

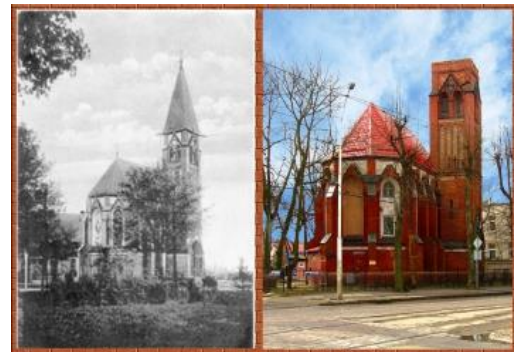


МЕЖДУНАРОДНАЯ БАЙКАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

«ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КОСМОСЕ И ОКОЛОЗЕМНОЙ СРЕДЕ»



XV Конференция молодых ученых
«Взаимодействие полей и излучения с веществом»
Иркутск, 11 – 16 сентября 2017 г.

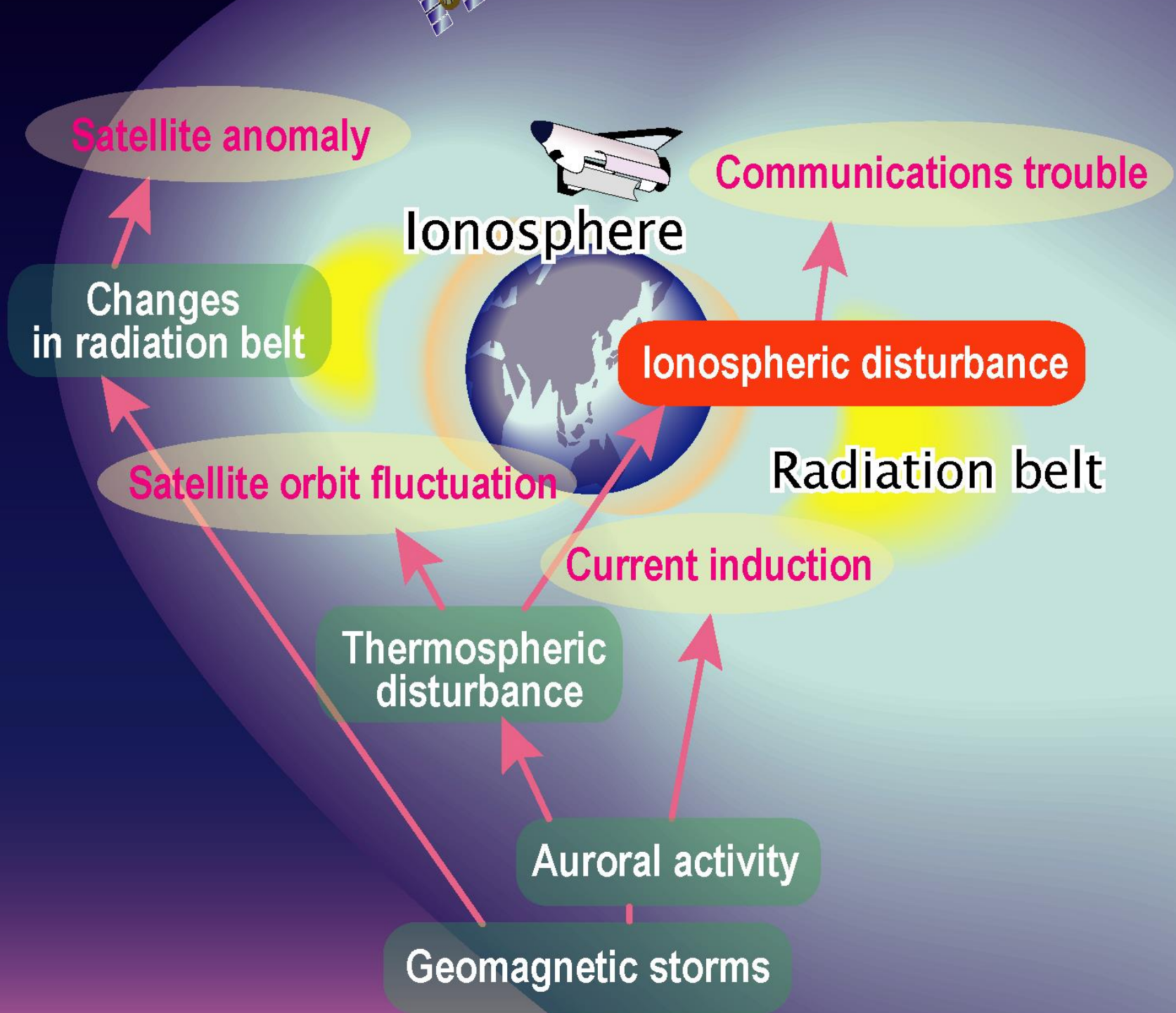


Модель верхней атмосферы как инструмент для изучения космической погоды

Клименко М.В.^{1,2}, Клименко В.В.¹

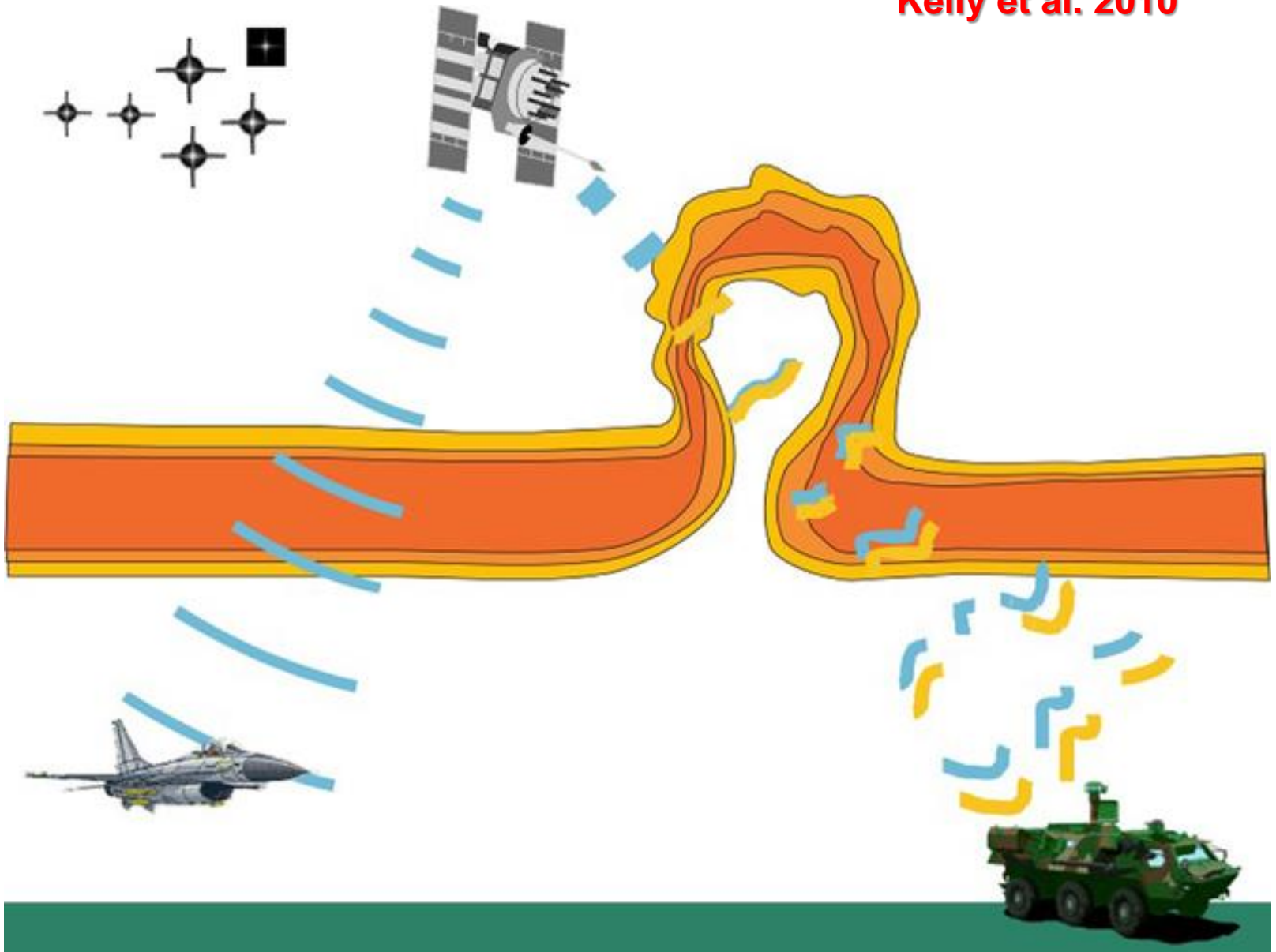
¹Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия,
e-mail: maksim.klimenko@mail.ru

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия



Anaconda 2002 (Afghanistan)

Kelly et al. 2010



Краткий обзор модели IRI

Модель IRI описывает климатическое поведение ионосферы и успешно используется на протяжении более 40 лет. Исследования показывают, что модель IRI в среднем дает хорошие результаты по воспроизведению ионосферных параметров в различных условиях.

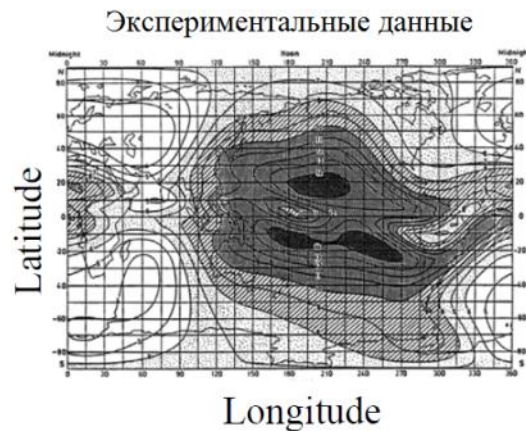
CCIR – 1967

Jones and Gallet, 1962

Jones et al., 1969

Ионозонд 1954–1958

Модельные значения ионосферных параметров в южном полушарии и над океанами получают экстраполяцией вдоль линий постоянного магнитного диполя.



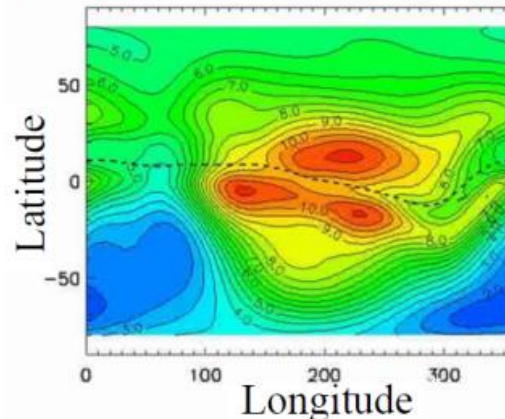
URSI – 1988

Fox and McNamara, 1988

Rush et al., 1989

Около 45,000 массивов среднемесячных данных зондирования ионосферы. Теоретическая модель приводится в соответствие с значениями параметра f_oF_2 , наблюдающимися на мировой сети станций.

Результаты моделирования с опцией URSI



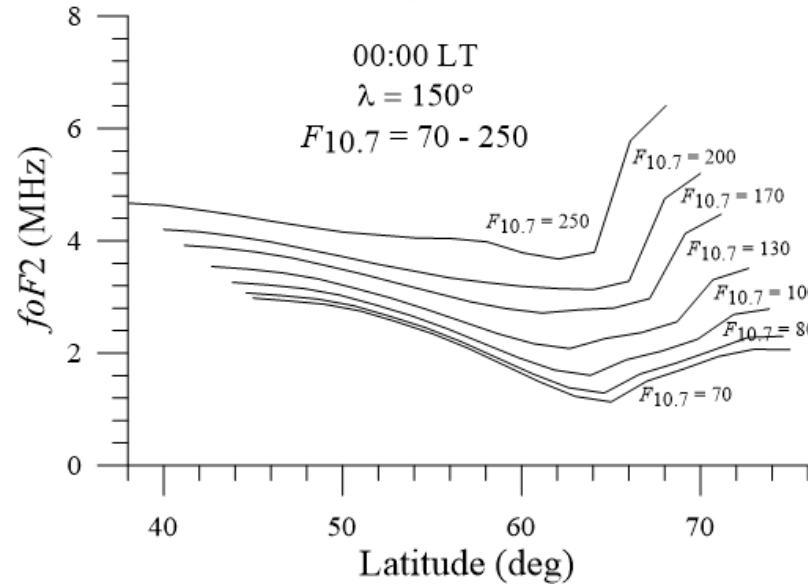
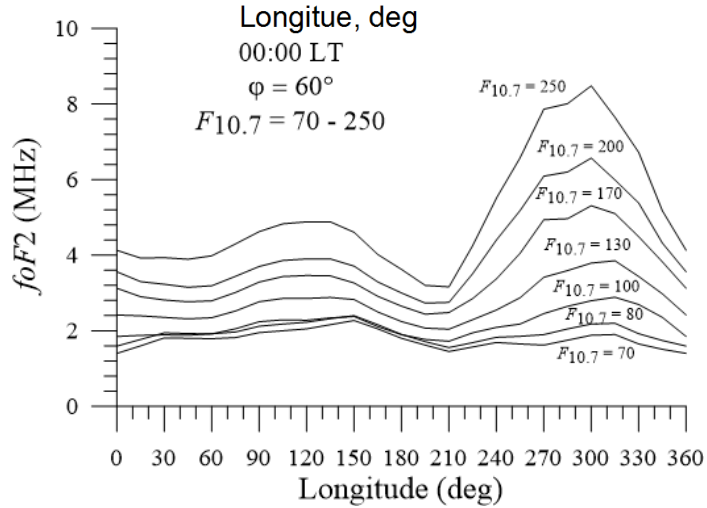
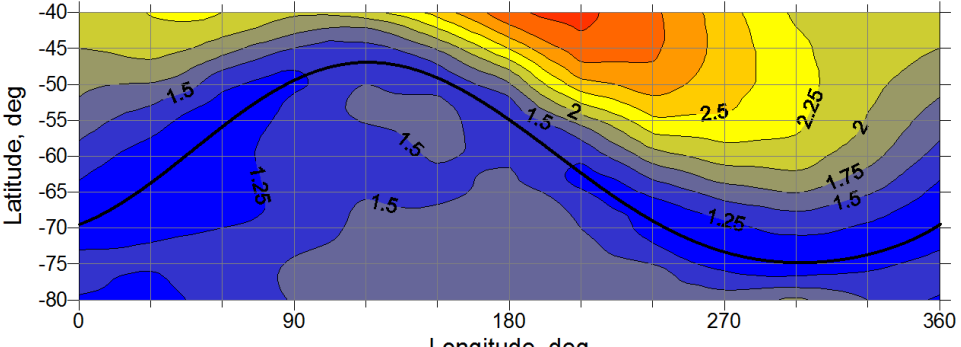
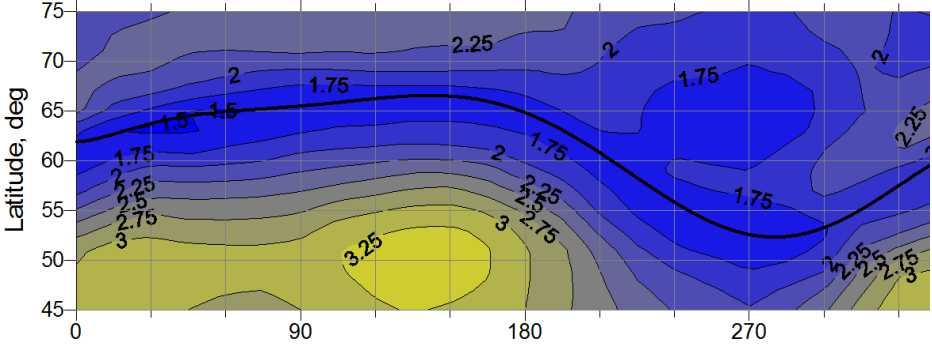
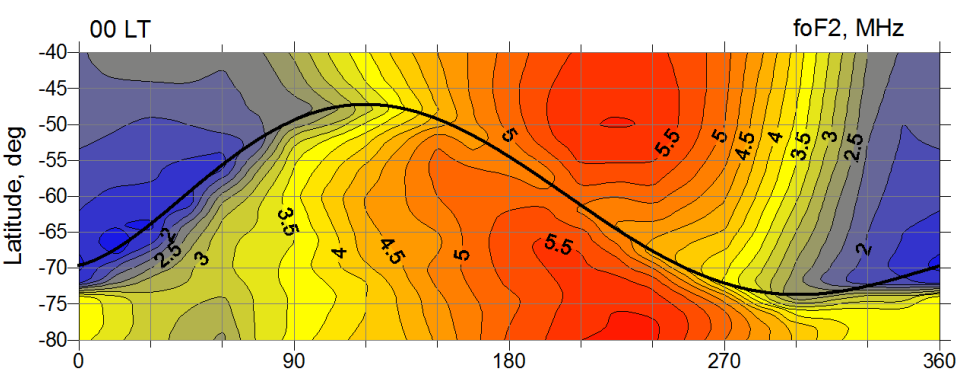
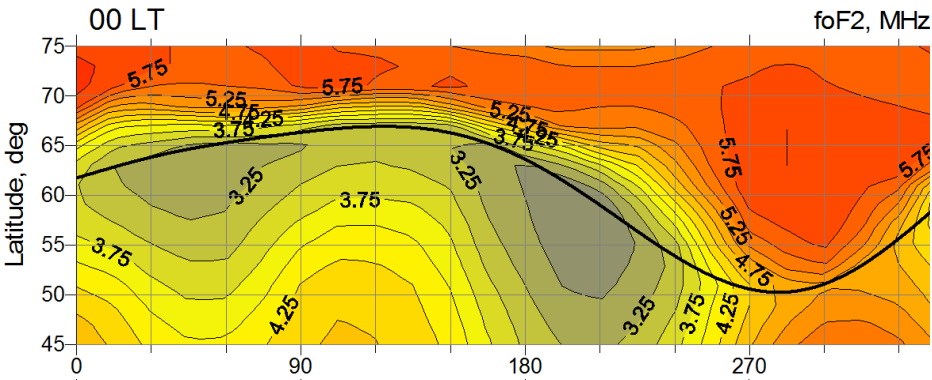
IRTAM – 2012

Galkin, Reinisch, Huang and

Bilitza, 2012

45 цифровых ионозондов. Используется Non-linear Error Compensating Technique for Associative Restoration (NECTAR) для уточнения коэффициентов CCIR и сравнения модельных результатов с данными наблюдений, полученными в реальном времени на сети ионозондов Global Ionosphere Radio Observatory (GIRO)).

Модель Главного Ионосферного Провала (ГИП)



Банк данных

4 300 000 COSMIC профилей (2006-2015)

200 000 GRACE профилей (2007-2015)

300 000 CHAMP профилей (2001-2008)

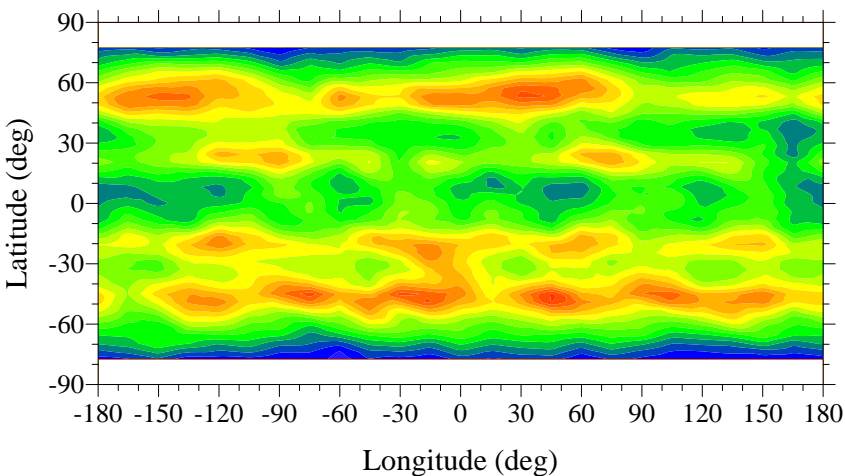
<http://cdaac-www.cosmic.ucar.edu/cdaac/products.html> - массив данных

http://lasp.colorado.edu/lisird/tss/noaa_radio_flux.html - значения F10.7

Количество данных COSMIC, CHAMP, GRACE

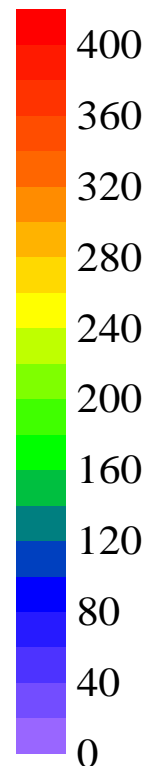
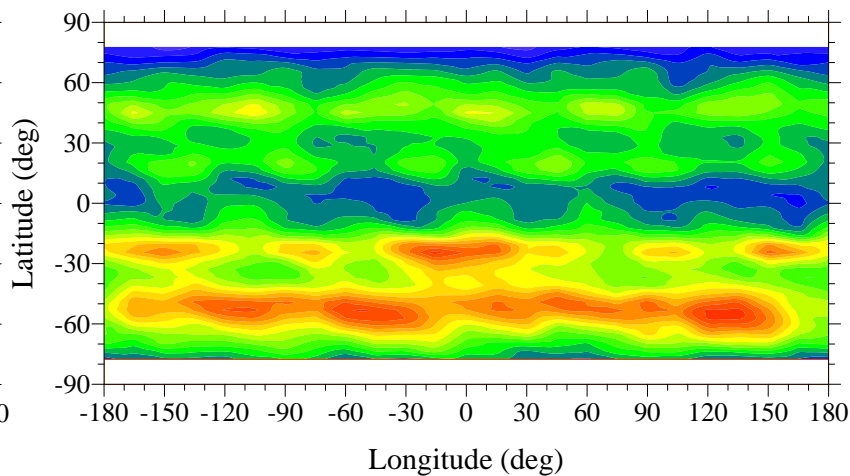
Июнь, 12:00 LT

Measurements count



Декабрь, 24:00 LT

Measurements count



Возможные дополнения

200 000 N(h)-профилей Интеркосмос-19

Данные наземных ионозондов

Модель ГСМ ТИП

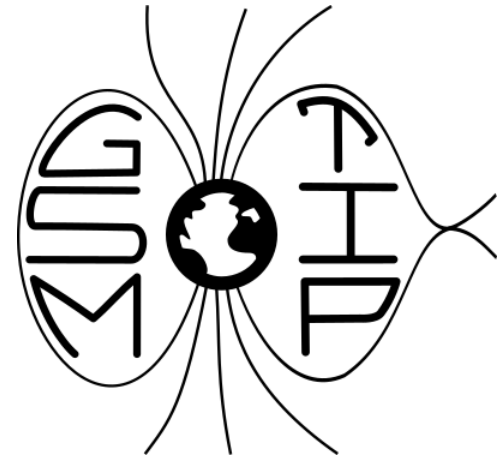
Термосферные параметры:
 T_n , O_2 , N_2 , O , NO , $N(^4S)$, $N(^2D)$
плотности; вектора скоростей;
(от 80 км до 526 км)

Ионосферные параметры:
плотности O^+ , H^+ , MoI^+ ;
 T_i и T_e ;
вектора скоростей ионов
(от 80 км до 15 радиусов Земли)

Электрическое поле:

В модели используется новый блок
расчета электрического
потенциала

Клименко и др., 2006, 2007.



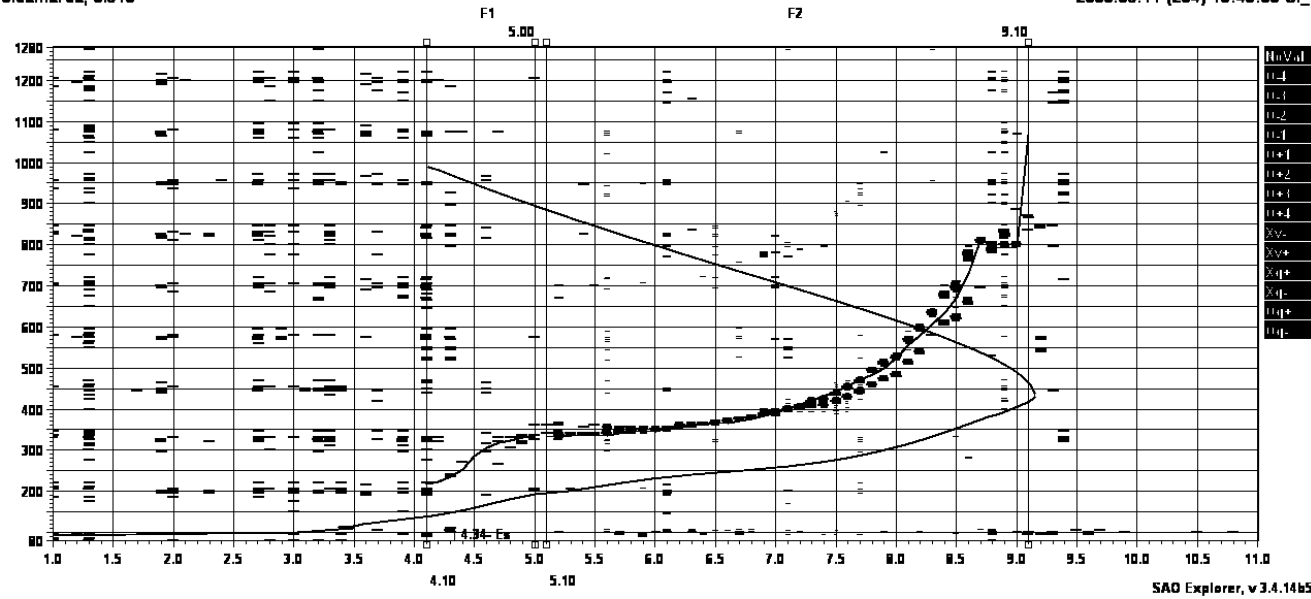
Глобальная Самосогласованная
Модель Термосферы,
Ионосферы и Протоносферы
(ГСМ ТИП), разработанная в
ЗО ИЗМИРАН. Модель ГСМ
ТИП детально описана

Намгаладзе и др., 1988;
Кореньков и др., 1998.

Механизм формирования F3 слоя на экваторе

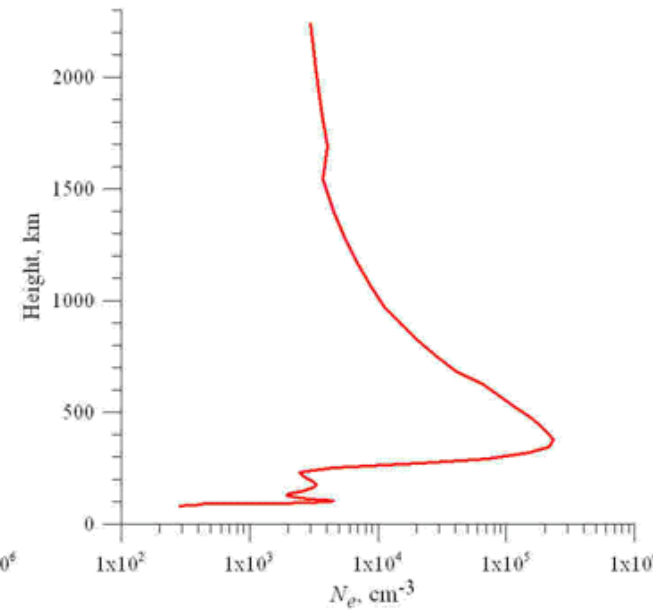
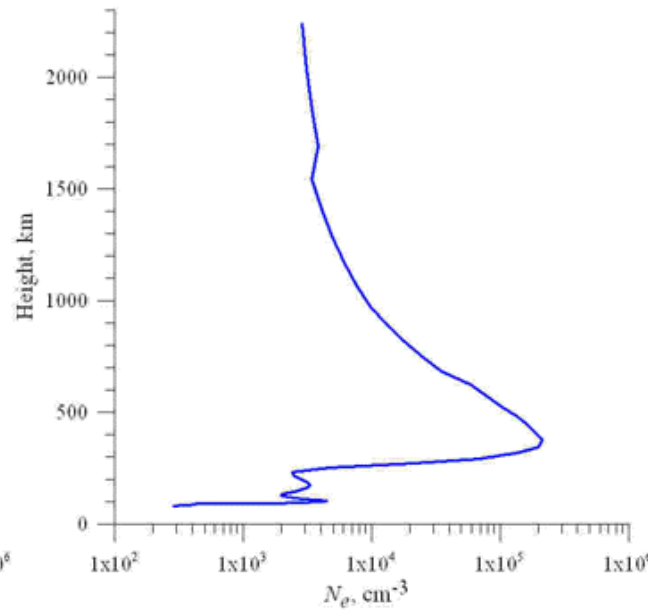
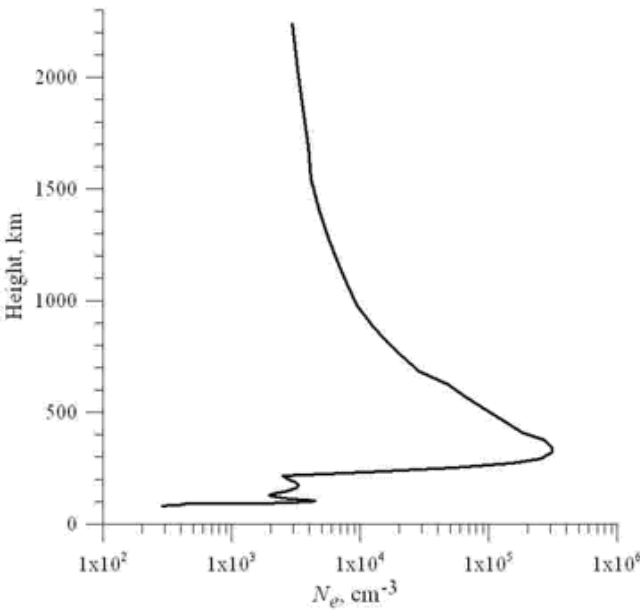
Jicamarca, J191J

2005.09.11 (254) 15:45:00 SI_

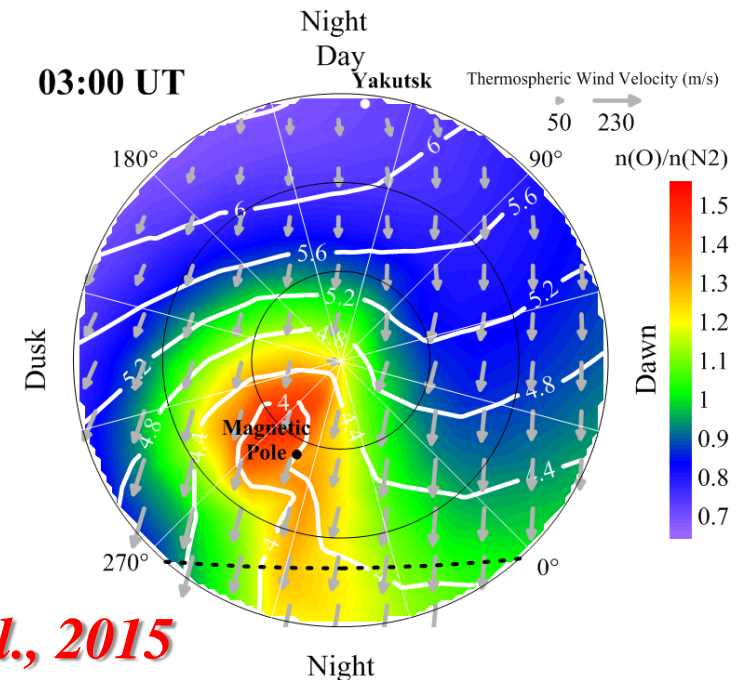
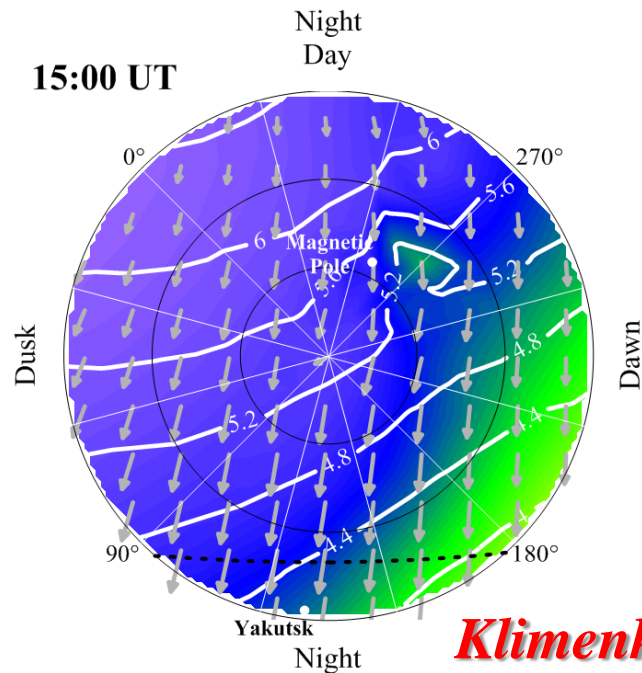
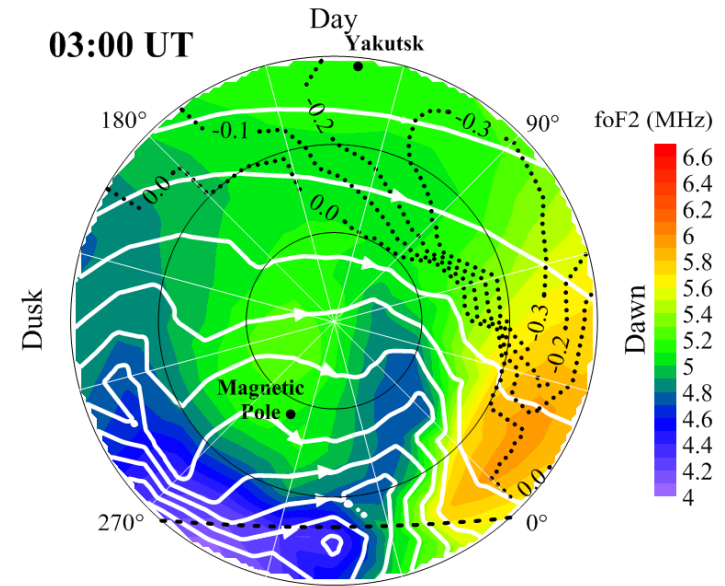
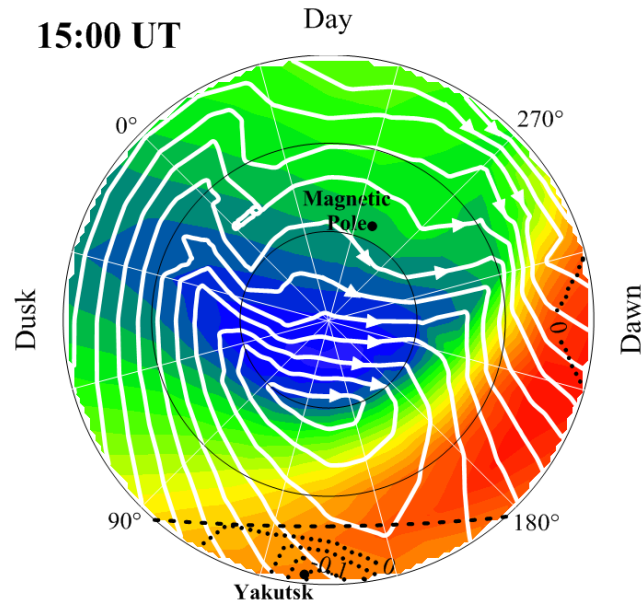


Klimenko et al., 2011
Radio Sci.

01:30 UT

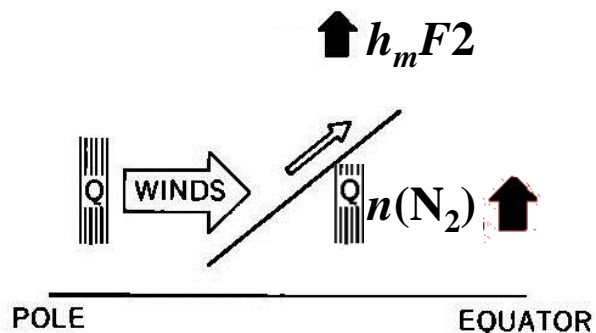


Формирование летних суточных аномалий



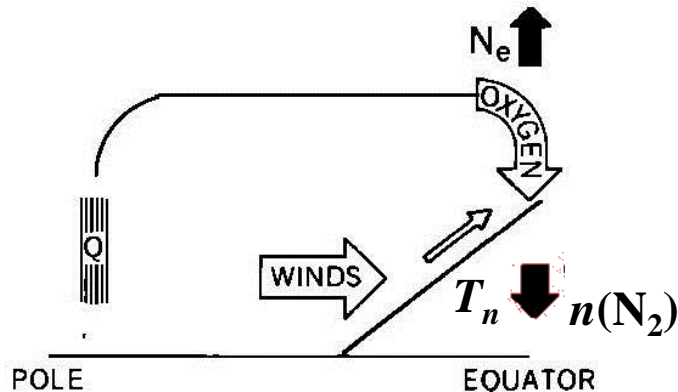
Klimenko et al., 2015

Ионосферный отклик на геомагнитные бури



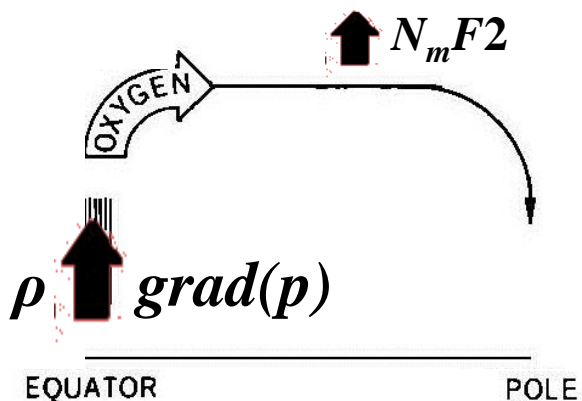
I Рост высоты $F2$ слоя

- (1) нагрев высоких широт
- (2) дополнительный ветер к экватору
- (3) нагрев средних широт
- (4) увеличение $n(N_2)$
- (5) "подъедание" нижней части профиля N_e



II Увеличение $N_m F2$ на низких широтах

- (1) подъем плазмы в область меньших $n(N_2)$
- (2) перенос $n(O)$ к экватору
- (3) увеличение плотности нейтралов
- (4) охлаждение нейтралов и уменьшение $n(N_2)$
- (5) увеличение $n(O)/n(N_2)$
- (6) "сгонка плазмы" к экватору (равноденствие)

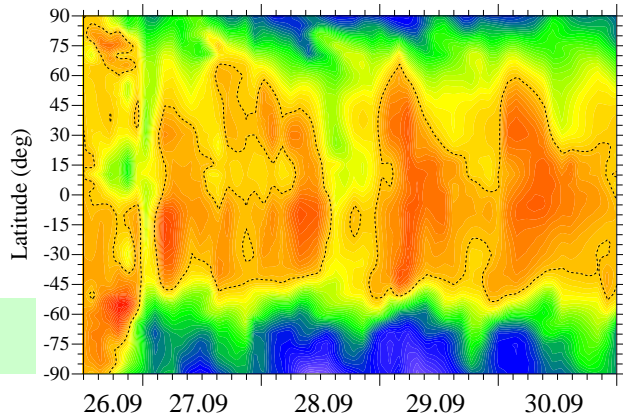


III Увеличение $N_m F2$ на фазе восстановления

- (1) градиент давления к полюсу
- (2) перенос $n(O)$ к полюсу
- (3) увеличение плотности нейтралов
- (4) охлаждение нейтралов и уменьшение $n(N_2)$
- (5) увеличение $n(O)/n(N_2)$

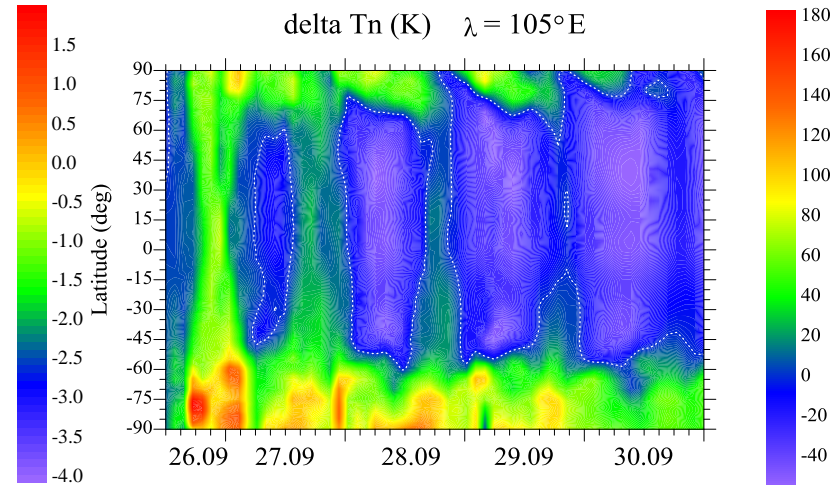
Ионосферные возмущения на фазе восстановления геомагнитной бури

delta foF2 (MHz) $\lambda=105^\circ$ E



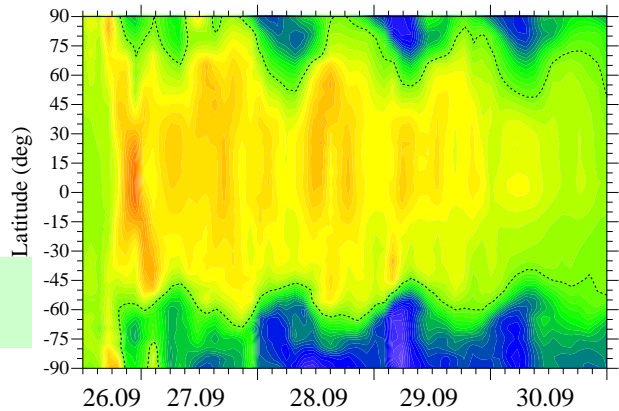
$\Delta foF2$

delta Tn (K) $\lambda = 105^\circ$ E



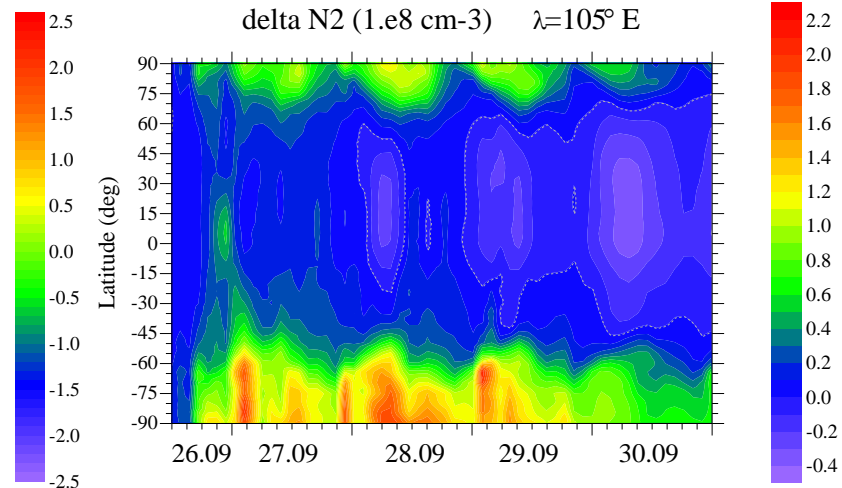
$\Delta T_n, K$

delta O (1.e8 cm-3) $\lambda=105^\circ$ E



$\Delta n(O)$

delta N2 (1.e8 cm-3) $\lambda=105^\circ$ E

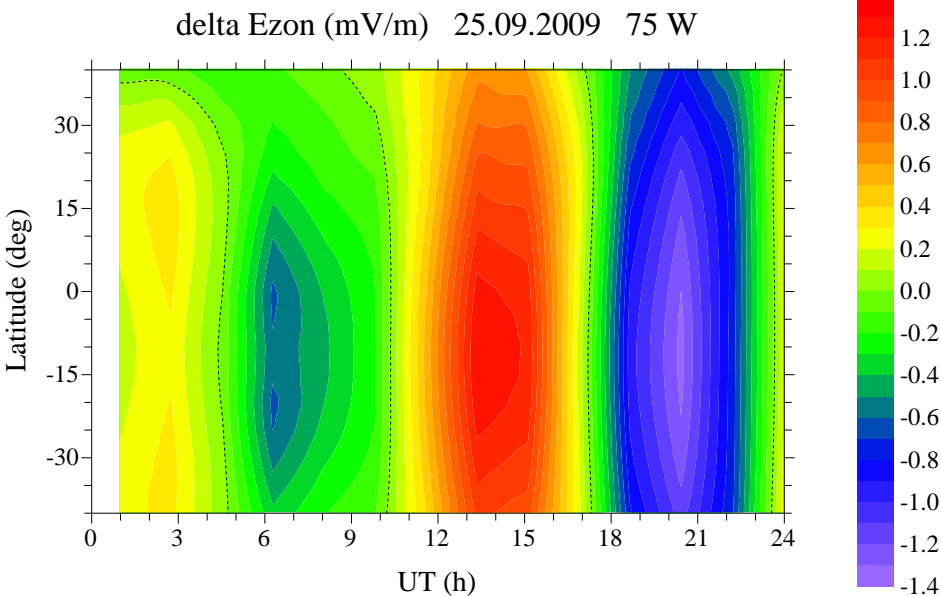


$\Delta n(N_2)$

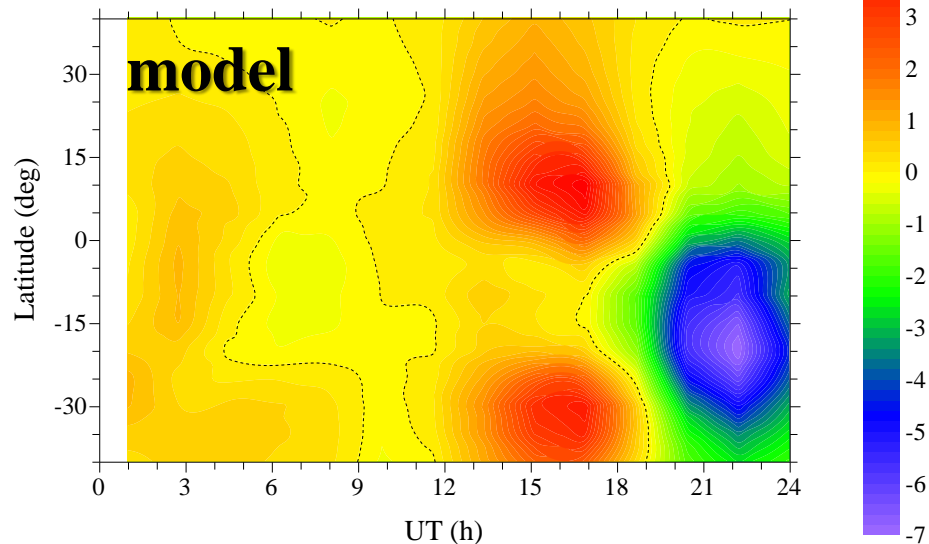
Отклик низкоширотной ионосферы на внезапное стратосферное потепление

delta TEC on 25 January 2009

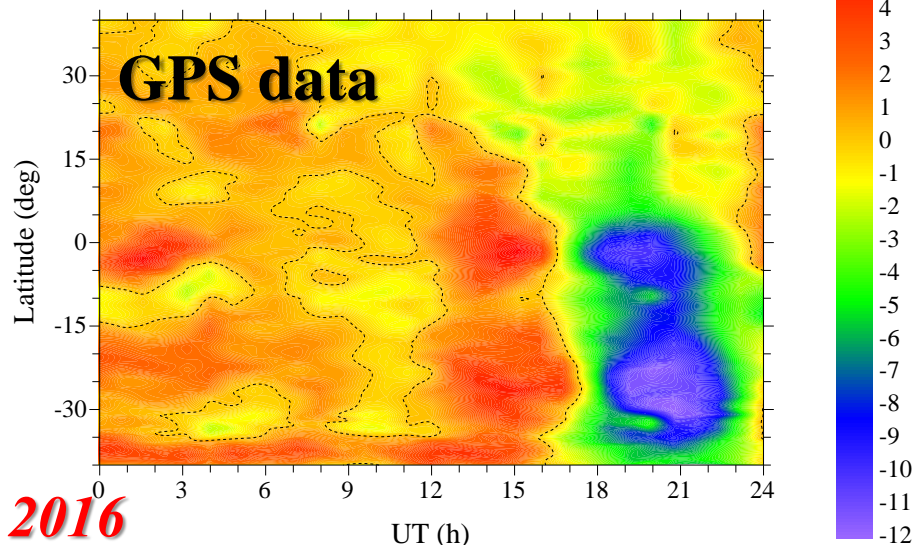
delta Ezon on 25 January 2009



delta TEC (TECU) 25.09.2009 75 W

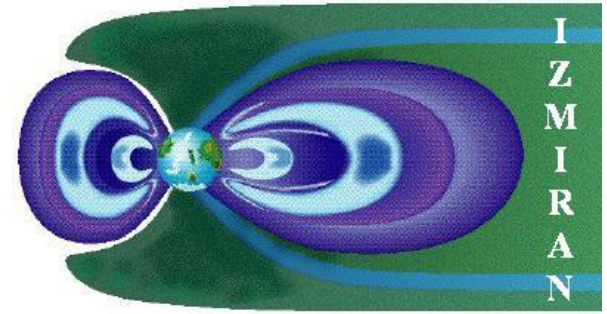


delta TEC (TECU) 25.09.2009 75 W



Вертикальный $E \times B$ дрейф
плазмы - основной механизм
формирования эффектов
стратосферных потеплений в
низкоширотной ионосфере

Klimenko et al., 2015; Клименко и др., 2016



Заключение

- На основе спутниковых данных в ИЗМИРАН разработана эмпирическая модель главного ионосферного провала (<http://www.izmiran.ru/ionosphere/sm-mit/>) и разрабатывается новая глобальная эмпирическая модель ионосферы
- Численные модели верхней атмосферы (например, созданная в ЗО ИЗМИРАН модель ГСМ ТИП) представляют собой мощный инструмент для изучения космической погоды
- Развитие новых самосогласованных моделей, включающих атмосферу, ионосферу и магнитосферу необходимо для развития направления физики солнечно-земных связей

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-17-01060.

Спасибо за внимание!

Welcome to Kaliningrad in 2018 (AIS and MIAC)



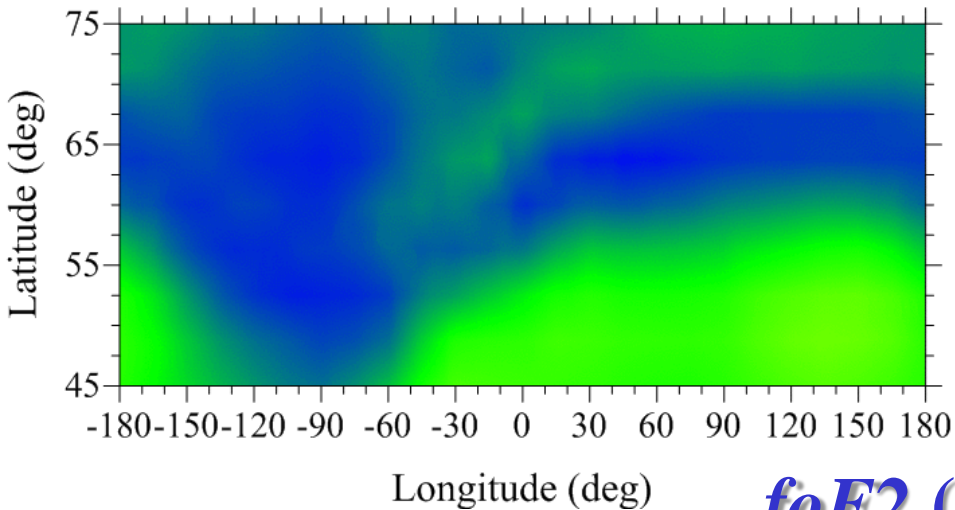
AIS – Atmosphere, Ionosphere, Safety conference

**MIAC – Magnetosphere-Ionosphere-Atmosphere
Coupling School for Young Scientists**

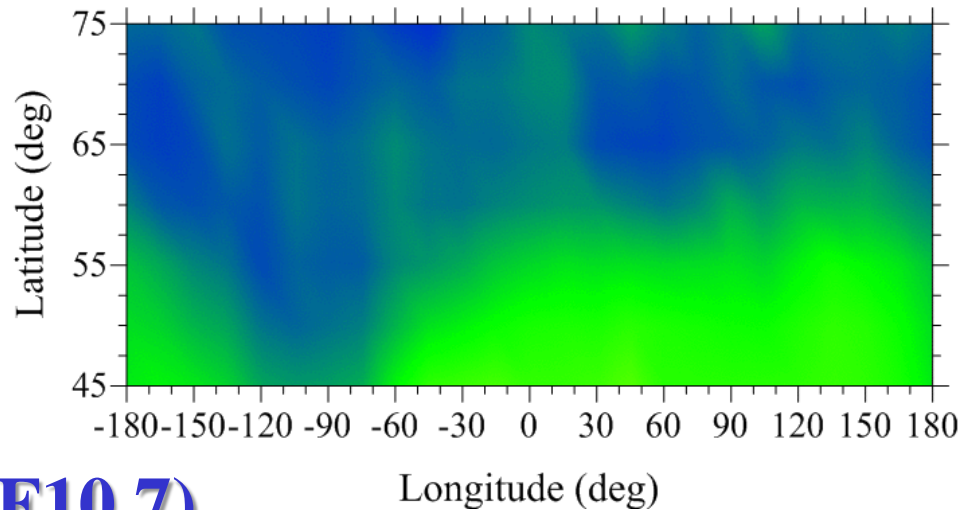
модель ГИП (ИЗМИРАН) модель по данным РЗ

Декабрь Полночь Северное полушарие

f0F2 (MHz) 24:00 LT Dec. F10.7 = 70



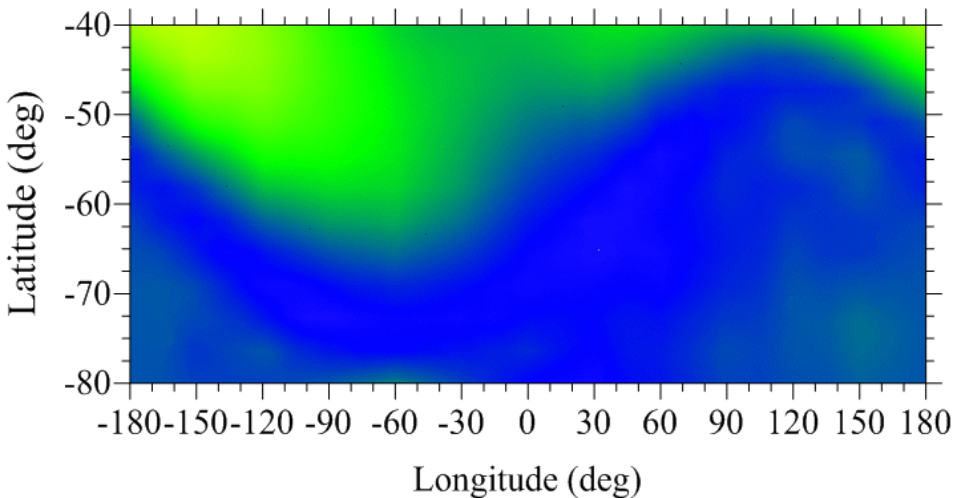
f0F2 (MHz) 24:00 LT Dec. F10.7 = 70



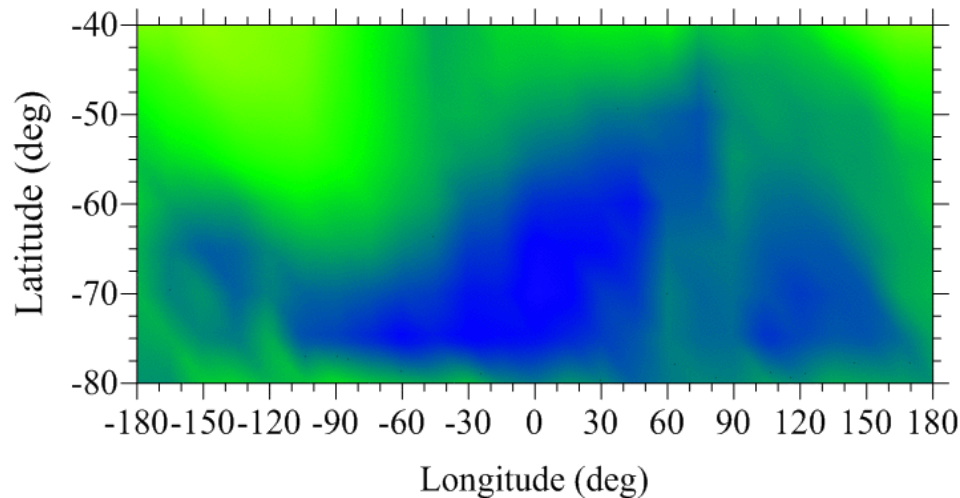
Карпачев et al., 2016

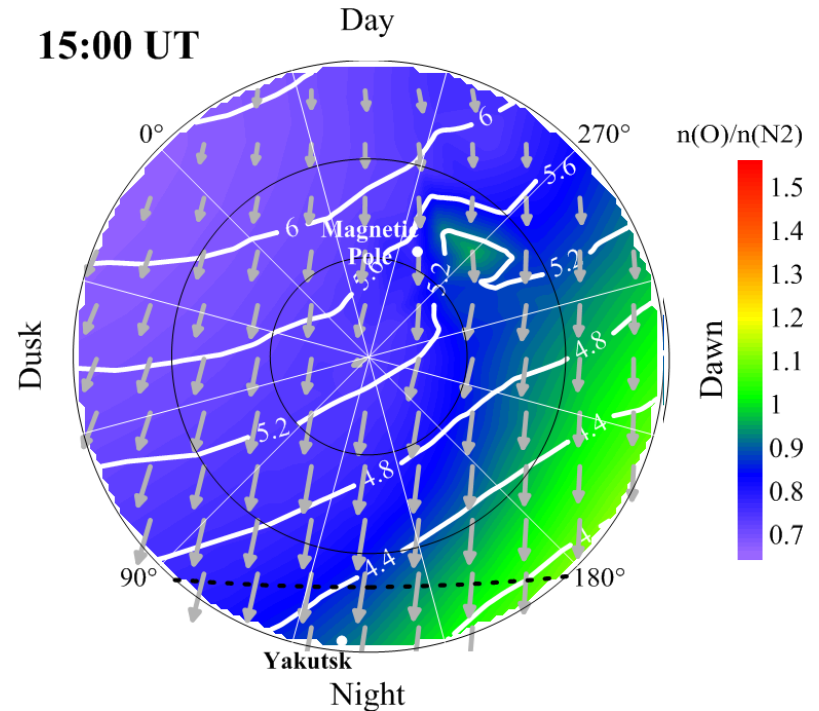
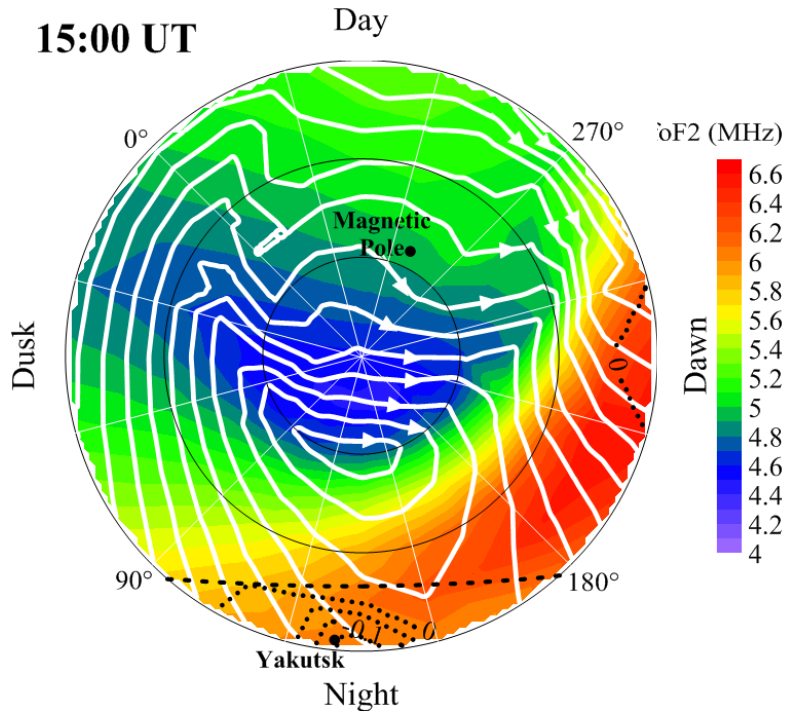
Июнь Полночь Южное полушарие

f0F2 (MHz) 24:00 LT Jun. F10.7 = 70



f0F2 (MHz) 24:00 LT Jun. F10.7 = 70





Результаты, полученные с использованием модели ГСМ ТИП, показали, что над областями WSA и YA значения foF2 и *TEC* ночью больше, чем днем из-за:

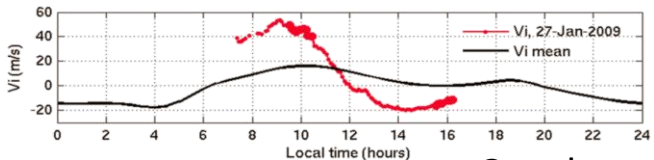
- (1) горизонтального переноса плазмы за счет электромагнитного дрейфа;
- (2) вертикальной составляющей переноса плазмы вдоль силовых линий геомагнитного поля под действием меридиональной компоненты термосферного ветра;
- (3) распределения нейтрального состава термосферы.

Модельные исследования эффектов ВСП

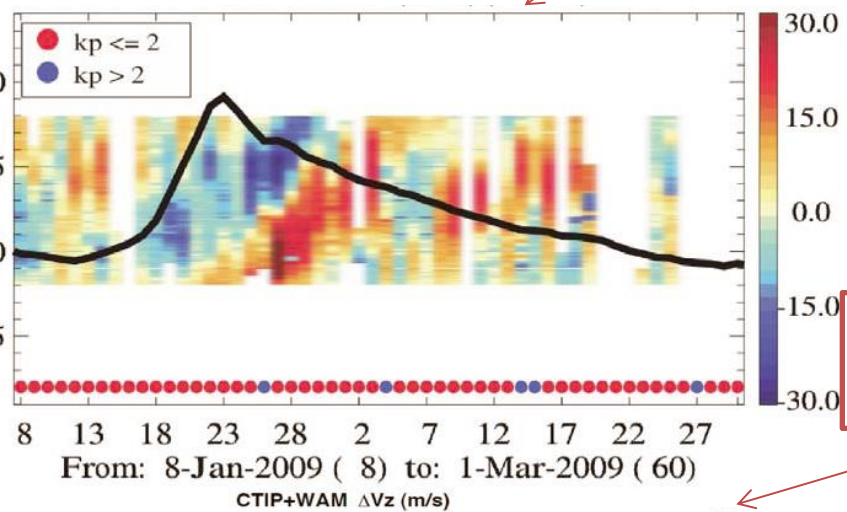
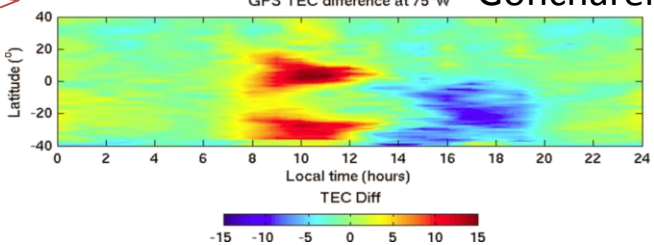
Thermosphere Ionosphere Mesosphere
Electrodynamics General Circulation Model
(TIMEGCM) (30 – 600 км)
Liu et al., 2002, 2005, 2010; Yamashita et al., 2010

Whole Atmospheric Model
(WAM)
(0 – 600 км)
Fuller-Rowell et al., 2011,
2010.
Chau et al, JGR 2010

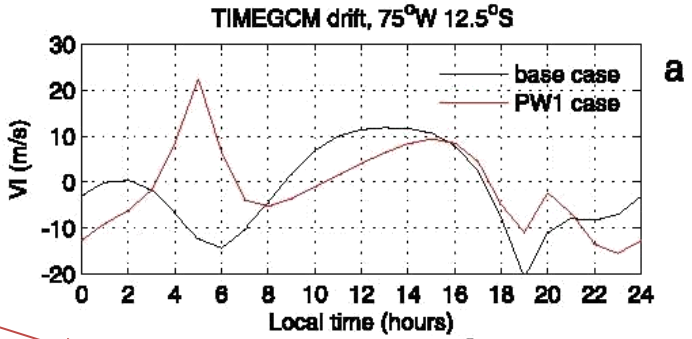
Данные наблюдений



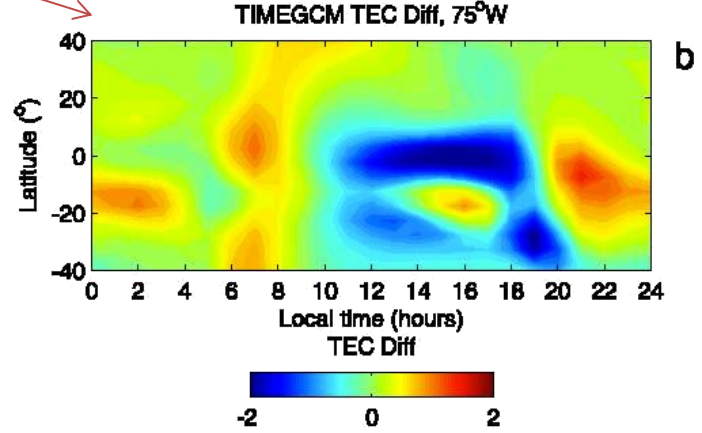
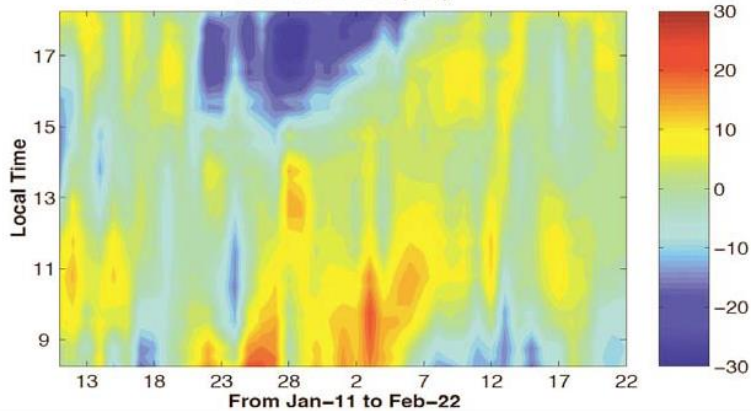
Goncharenko et al, GRL 2010



Модельные расчеты



a



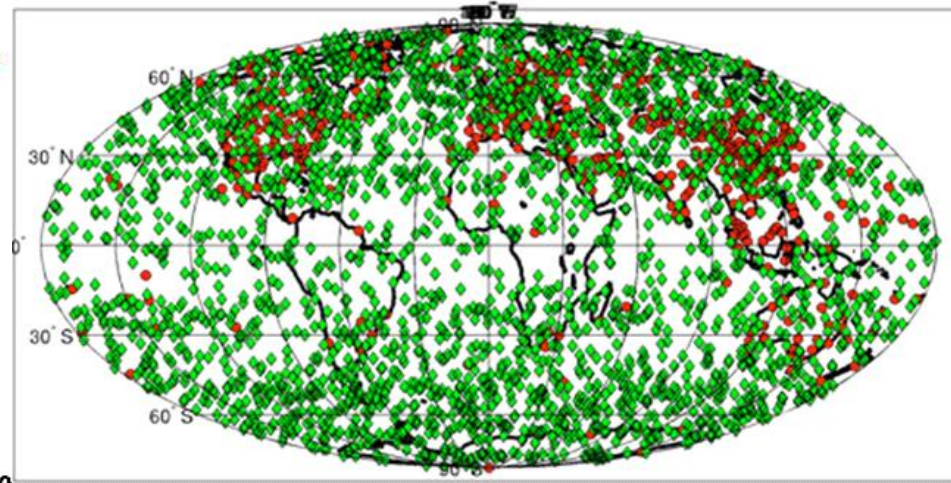
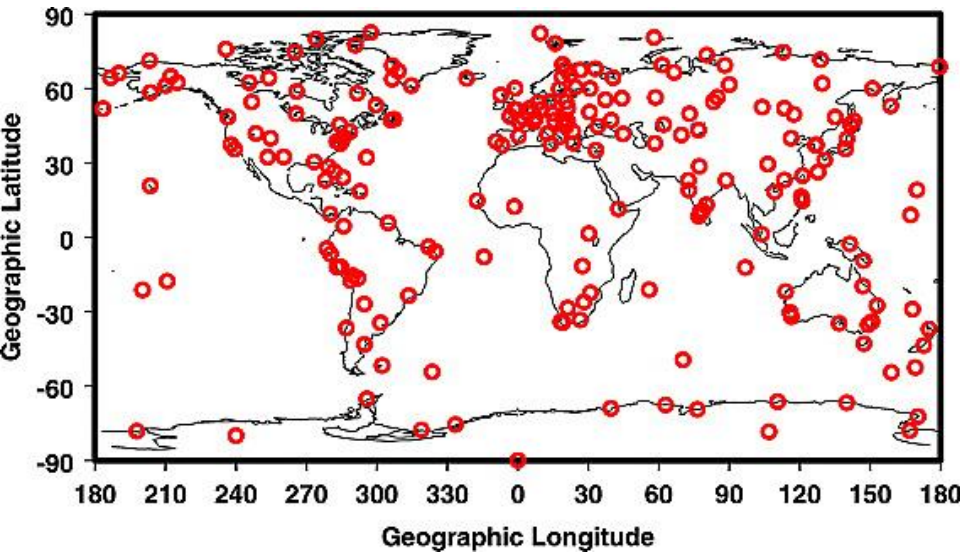
b

Преимущества радиозатменных наблюдений

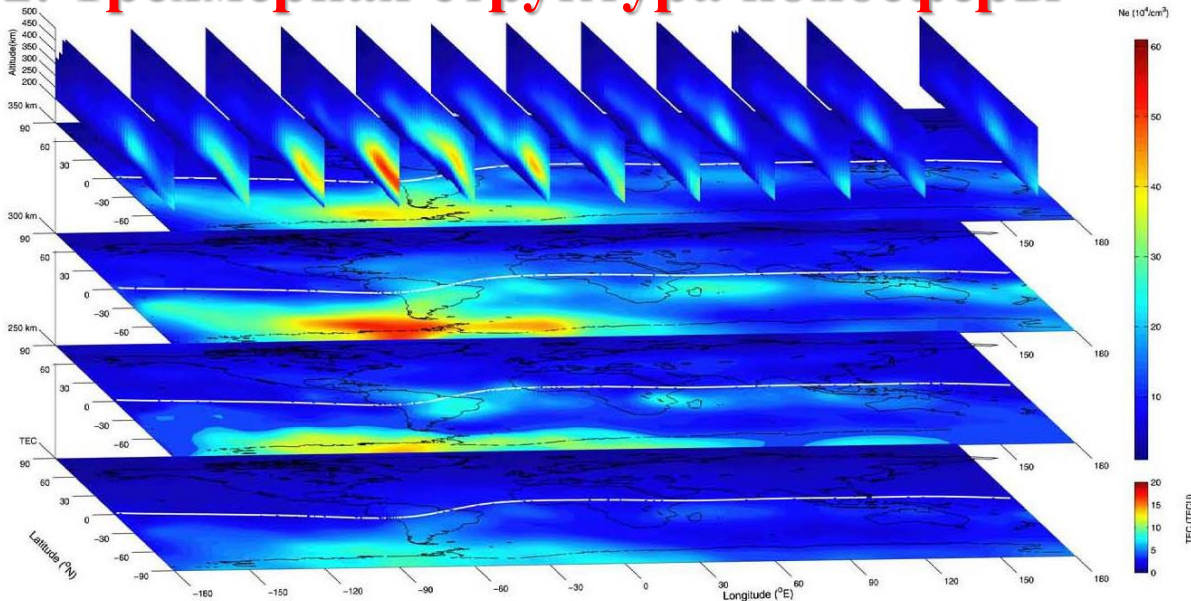
1. Глобальное покрытие

1 день измерений РЗ

Ионозонды



2. Трёхмерная структура ионосферы



Lin et al., 2009