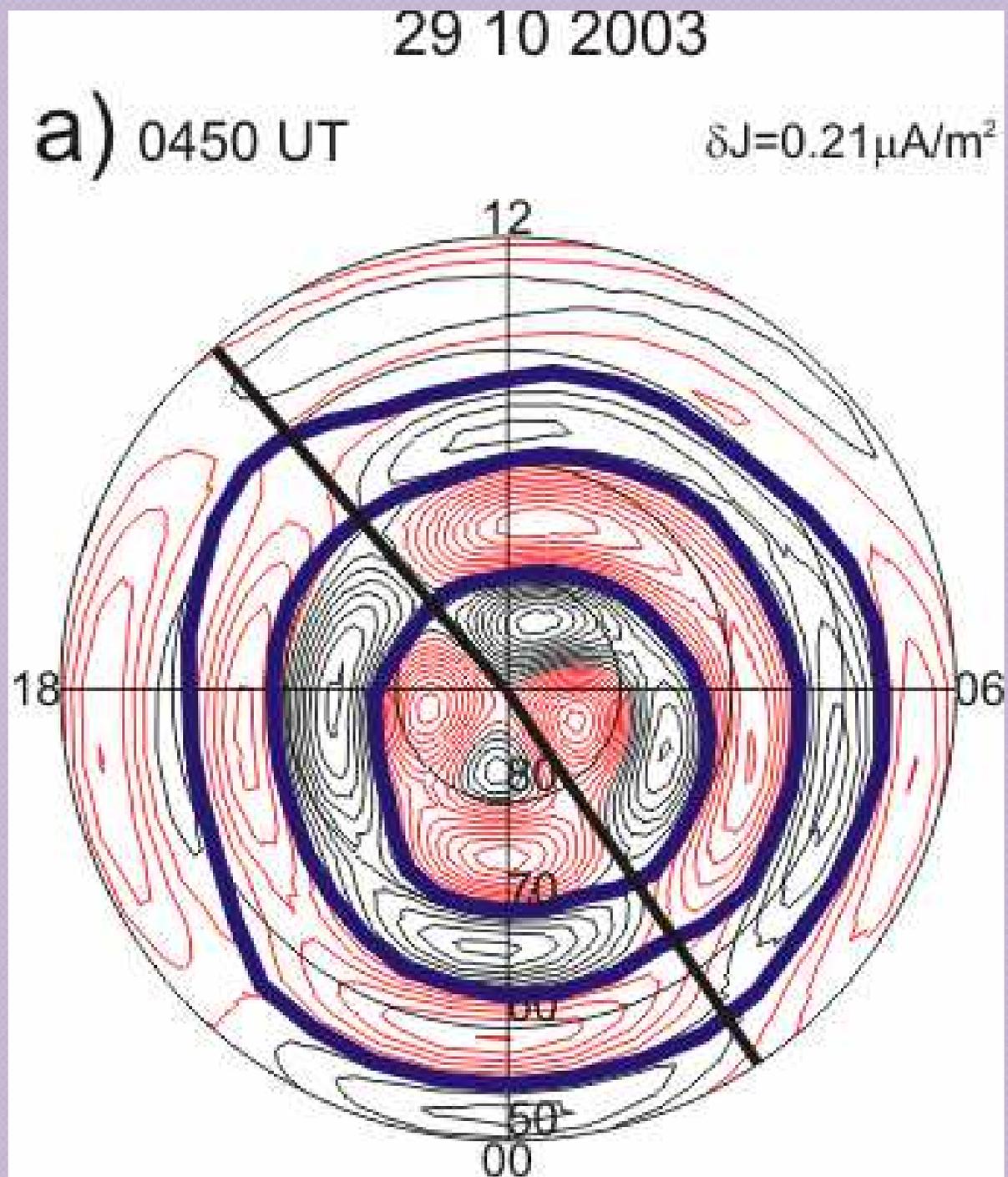
Полное
соответствие
карт ПТ
(полученных по
данным ТИМ)
модели И-П для
супер-
возмущенных
условий
(AE = 1073 nT).



Полное
соответствие
карт ПТ
(полученных по
данным ТИМ)
модели И-П для
супер-
возмущенных
условий
(AE = 1073 nT).



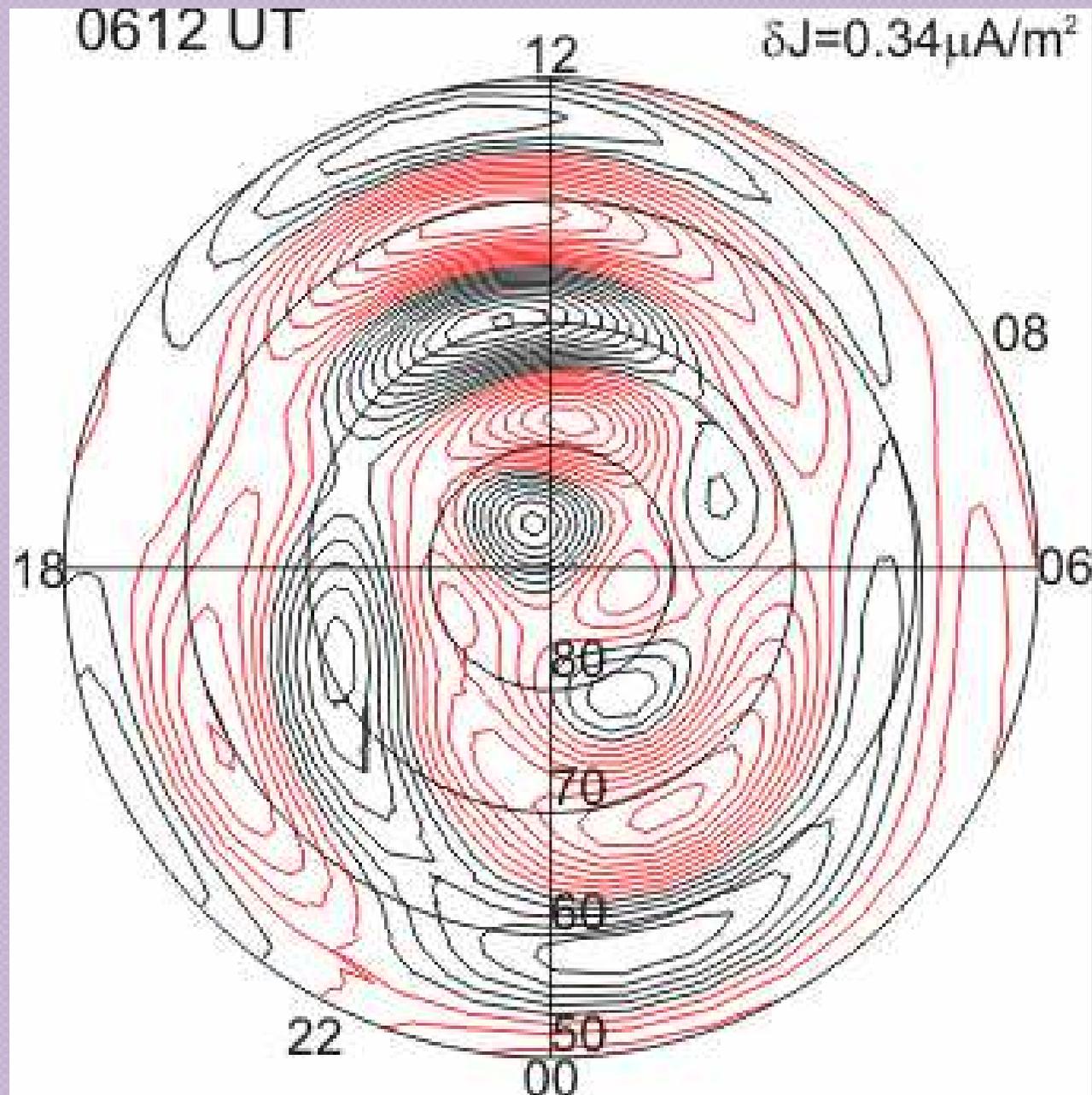
Полное
соответствие
карт ПТ
(полученных по
данным ТИМ)
модели И-П для
супер-
возмущенных
условий
(AE = 1073 nT).



**Проблемы
примене-
ния
модели
И-П.**

29.10.2003

**AE =
2729 nT**

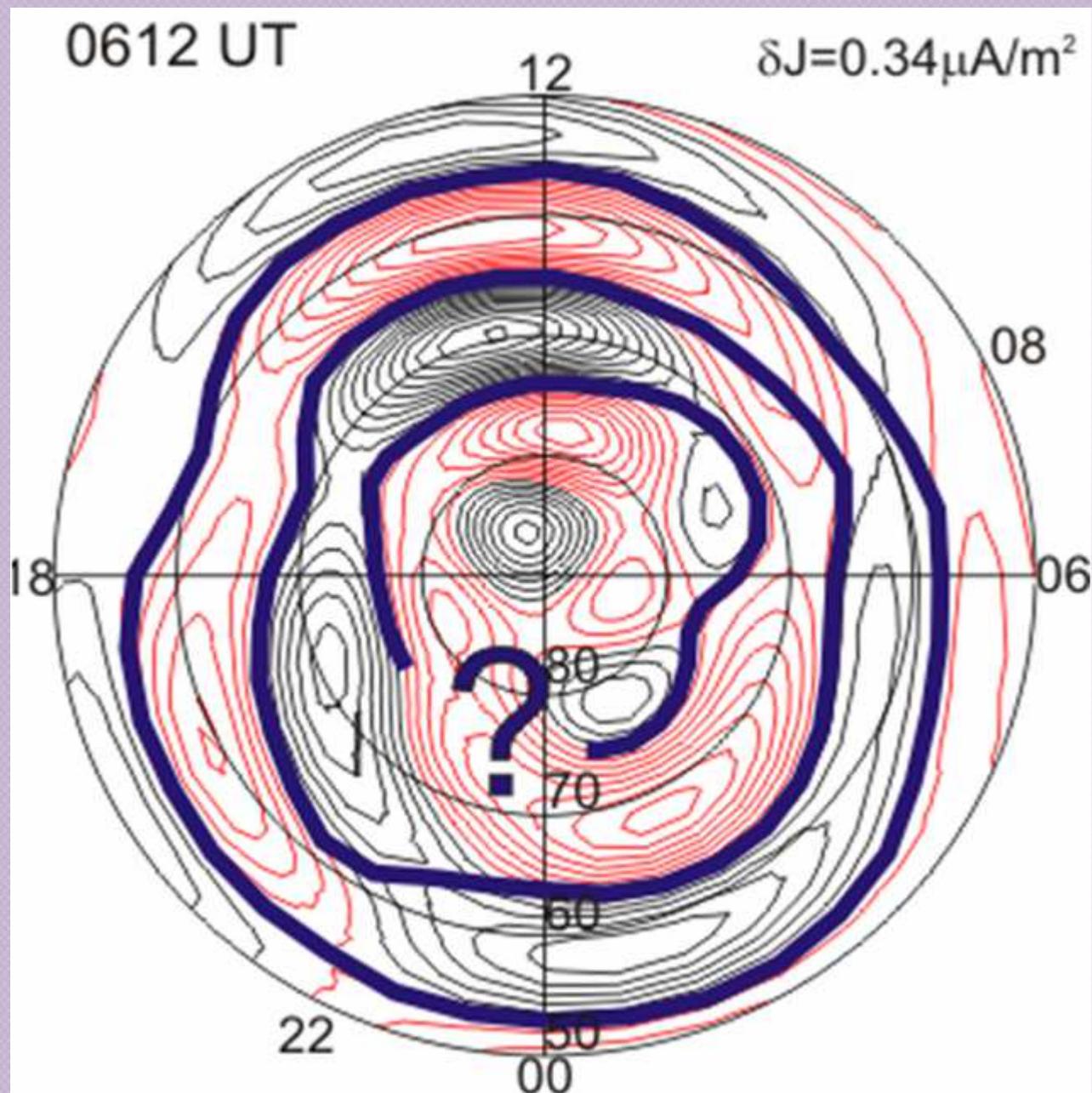


Проблемы
примене-
ния
модели
И-П.

29.10.2003

AE =

2729 nT

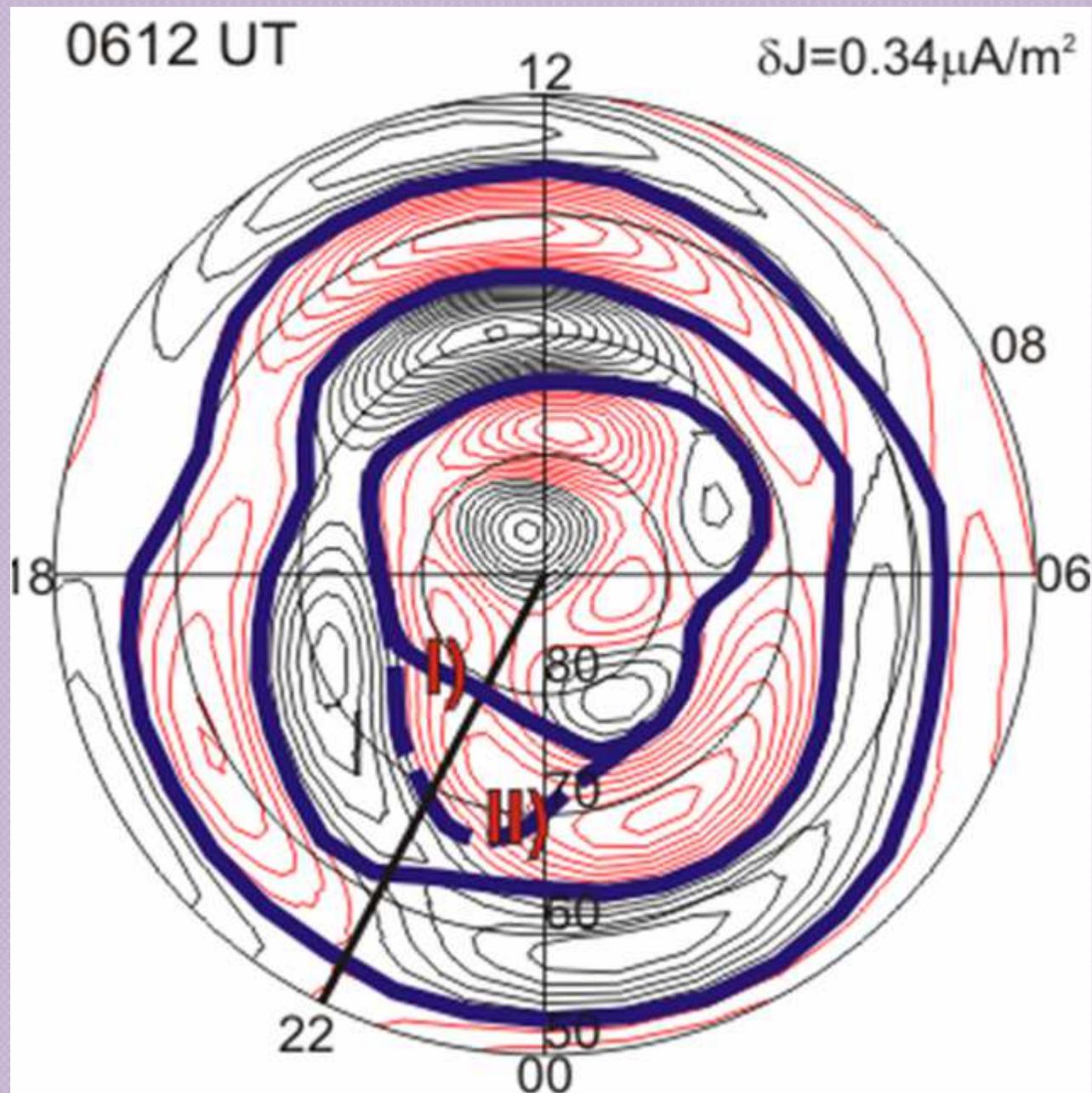


Проблемы
примене-
ния
модели
И-П.

29.10.2003

AE =

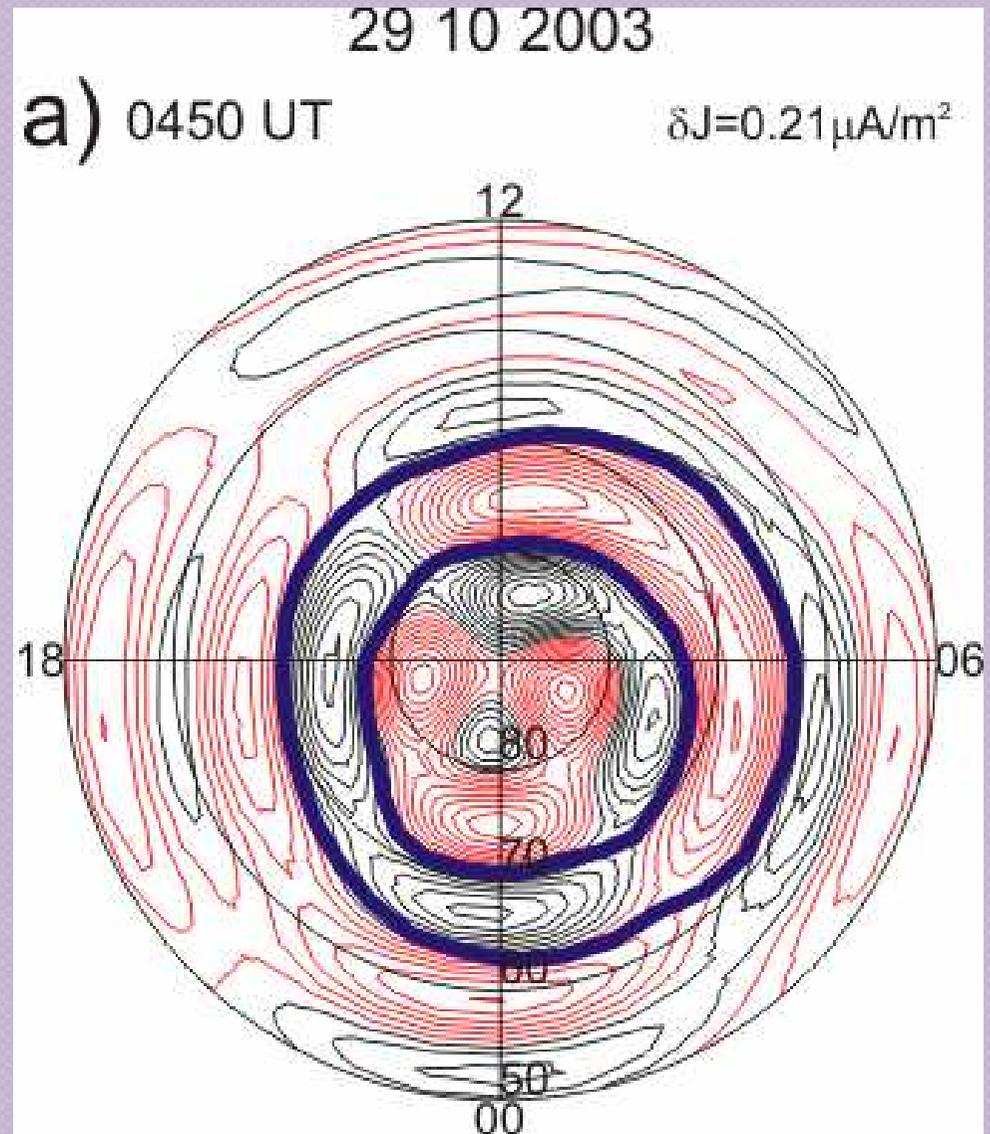
2729 nT



Дополненная модель Ииджимы и Потемры.

Критерий №1.

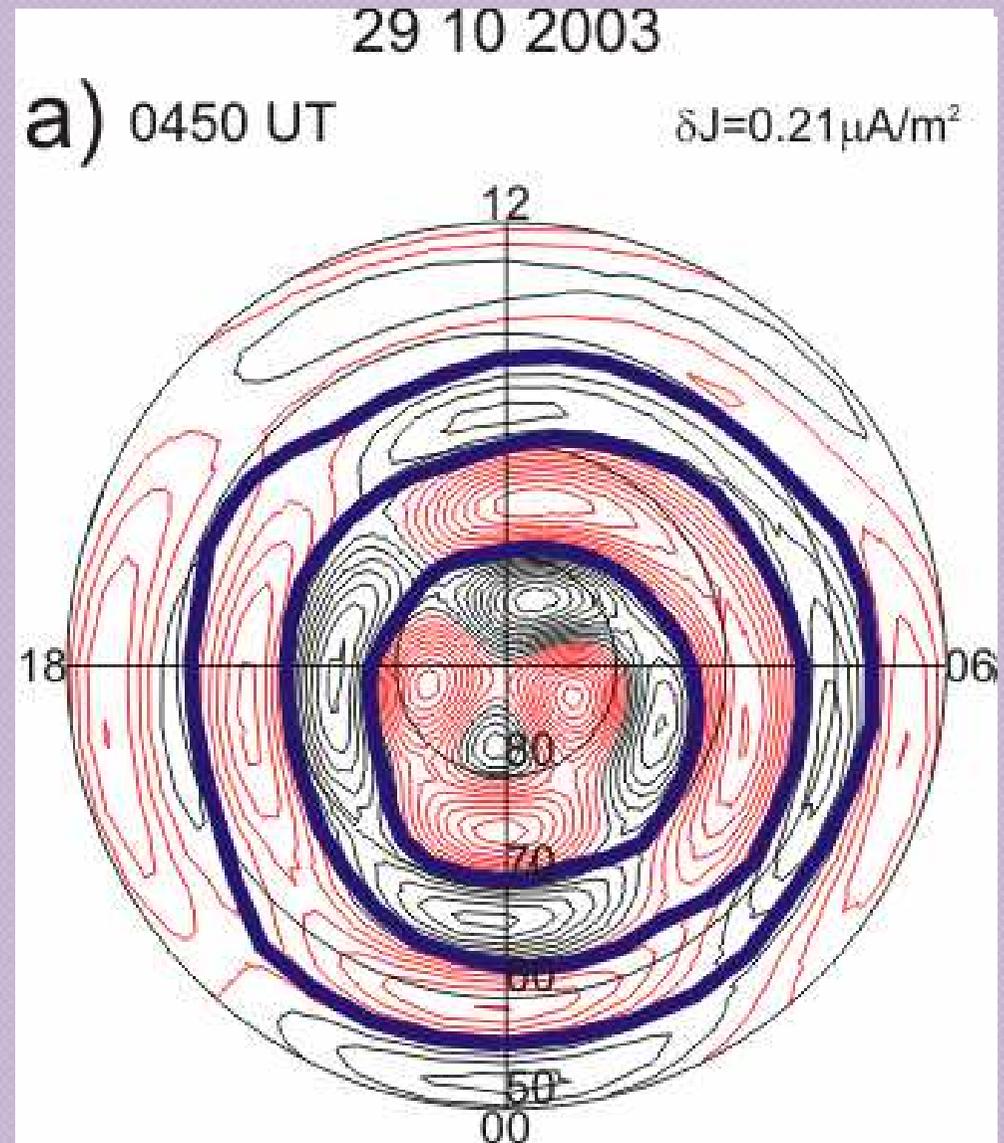
Граница Зоны R0 должна совпадать с высокоширотной границей Зоны R1 продольных токов, втекающих в утреннем секторе и вытекающих в вечернем секторе.



Дополненная модель Ииджимы и Потемры.

Критерий №1.

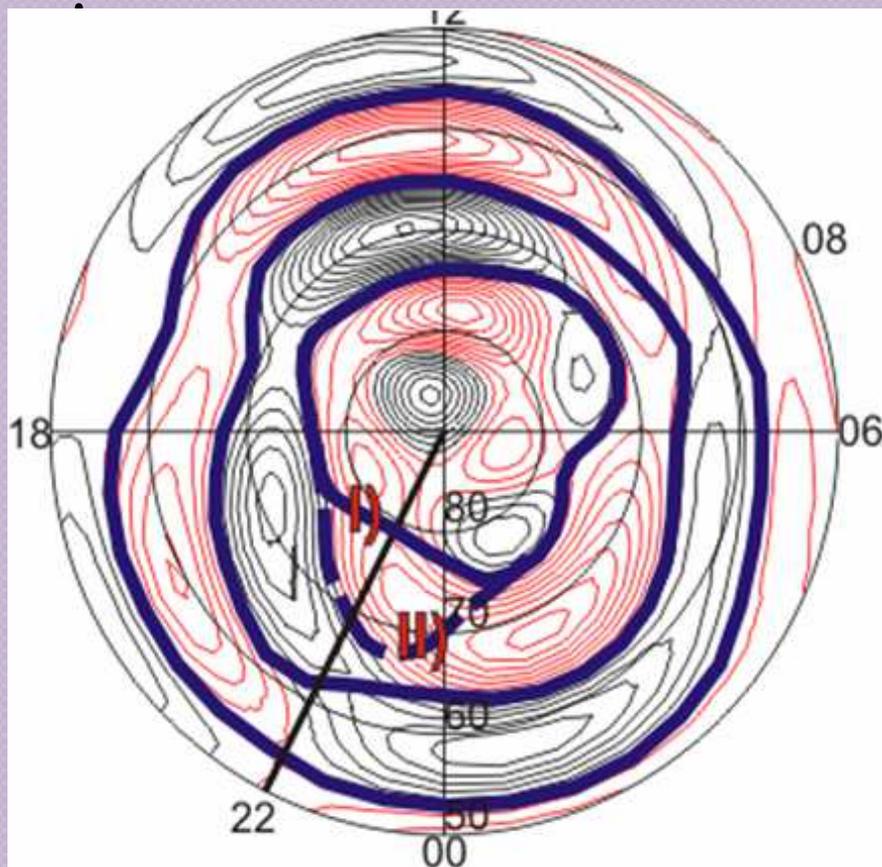
Граница Зоны R0 должна совпадать с высокоширотной границей Зоны R1 продольных токов, втекающих в утреннем секторе и вытекающих в вечернем секторе. Аналогично для Зоны R2.



Дополненная модель Ииджимы и Потемры.

Критерий №2.

Термины «утренний» и «вечерний» условны, т.к. внутри зон имеются малые включения ПТ противоположного знака.



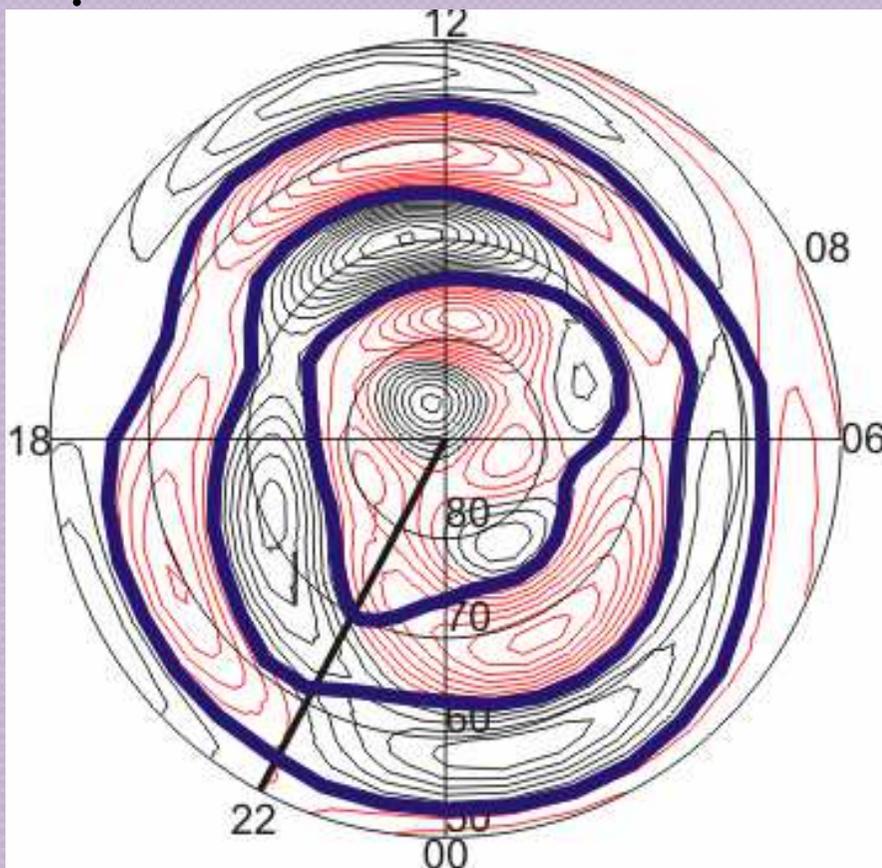
$$\Delta = \delta I / I \leq 10\%$$

I – есть полный втекающий (вытекающий) ПТ рассматриваемой зоны И-П;
 δI – полный ПТ противоположного знака в той же Зоне (допустимая ошибка вычисленного значения I).

Дополненная модель Ииджимы и Потемры.

Критерий №2.

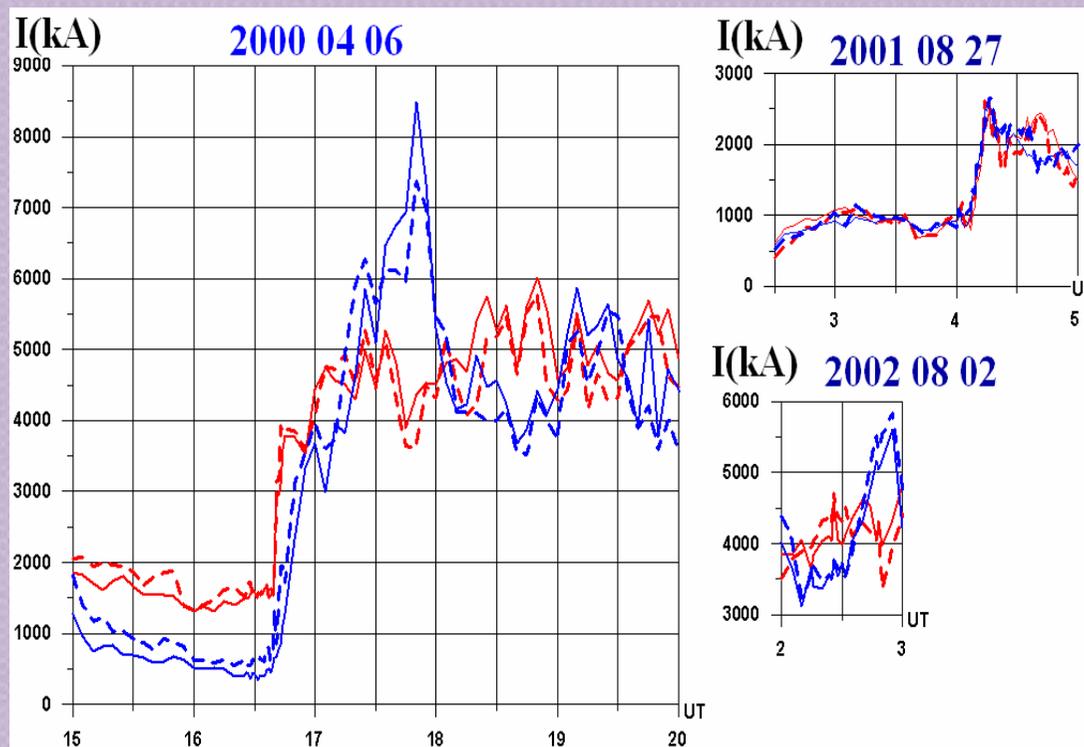
Термины «утренний» и «вечерний» условны, т.к. внутри зон имеются малые включения ПТ противоположного знака.



$$\Delta = \delta I / I \leq 10\%$$

I – есть полный втекающий (вытекающий) ПТ рассматриваемой зоны И-П;
 δI – полный ПТ противоположного знака в той же Зоне (допустимая ошибка вычисленного значения I).

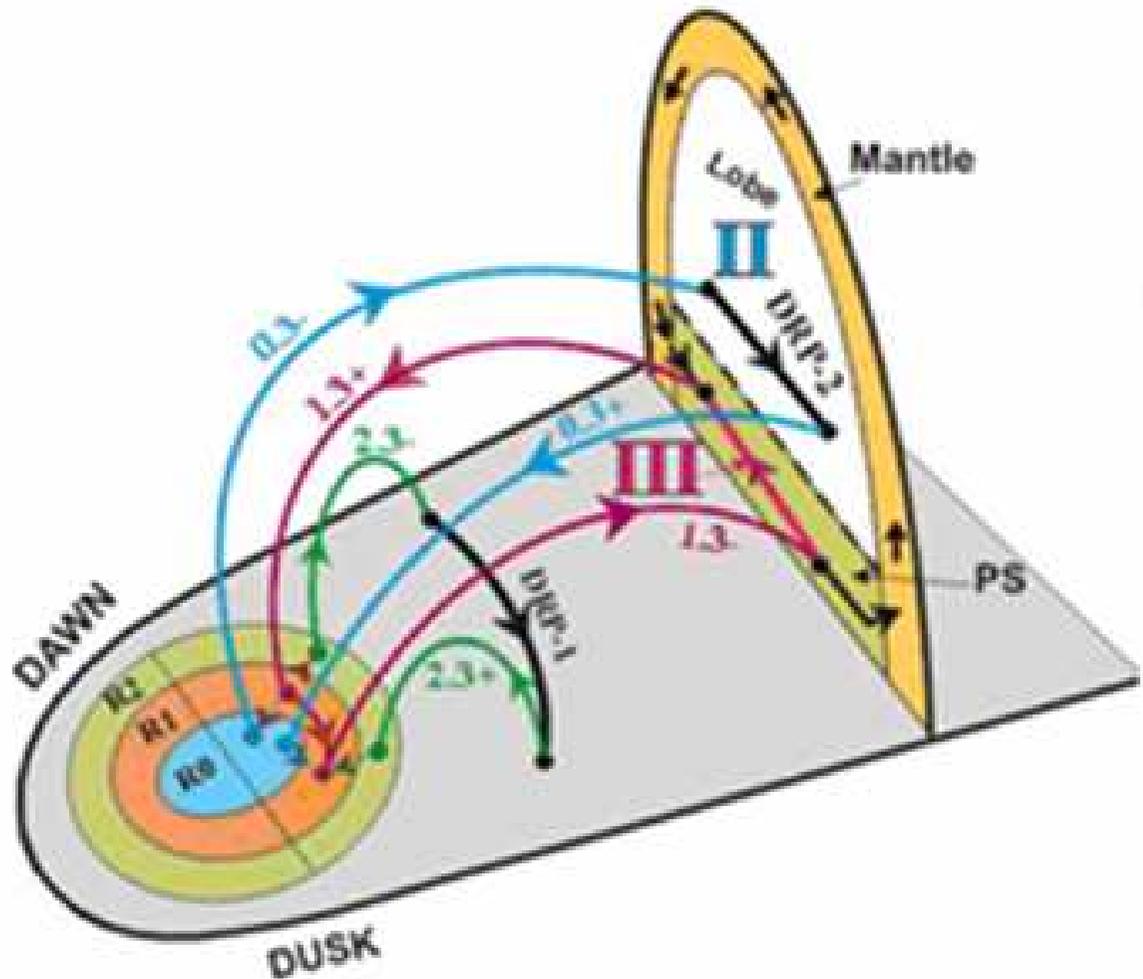
Критерий №3 - постулат Сиско-Каули



Изменения полных ПТ Зоны 1 (сплошные линии) и суммы ПТ Зон 0 и 2 (пунктирные линии) в утреннем секторе (синие) и вечернем секторе (красные линии). Достигнуто равенство

$$I_{R1} = I_{R2} + I_{R0}$$

Постулат Сиско – Каули расширен на Зону 0 (т.к. было замечено, что вклад от Зоны 0 больше допустимой ошибки ТИМ) и на все MLT: ПТ Зон 2 и 0 возникают как результат растекания по ионосфере ПТ Зоны 1, а последние замыкаются непосредственно на систему генераторов, что соответствует модели генераторов



Сиско-Каули

нения полных ПТ
 1 (сплошные
 и) и суммы ПТ Зон
 2 (пунктирные
 и) в утреннем
 ре (**синие**) и
 нем секторе
красные линии).
 игнуто равенство

$$I_{R1} = I_{R2} + I_{R0}$$

Постулат Сиско – Каули расширен на Зону 0 (т.к. было замечено, что вклад от Зоны 0 больше допустимой ошибки ТИМ) и на все MLT: ПТ Зон 2 и 0 возникают как результат растекания по ионосфере ПТ Зоны 1, а последние замыкаются непосредственно на систему генераторов, что соответствует модели генераторов

Основные результаты

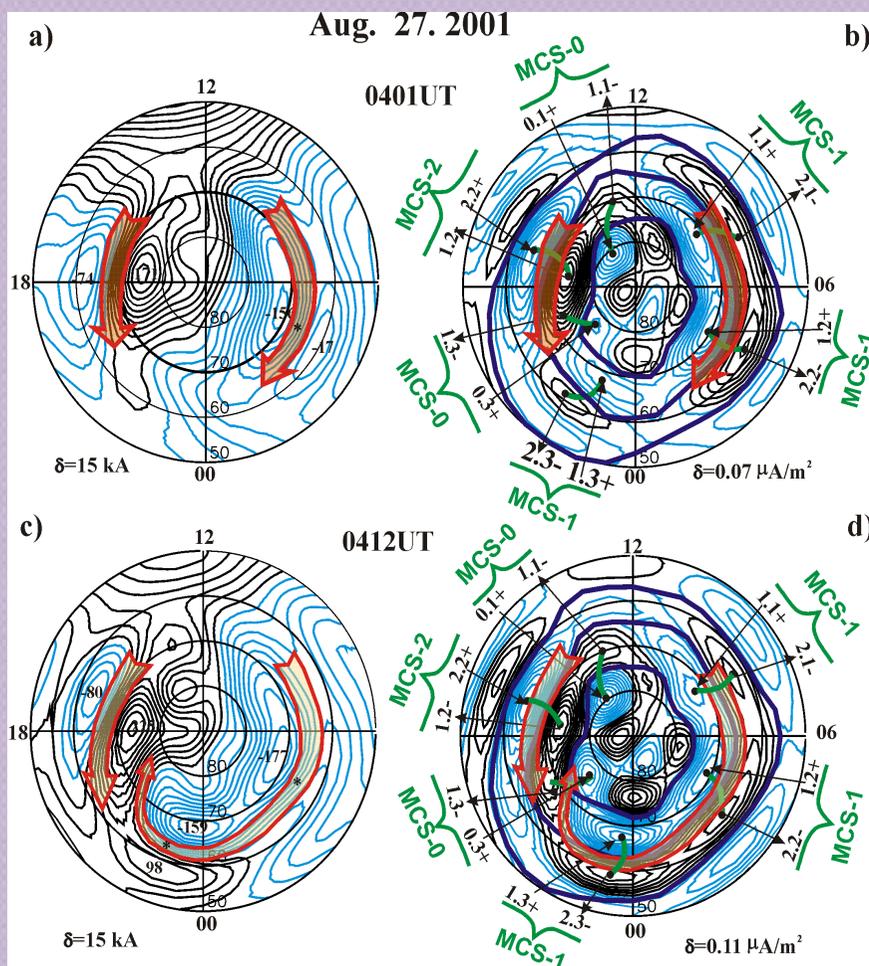
Предложена дополненная модель И-П распределения продольных токов, учитывающая и исправляющая все вышеперечисленные недостатки оригинальной модели И-П;

В ходе возмущения сохраняется равенство интенсивностей ПТ зоны 1 и суммы интенсивностей ПТ зон 2 и 0 ($I_{R1}=I_{R2}+I_{R0}$), что означает, что генераторы составляют единую систему; эта система создаёт сначала ПТ Зоны 1, которые растекаясь по ионосфере создают ПТ Зон 2 и 0, т.е. единое динамо питает через Зону 1 не только Зону 2 (как это считалось ранее), но и Зону 0 - постулат Сиско и Каули подтвержден и расширен.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

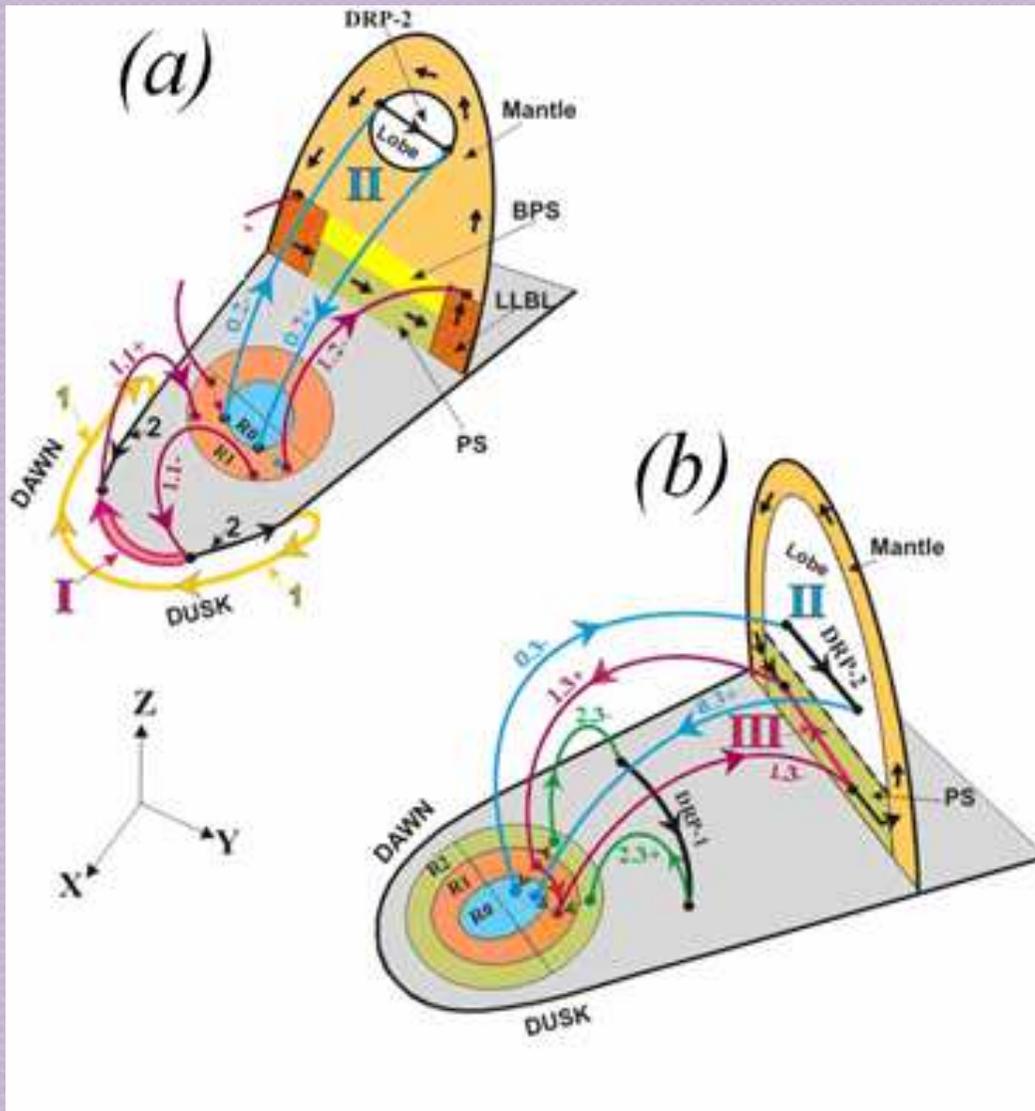
ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ТИМ КАРТЫ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ТОКОВ (ЭТ) И ПТ.



На картах ЭТ (слева) показаны: восточная и западная авроральные электроструи (**красные полосы со стрелками**), значения полного тока в фокусах отдельных вихрей (в кА). На картах ПТ (справа) **толстые синие** линии показывают границы трёх зон И–П, а стрелки -ПТ, втекающие или вытекающие через центры R_N -неоднородностей плотности ПТ внутри каждой зоны. **Голубые** изолинии - втекающий, **черные изолинии** – вытекающий ПТ.

В каждой зоне И-П можно увидеть до шести неоднородностей. Короткие жирные **зеленые дуги** соединяют центры неоднородностей областей втекающего и вытекающего ПТ двух соседних Зон И-П. Каждую пару ПТ замыкает ионосферный ток Педерсена меридионального направления. Этот ток и соответствующая пара ПТ составляют одну из трёхмерных меридиональных токовых систем - *meridional current system* (**MCS**), отмеченных на рисунке.

Схема генераторов и токов.

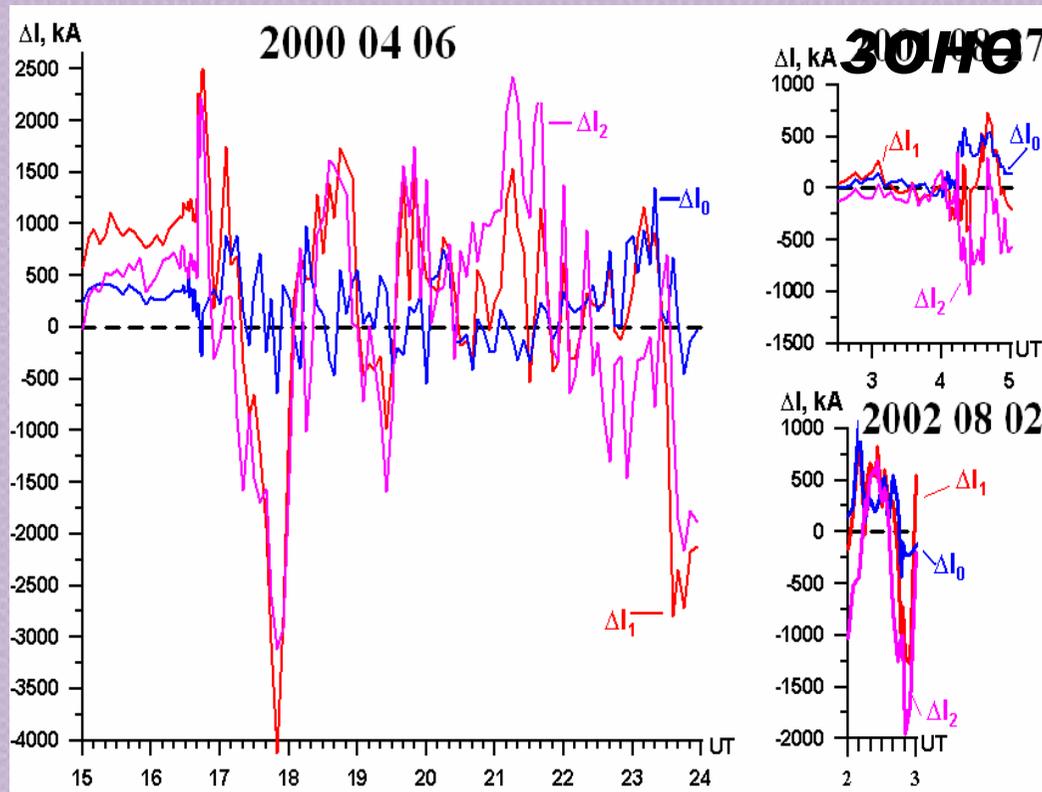


а) Ось X – к Солнцу, ось Y – на вечер. **Желтой линией 1** показан ток в головной ударной волне, замыкаемый током 2 на магнитопаузе. **Стрелки I и III** показывают направления токов в генераторах **I** и **III**. **Цифрой II** отмечено сечение объёмного генератора **II** геомагнитного хвоста, в котором показана замкнутая цепь тока в плазменной мантии (Mantle), плазменном слое (PS) и низкоширотном погранслое LLBL. **Цветные кольца** – зоны И-П.

б) ПТ **1.1** из дневной магнитопаузы- генератора **I** в зону 1 и ПТ **1.2** (утренне – вечернего сектора 2 из генератора **II**- с флангов хвоста.

Рис.2б-ночная система ПТ. Три пары ПТ (**0.3**, **1.3** и **2.3**) связаны растеканием токов **1.3** в ионосфере в виде меридиональных токов

Асимметрия распределения ПТ в каждой

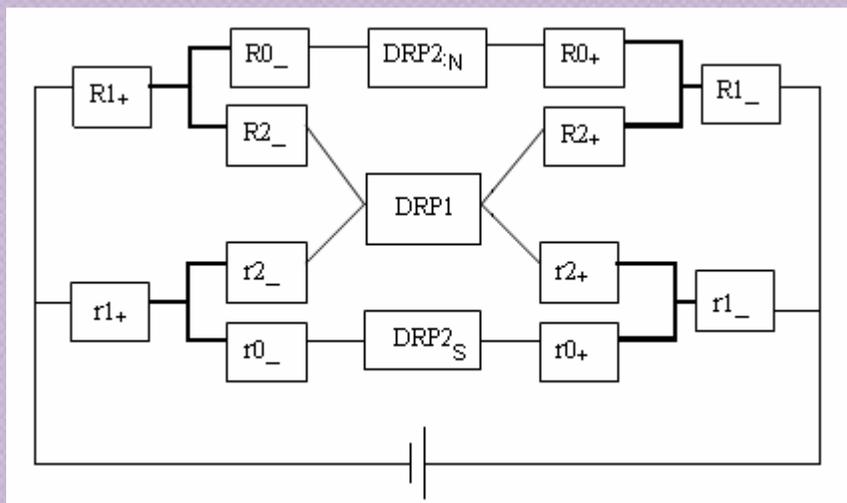


Разности полного втекающего и вытекающего ПТ, наблюдаемых в утреннем и вечернем секторах каждой из Зон, превышают ошибку счета в 2-3 раза. Т.о. налицо асимметрия утро-вечер ПТ внутри каждой зоны. Возможные причины асимметрии ПТ —

нем, или сезонное неравенство проводимостей двух полушарий. Асимметрию в распределении ПТ в двух полушариях отмечали Papitashvili et al, 2002; Shi et al, 2010. Ее проявление в распределении дуг полярных сияний исследовано на богатой статистике (6600 суббурь) Ostgaard et al., 2007, 2011.

Для объяснения асимметрии ПТ мы построили глобальную схему генераторов магнитосферы.

Электросхема возмущенной системы магнитосфера-ионосфера



Слева - утренняя сторона, справа - вечерняя, сверху - северное полушарие, снизу - южное. Полюса трёх генераторов северного и трех генераторов южного полушарий соединены проводящей ионосферой параллельно: полюса одного знака - в утреннем секторе, полюса другого знака - в вечернем секторе. Т.о., все генераторы составляют единую систему, общую для трёх Зон северного полушария и трех зон южного полушарий. ПТ зоны 2 утреннего сектора Северного полушария замыкается на динамо через асимметричный кольцевой ток DRP1 и ПТ зоны 2 вечернего сектора Северного полушария. При этом замыкающий ПТ не ответвляется на юг, если система симметрична и $\sum N = \sum S$. При $\sum N < \sum S$ часть ПТ зоны 2 вечернего сектора с севера ответвится на юг. DRP2-эффективное сопротивление объемного генератора II хвоста, обеспечивающее замыкание системы генерируемых им ПТ.