

Московский Государственный Университет им.М.В. Ломоносова  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра физики атмосферы

**“Параметры ионосферы:  
данные системы FormoSat-3/COSMIC,  
ионозондов и моделей IRI, NeQuick”**

Андреева Е.С., Локота М.В.

г.Москва  
2011 год

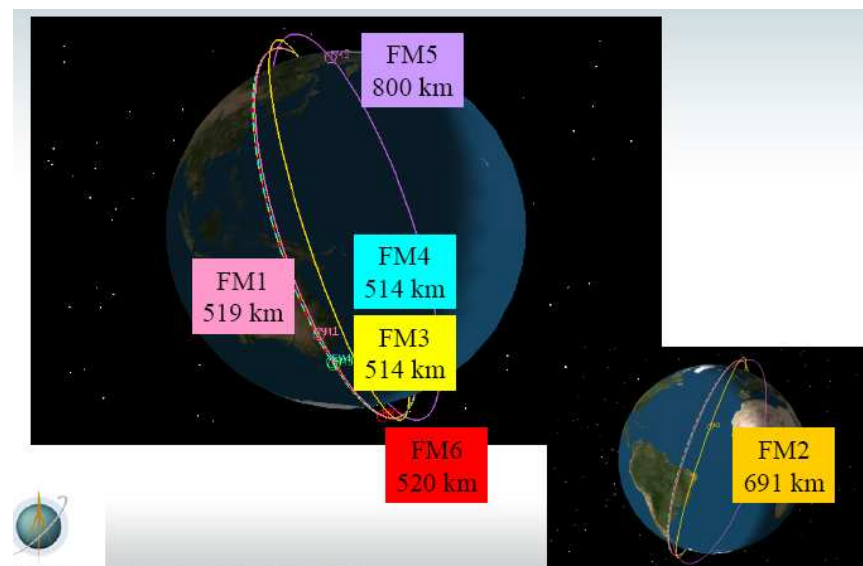
# Цели работы:

*Верификация радиозатменных профилей системы FormoSat-3/COSMIC по данными ионозондовых измерений (по критическим частотам) при различной геомагнитной активности*

*Верификация моделей NeQuick, IRI-2001, IRI-2007 по радиозатменными профилям системы FormoSat-3/COSMIC при различной геомагнитной активности*

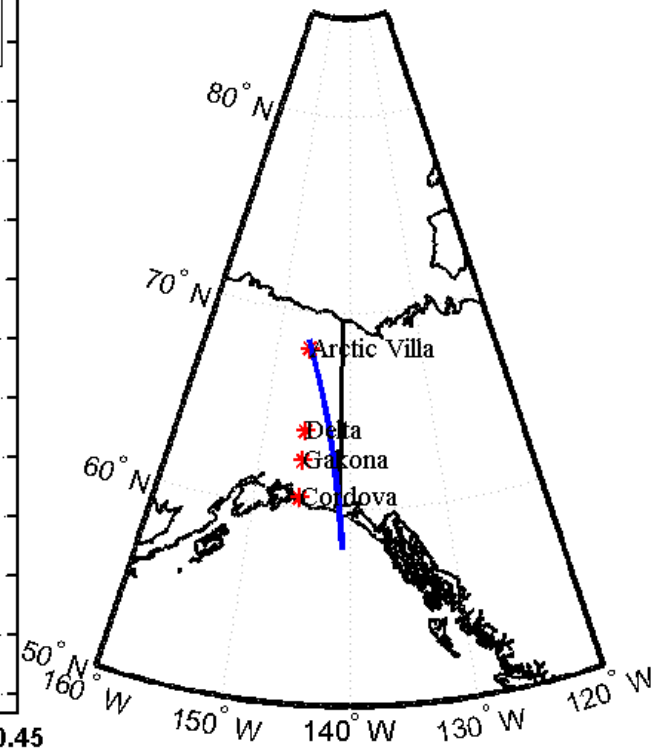
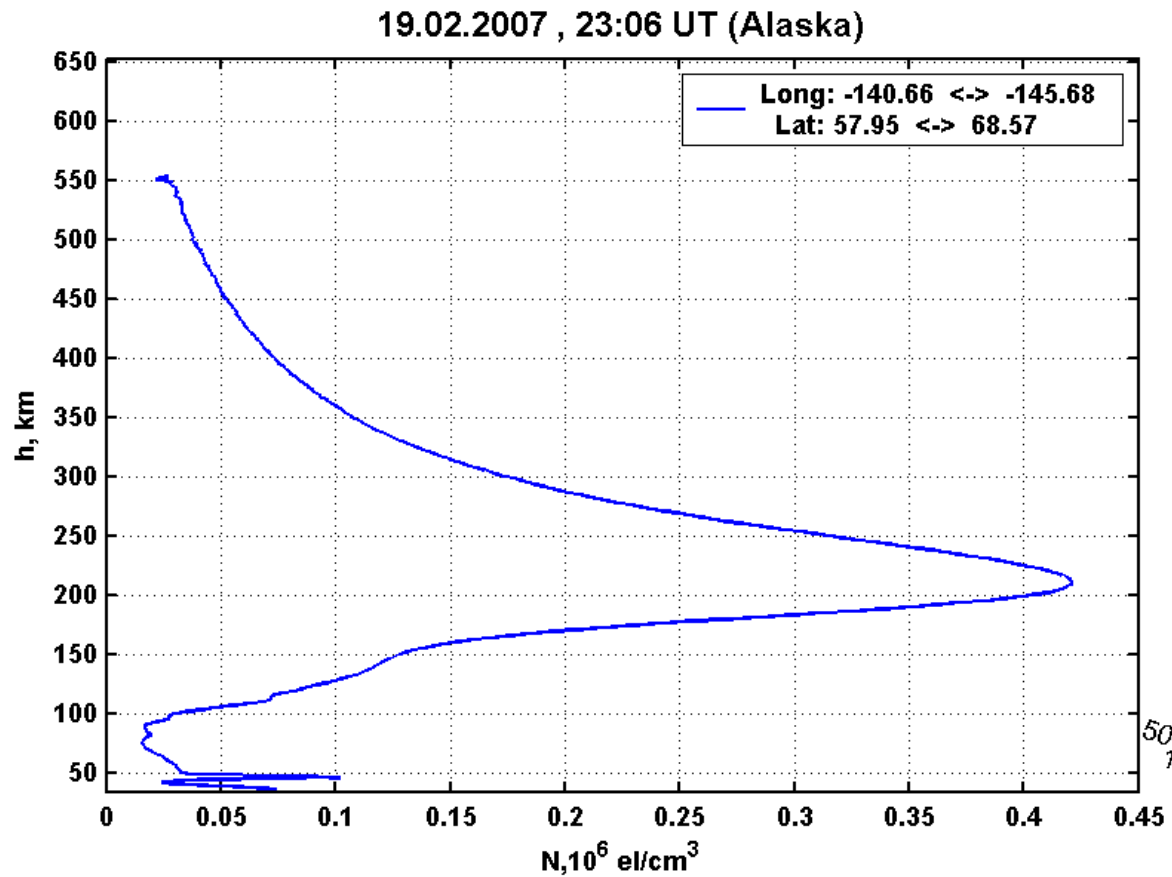
# Система COSMIC

- Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere and Climate (Formosat-3) - группа спутников по исследованию ионосферы, климата и метеорологии.
- 6 низкоорбитальных спутников, запущенных в апреле 2006 года.
- Состояние атмосферы + космическая погода
- Планетарные наблюдения:
  - Рефракции,
  - Давления, температуры, влажности,
  - Электронной концентрации в ионосфере,
  - ионосферного мерцания.
- Климатический контроль
- Геодезические исследования



# Примеры профилей электронной плотности

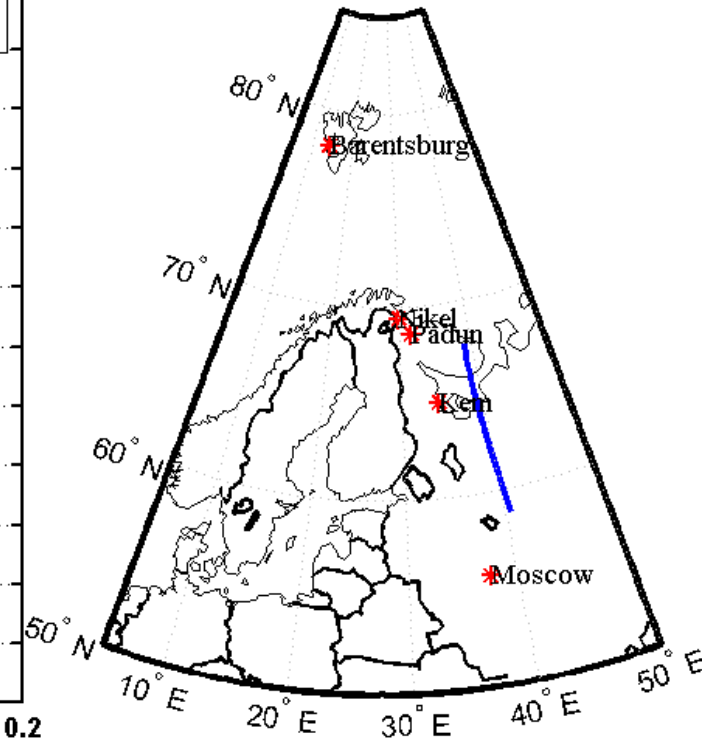
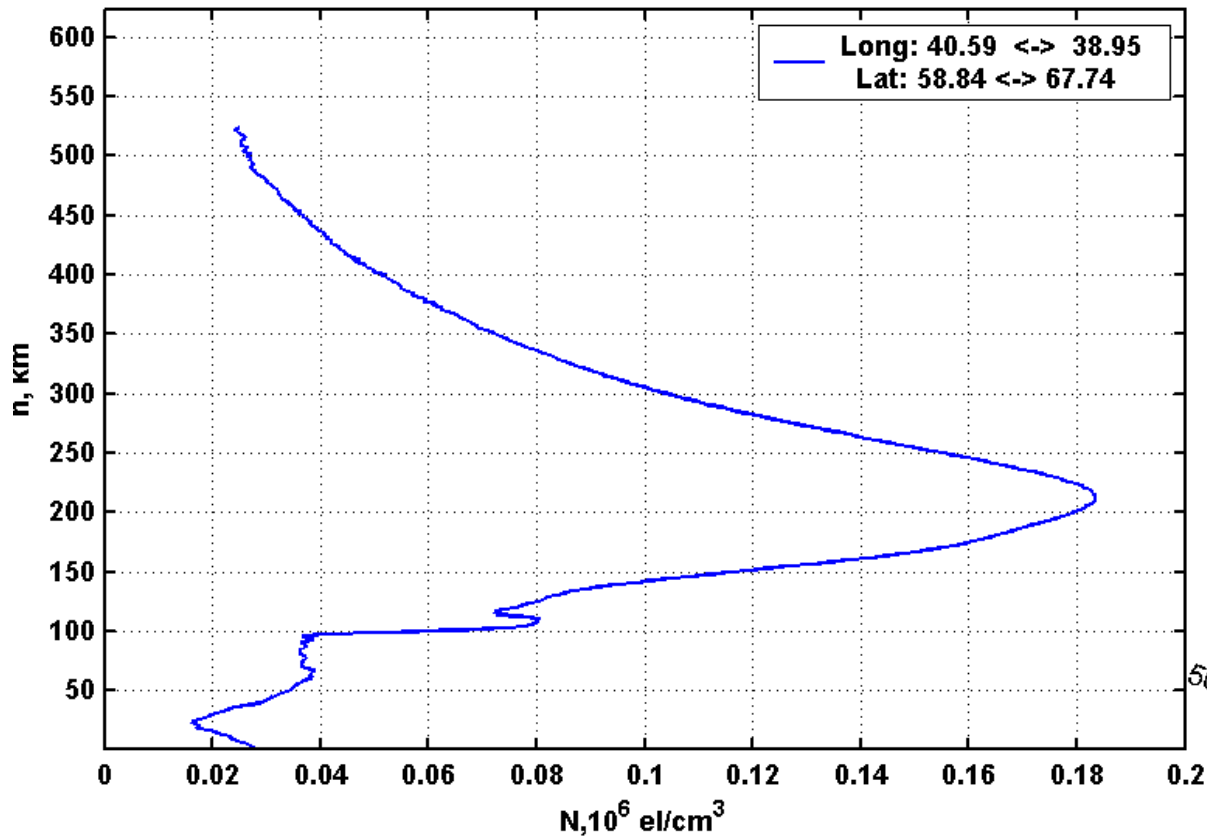
Аляска



# Примеры профилей электронной плотности

Россия

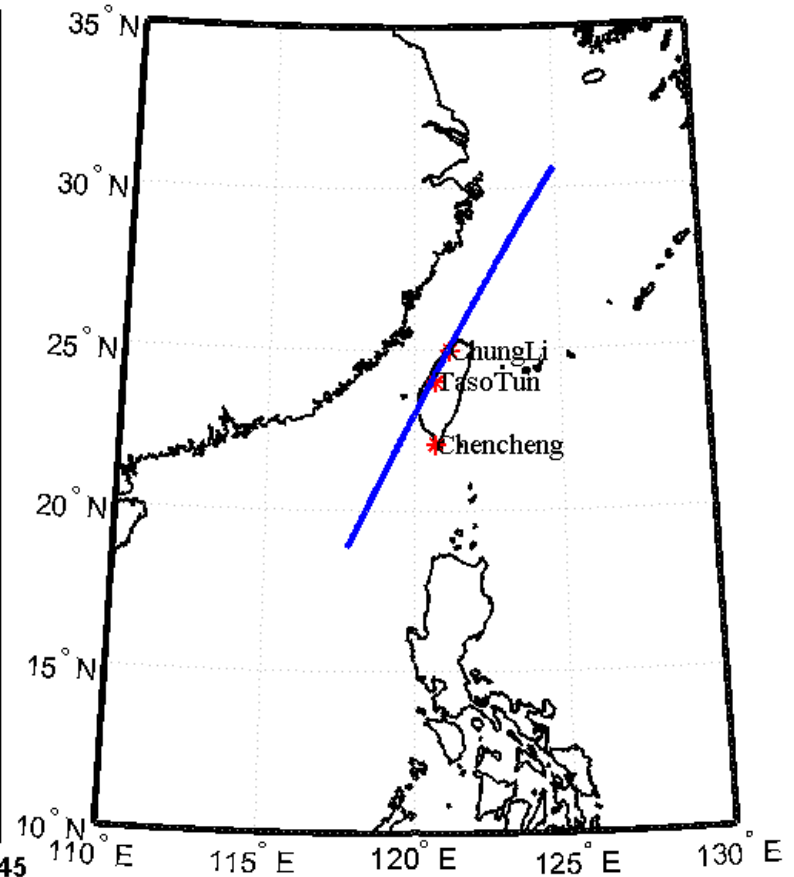
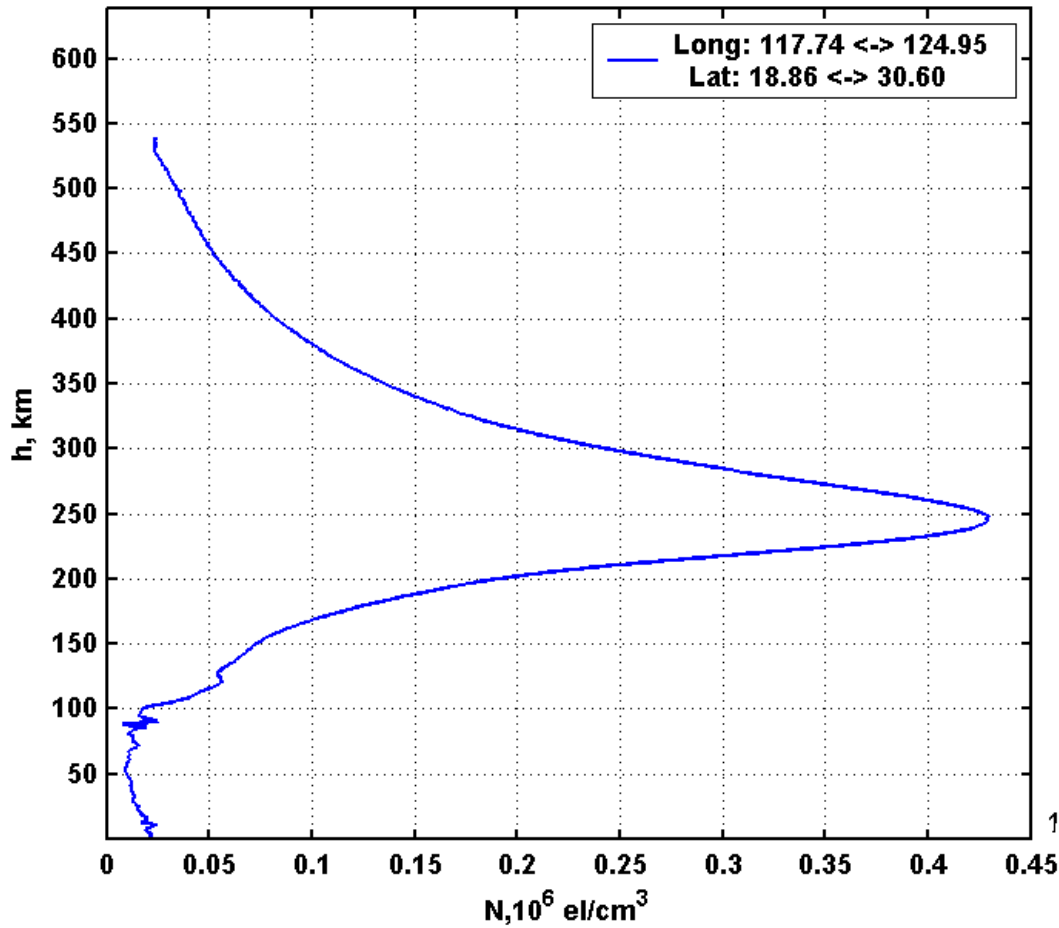
11.04.2007, 04:27 UT (Russia)



# Примеры профилей электронной плотности

о.Тайвань

02.01.2007 , 23:12 UT (Taiwan)



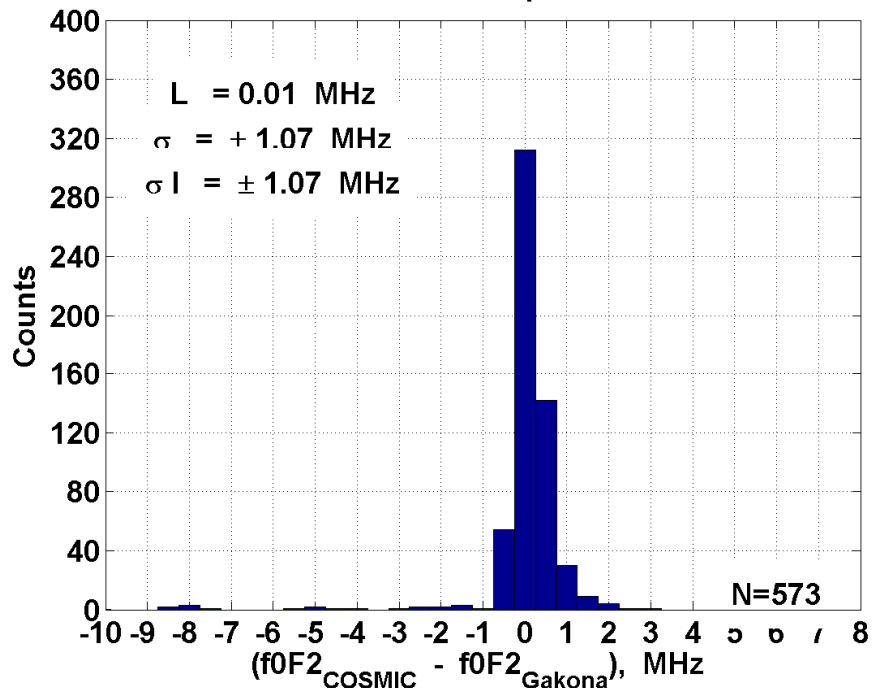
# Сопоставление данных

- Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR)  
<http://spidr.ngdc.noaa.gov>
- Сопоставление по критическим частотам ( $f_0F2$ )
- Период с апреля 2006 года по сентябрь 2008 года
- Ионозонды расположены в Gakona (Аляска), Tromso (Север Скандинавии), Chung-Li (Тайвань)

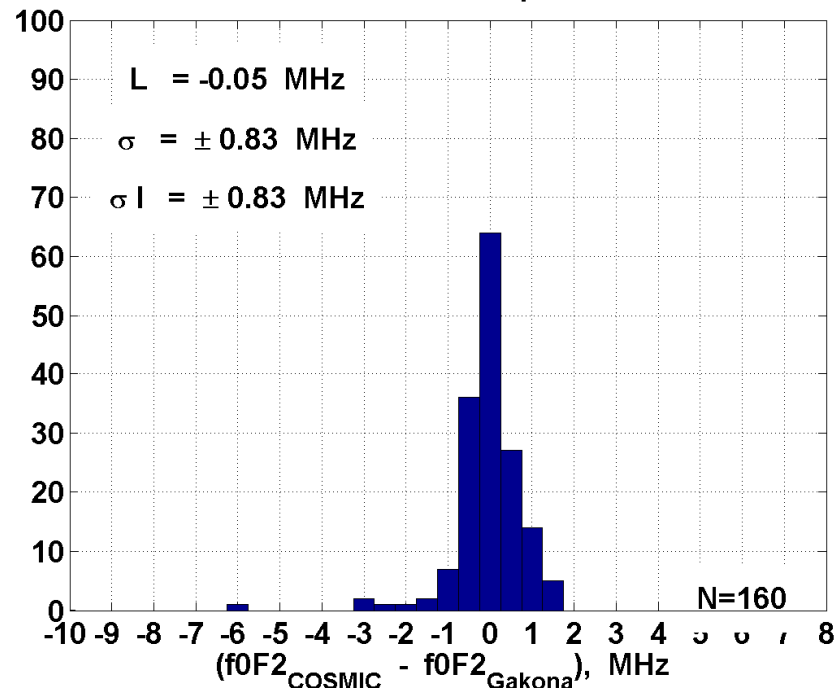
$$L = \frac{\sum_1^M (f_0F2\_Cosmic - f_0F2\_Ion)}{M} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^M (f_0F2\_Cosmic - f_0F2\_Ion)^2}{M}}$$

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_1^M [(f_0F2\_Cosmic - f_0F2\_Ion) - L]^2}{M}}$$

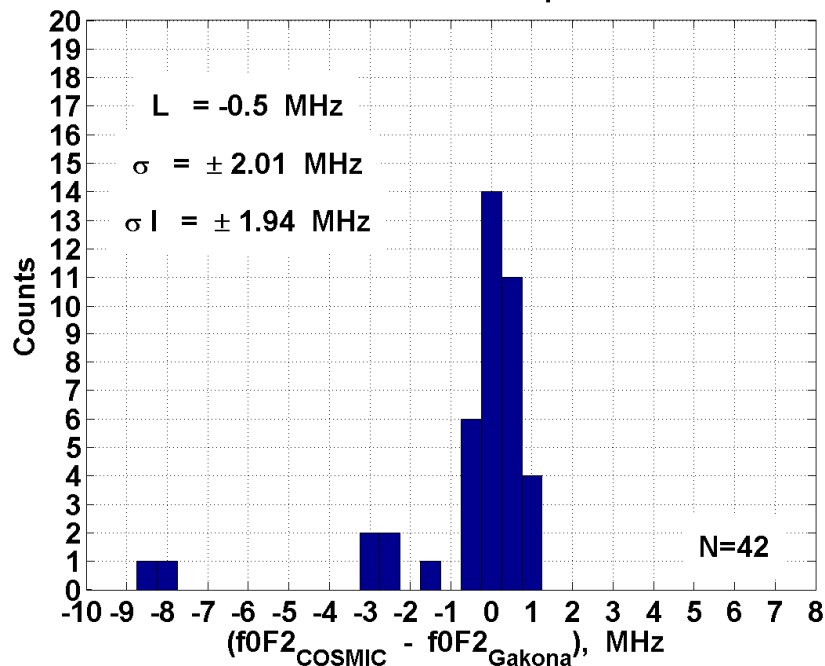
05.2006-08.2008 Kp ≤ 2 Alaska



05.2006-08.2008 2 < Kp < 4 Alaska

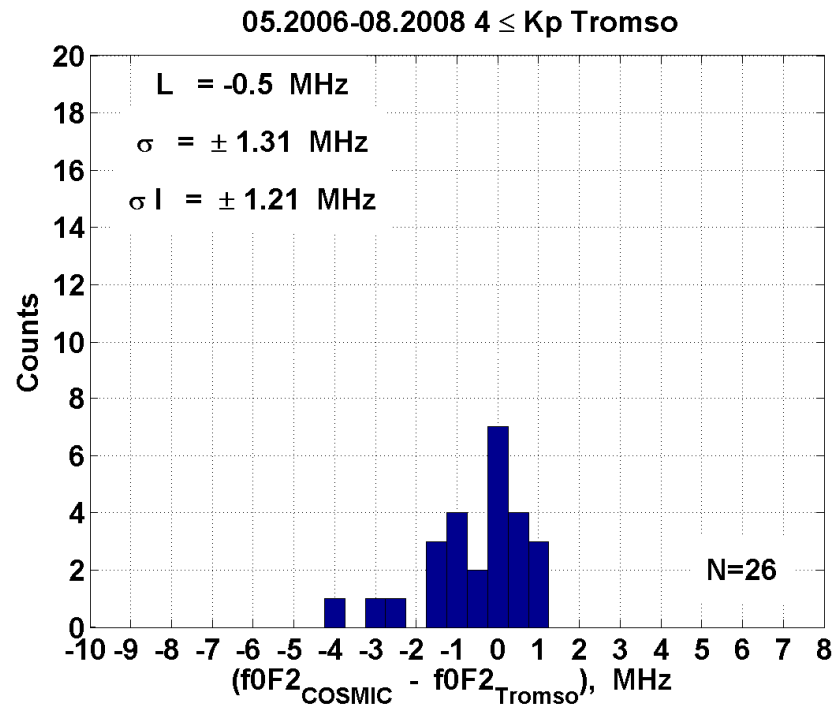
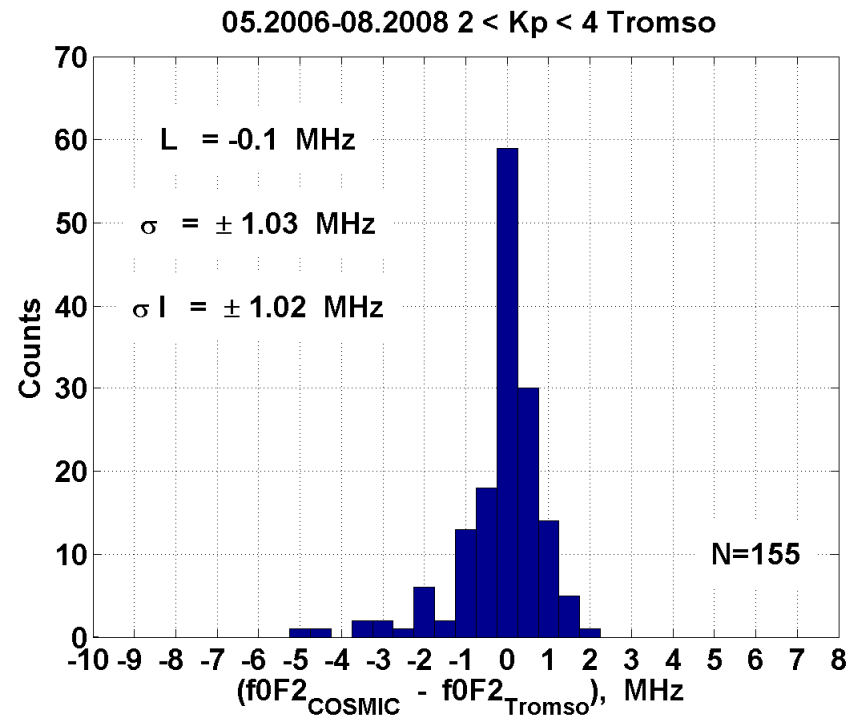
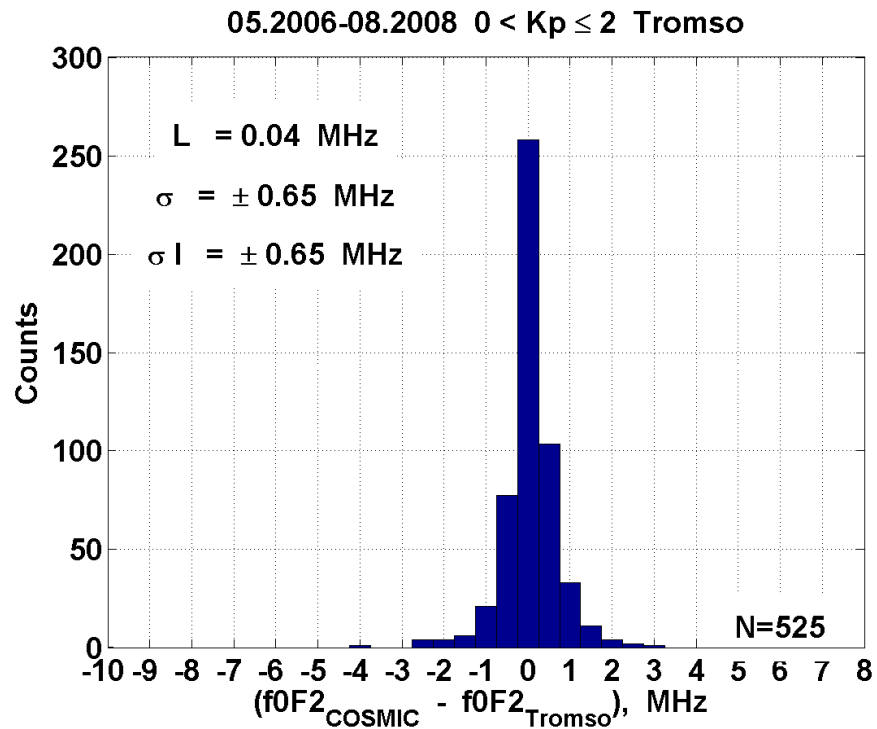


05.2006-08.2008 4 ≤ Kp Alaska



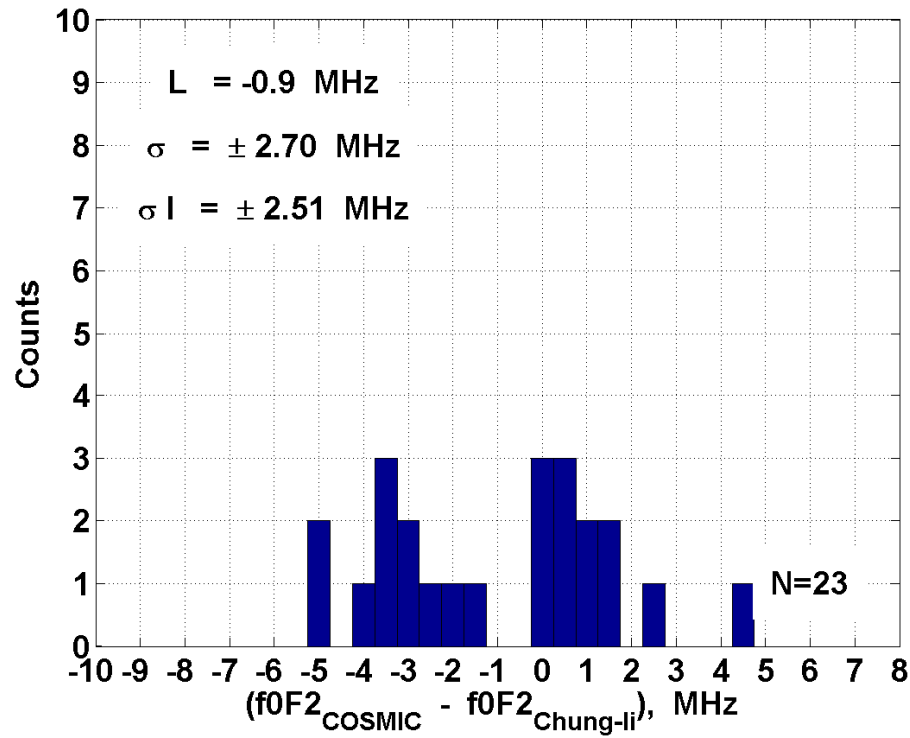
Верификация P3-  
 профилей по данными  
 ионозондовых  
 измерений  
 район Аляски  
 (Gakona)





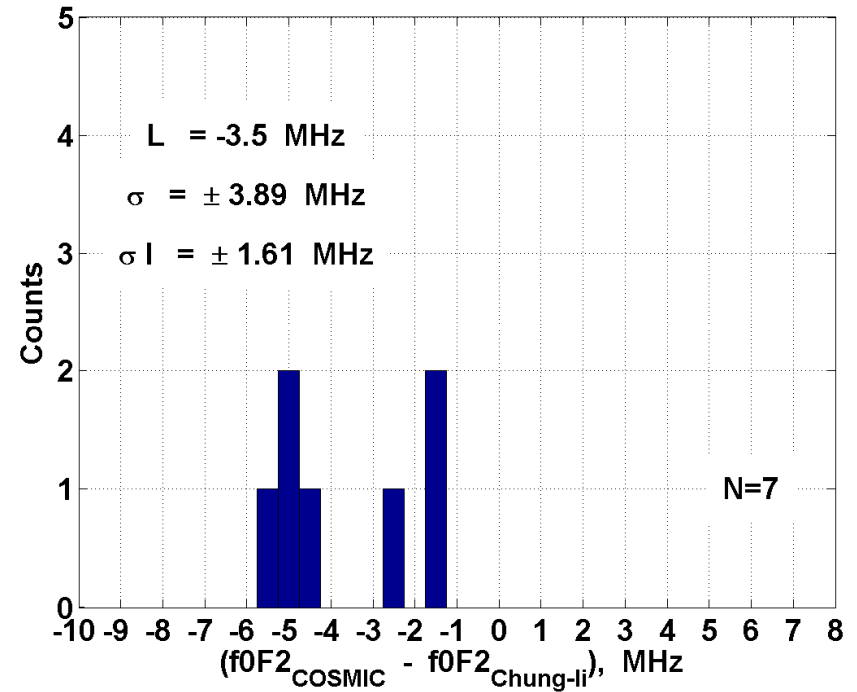
**район Северной Европы  
(Tromso)**

05.2006-08.2008  $K_p \leq 2$  Taiwan

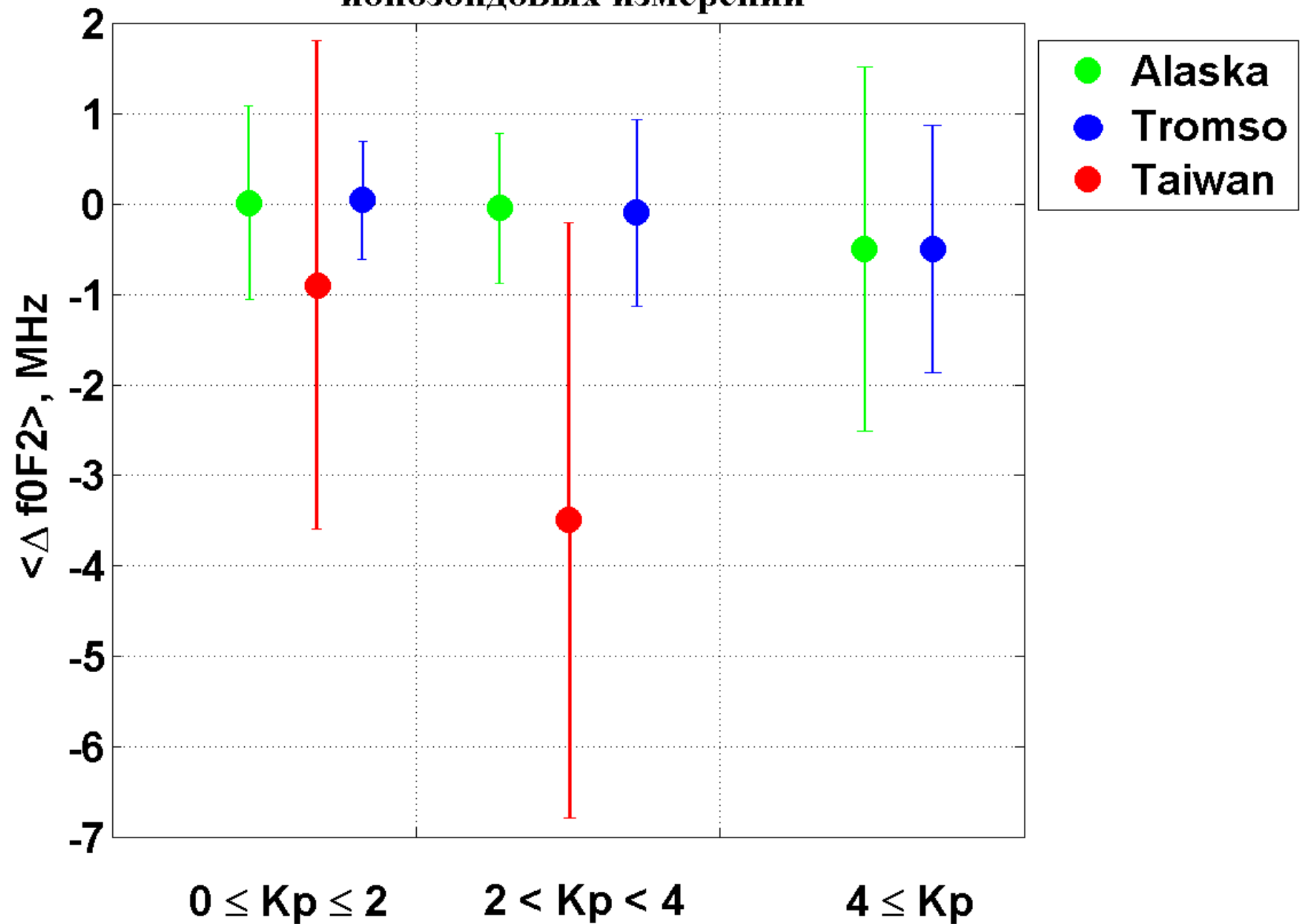


район о.Тайвань  
(Chung-Li)

05.2006-08.2008  $2 < K_p < 4$  Taiwan



# Сопоставление с данными ионозондовых измерений



Верификация ионосферных моделей:

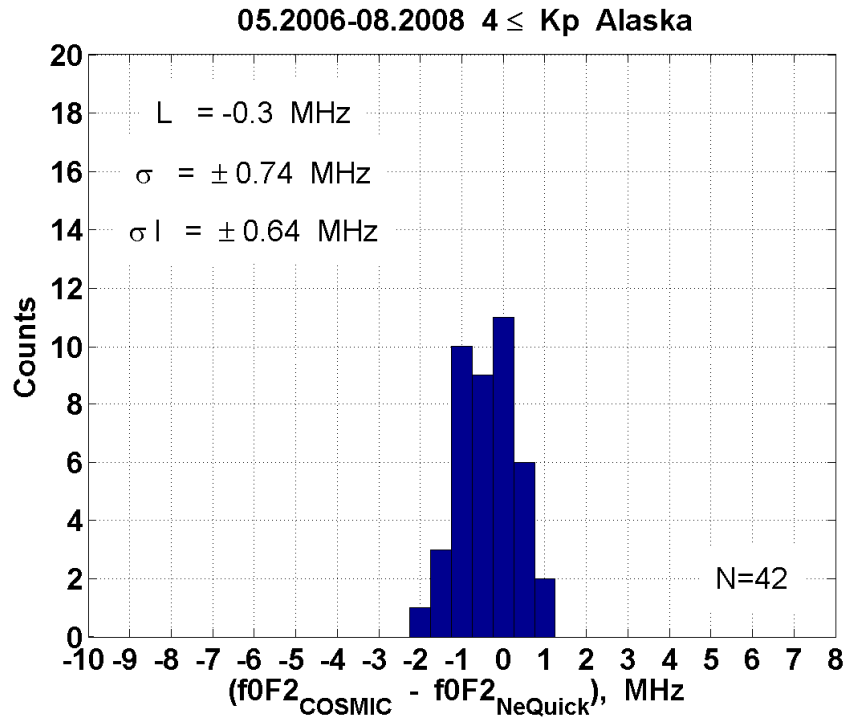
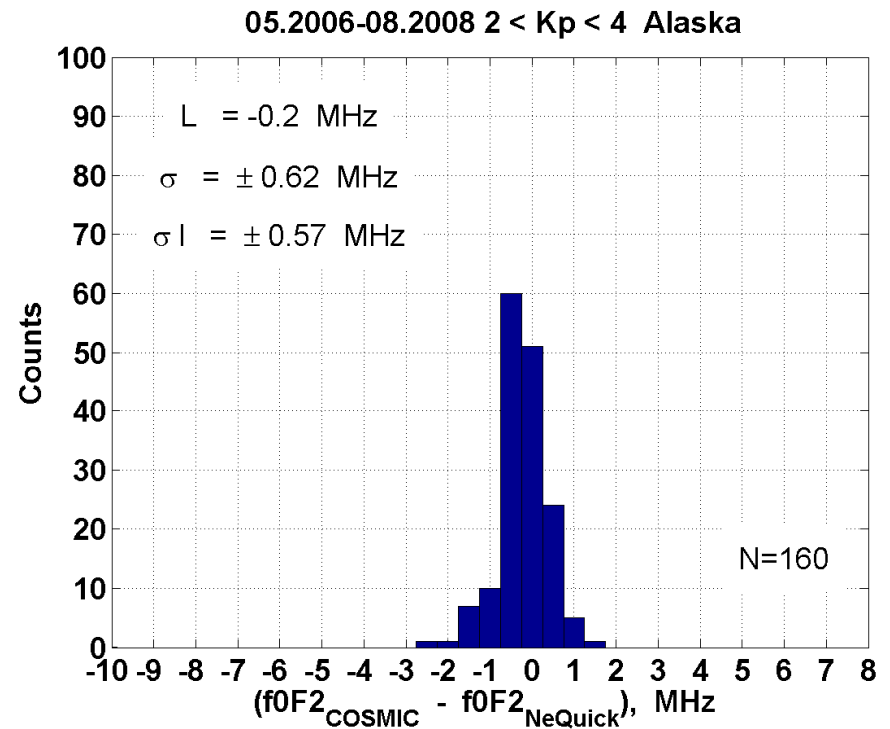
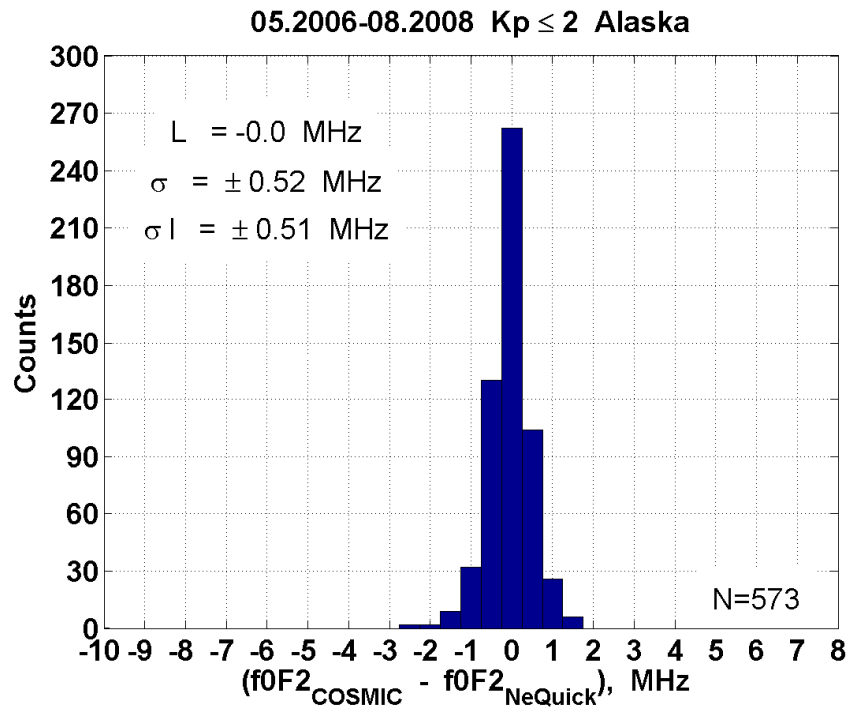
**NeQuick**

**IRI-2001**

**IRI-2007**

Сопоставление по критическим частотам  
( $f^oF_2$ ) и полному электронному  
содержанию (VTEC)

$$VTEC = \int_{h_1}^{h_2} N(h) dh$$

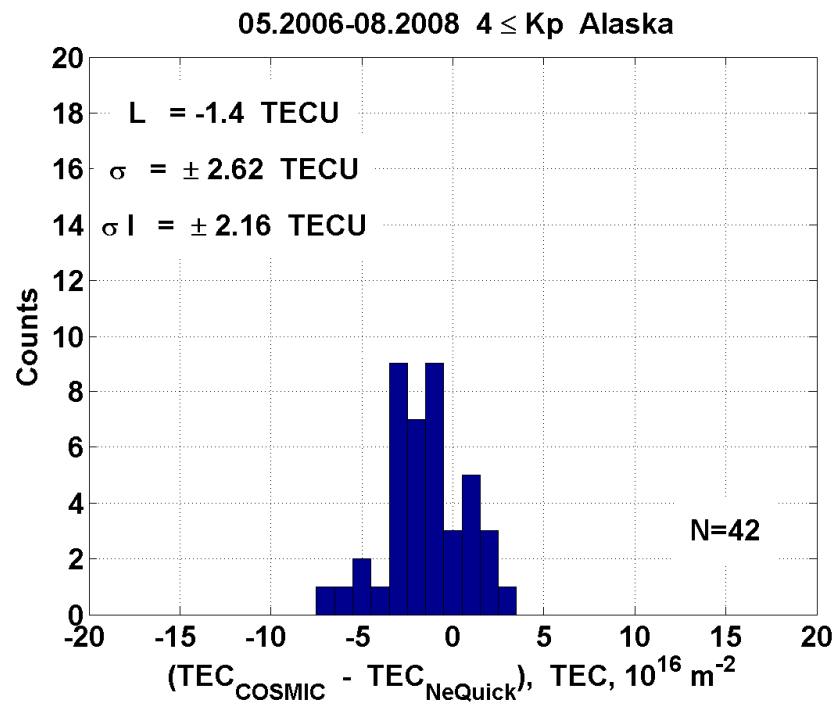
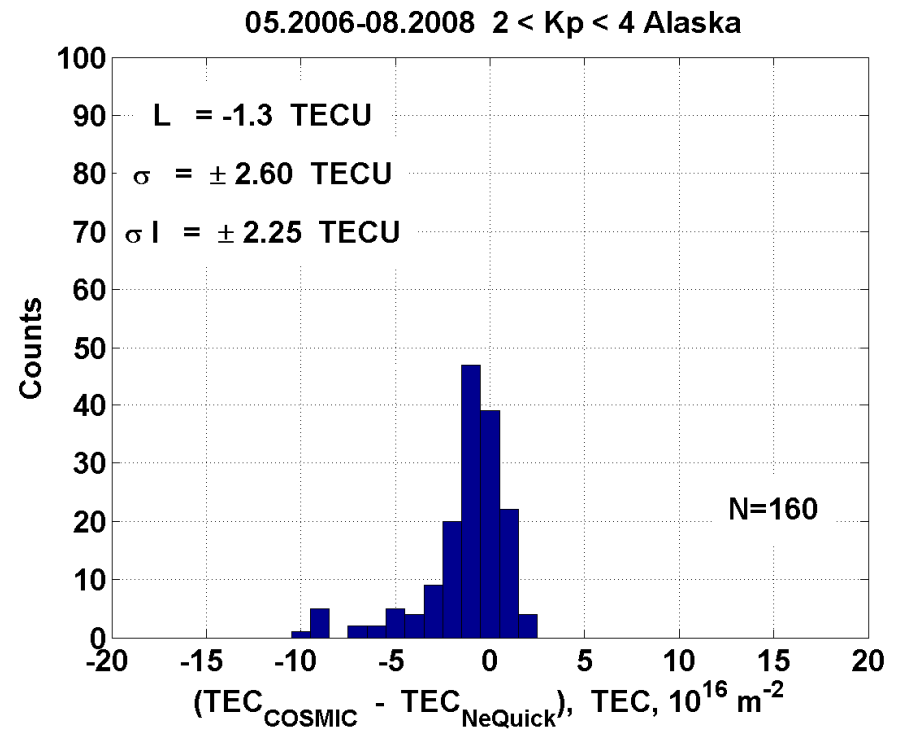
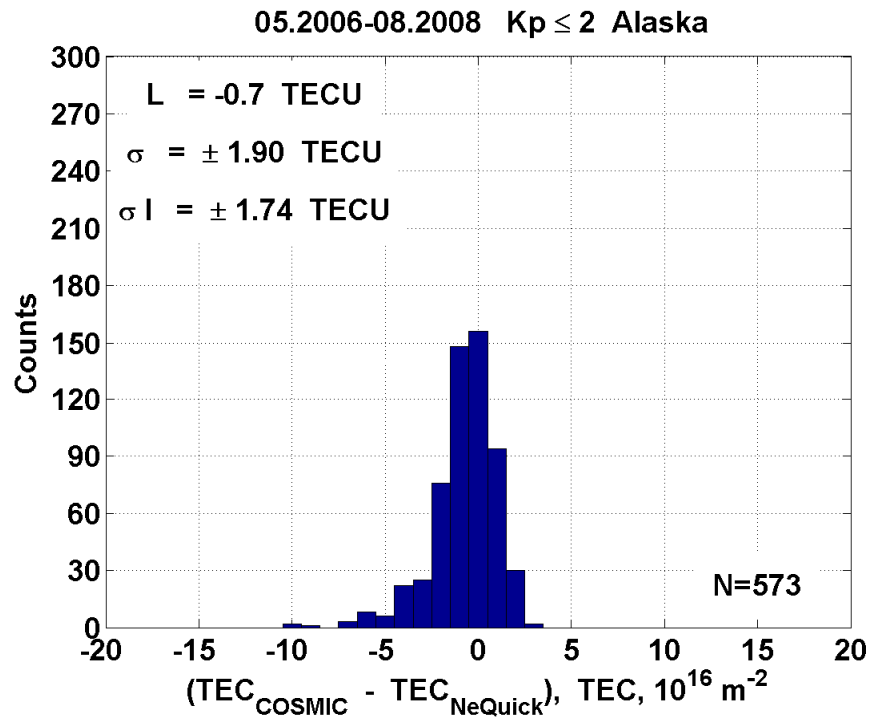


*Верификация моделей  
по радиозатменными  
профилям*

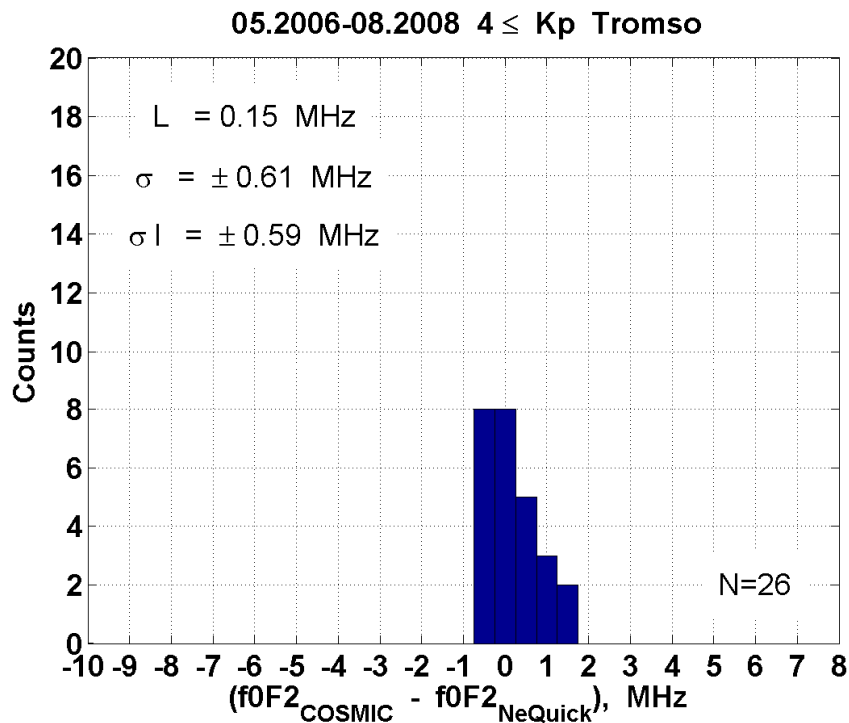
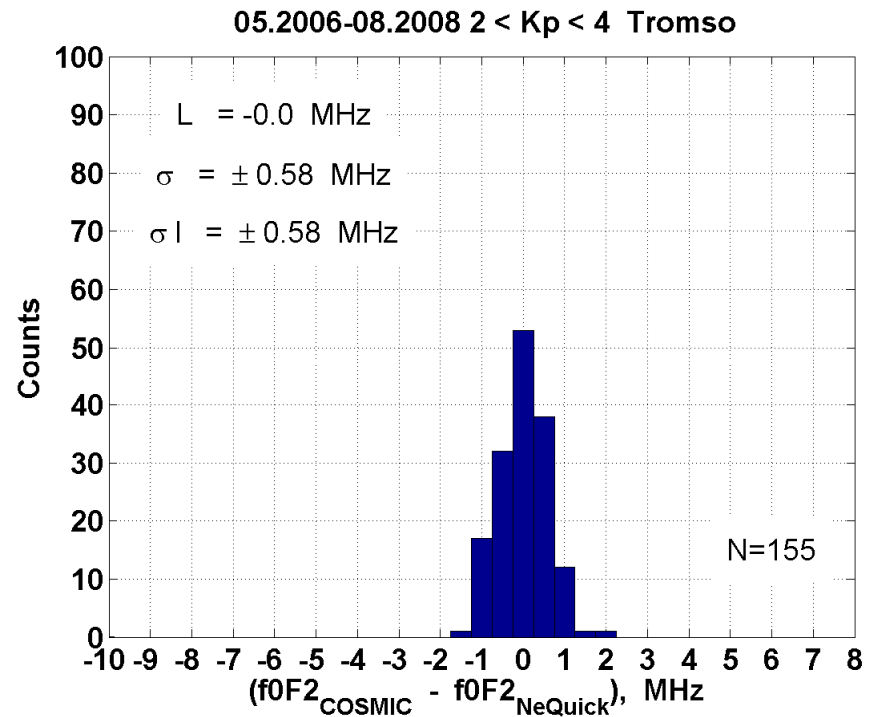
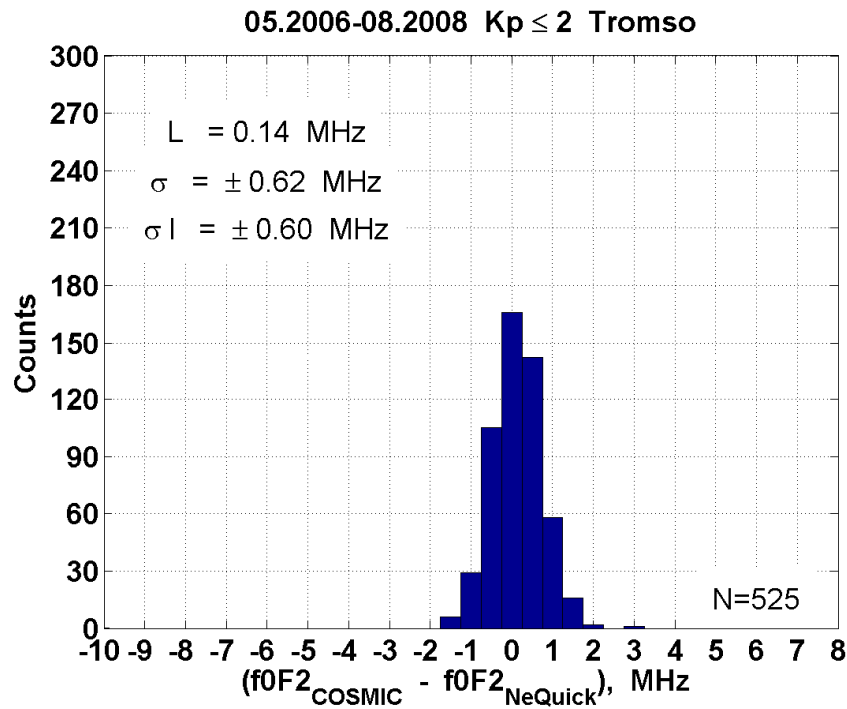
**NeQuick**

**район Аляски**

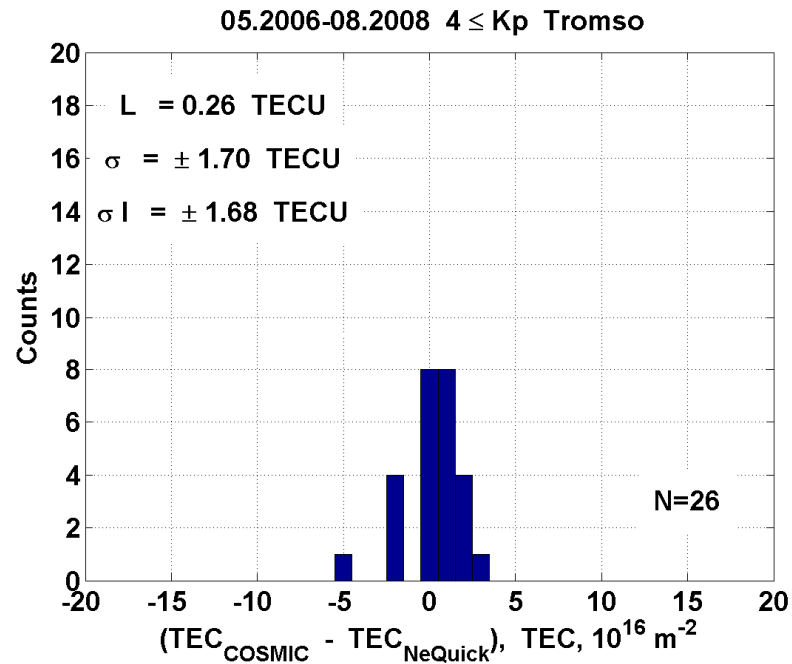
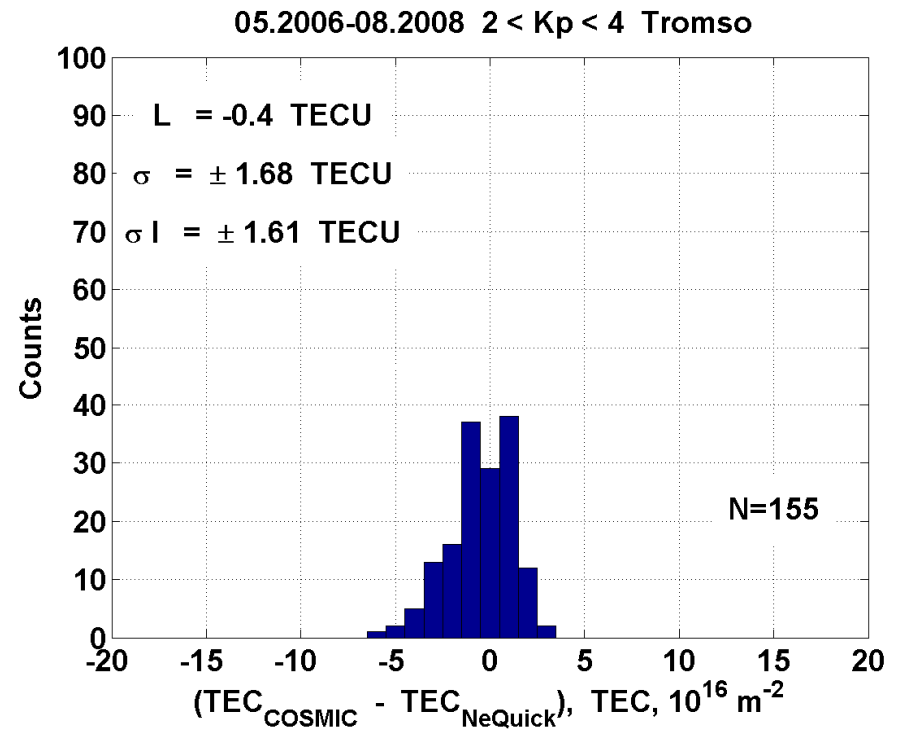
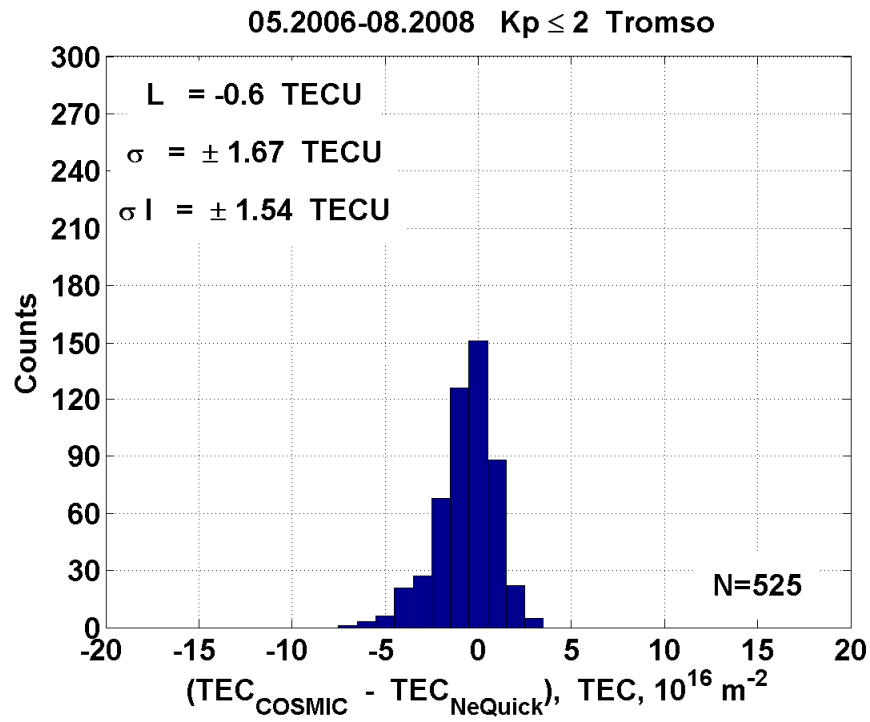
**(Gakona)**



**NeQuick**  
**район Аляски**  
**(Гакона)**



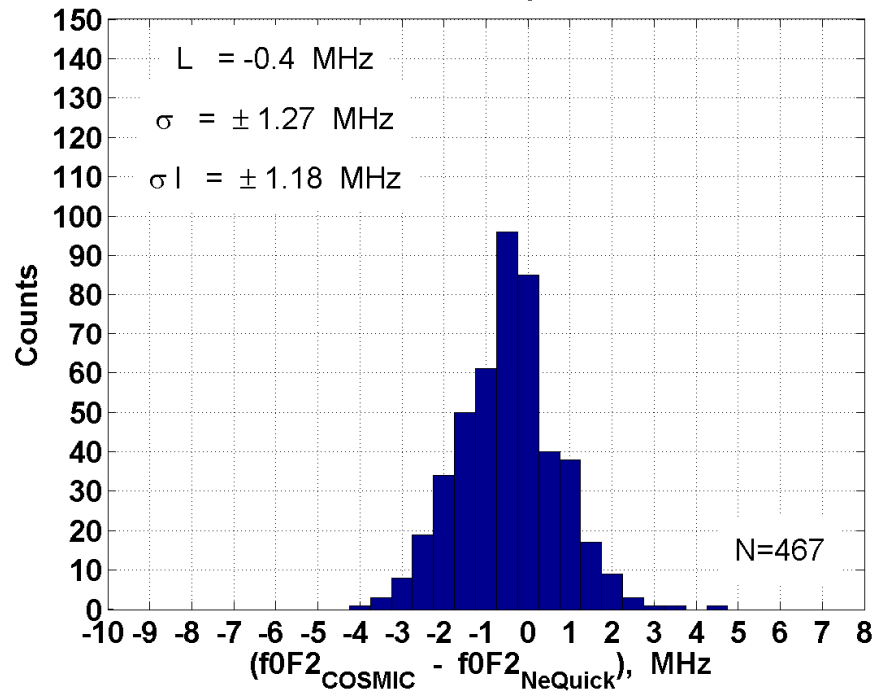
**NeQuick**  
**район Северной Европы**  
**(Tromso)**



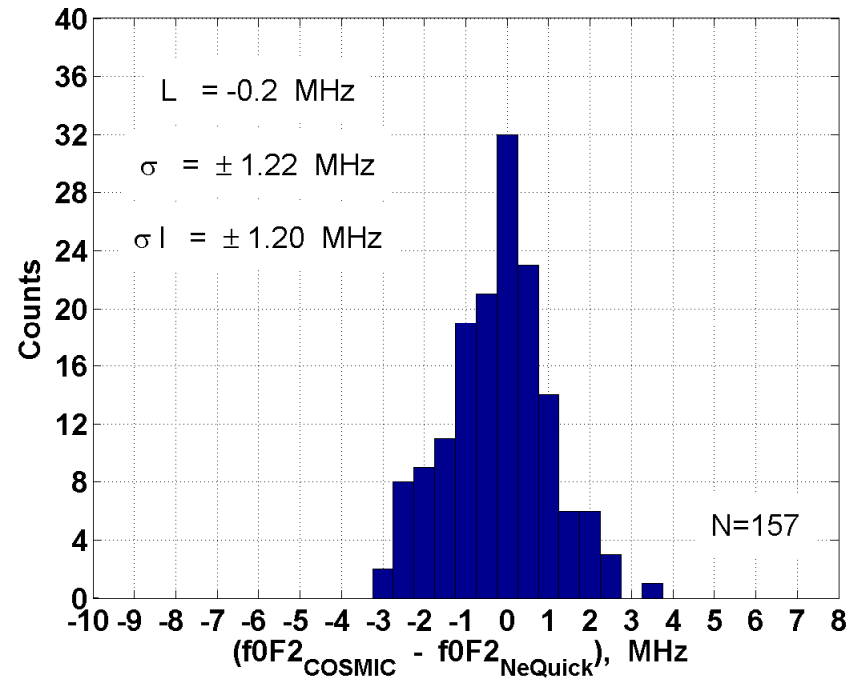
**NeQuick**  
 район Северной Европы  
 (Tromso)



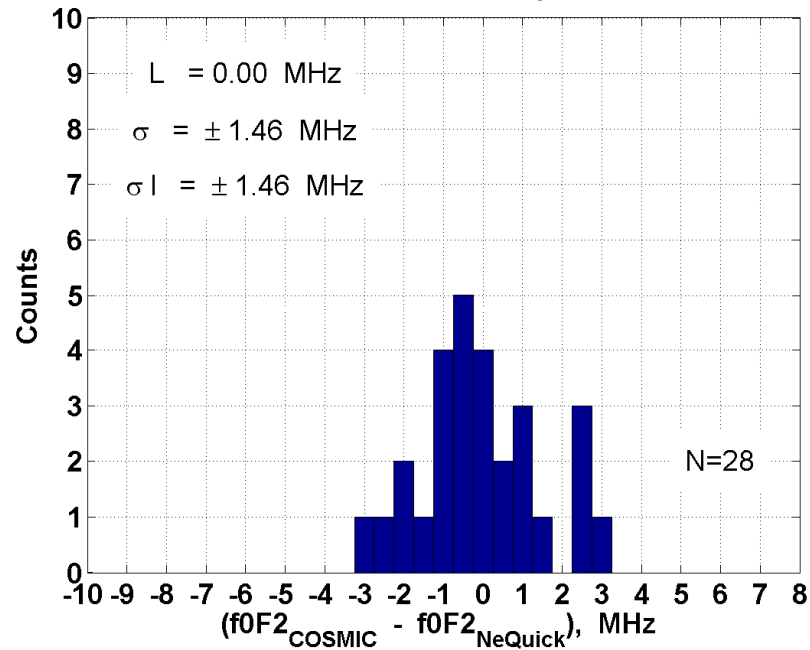
05.2006-08.2008  $K_p \leq 2$  Taiwan



05.2006-08.2008  $2 < K_p < 4$  Taiwan



05.2006-08.2008  $4 \leq K_p$  Taiwan

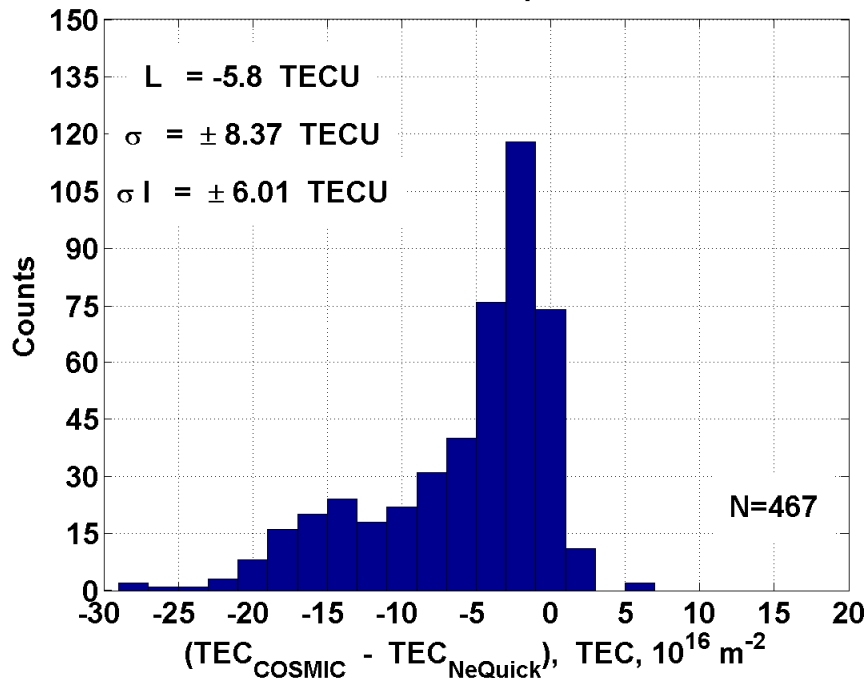


**NeQuick**

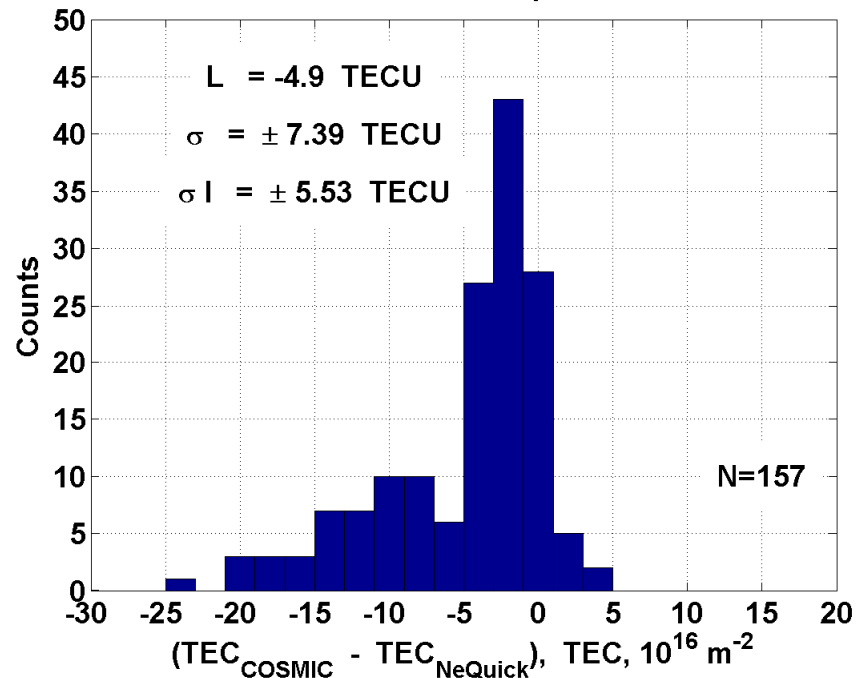
**район о.Тайвань**

**(Chung-Li)**

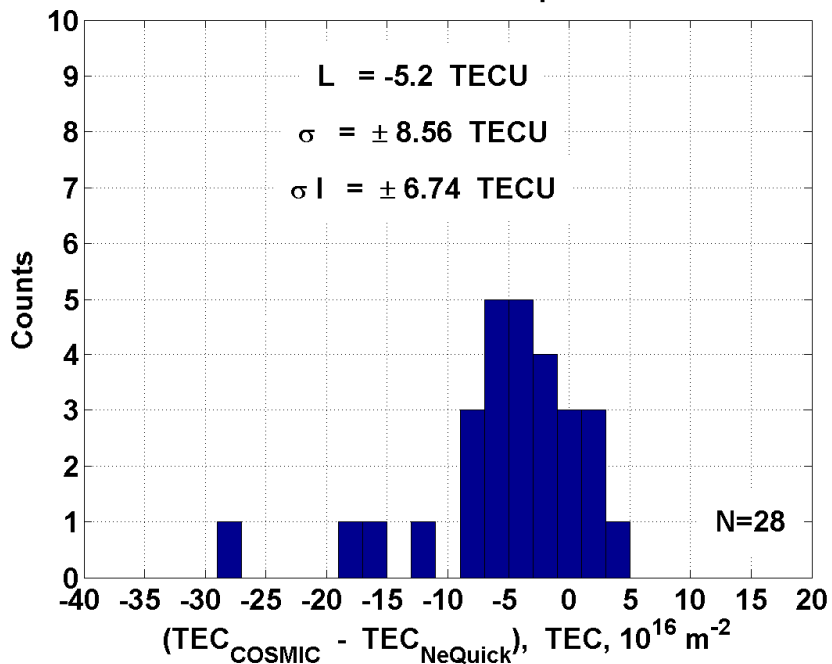
05.2006-08.2008 Kp ≤ 2 Taiwan



05.2006-08.2008 2 < Kp < 4 Taiwan



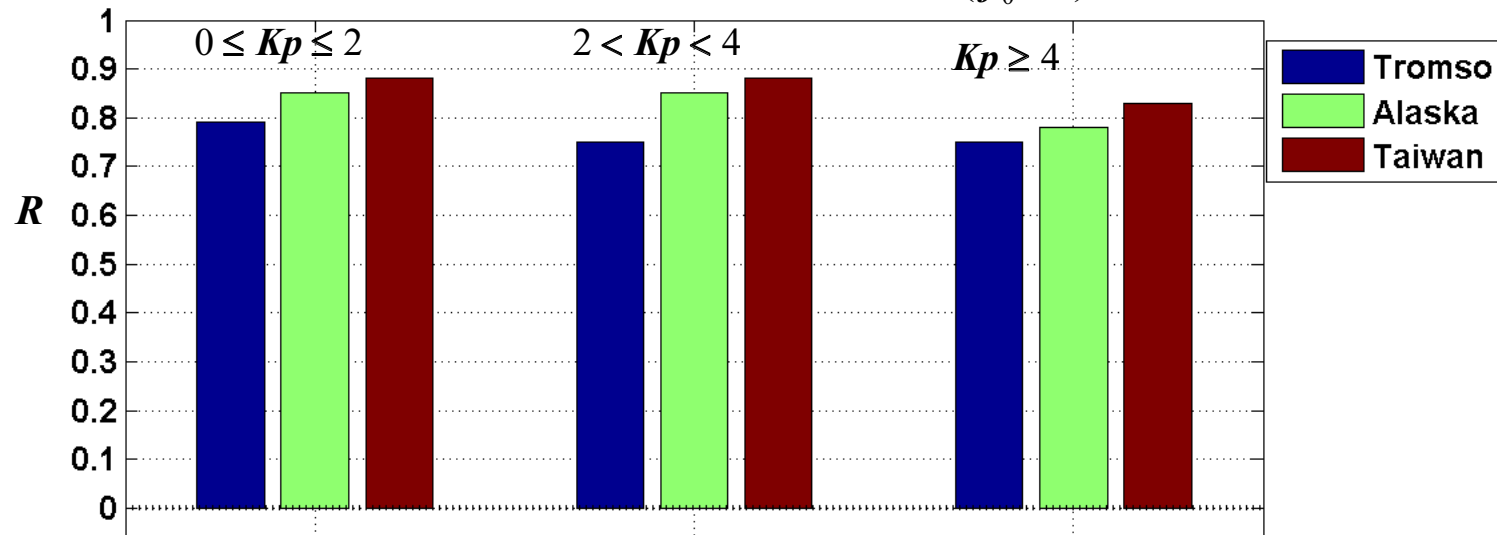
05.2006-08.2008 4 ≤ Kp Taiwan



**NeQuick**  
**район о.Тайвань**  
**(Chung-Li)**

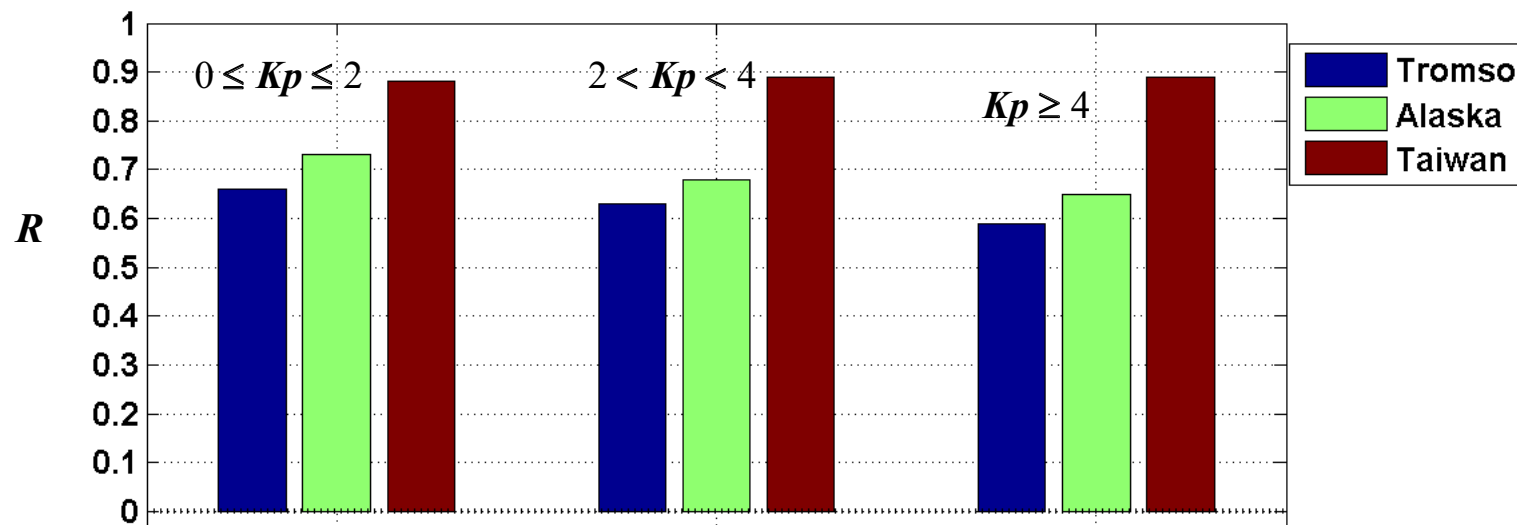
# Коэффициенты корреляции между значениями $f_0F_2$ , вычисленных по P3-профилям

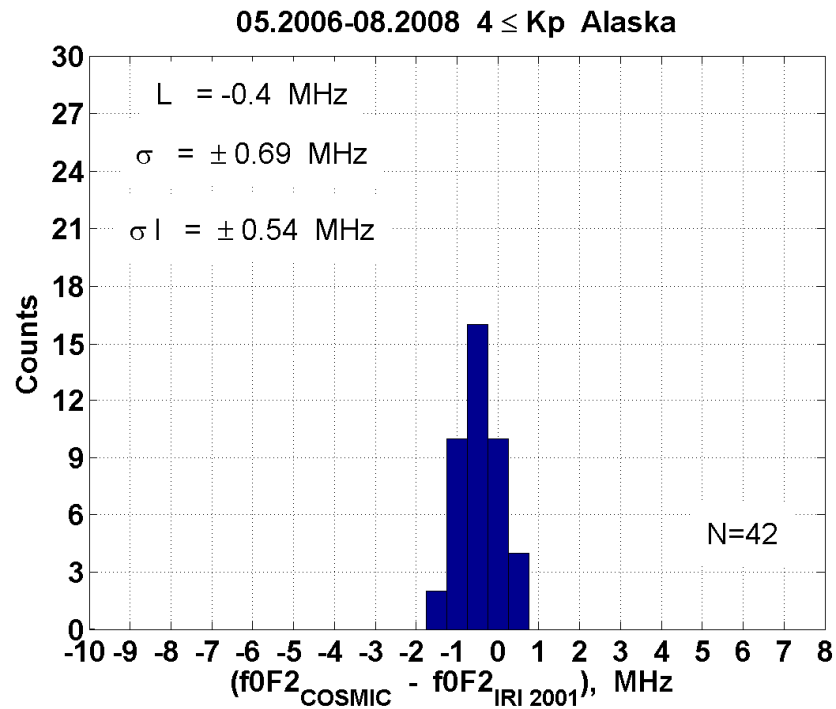
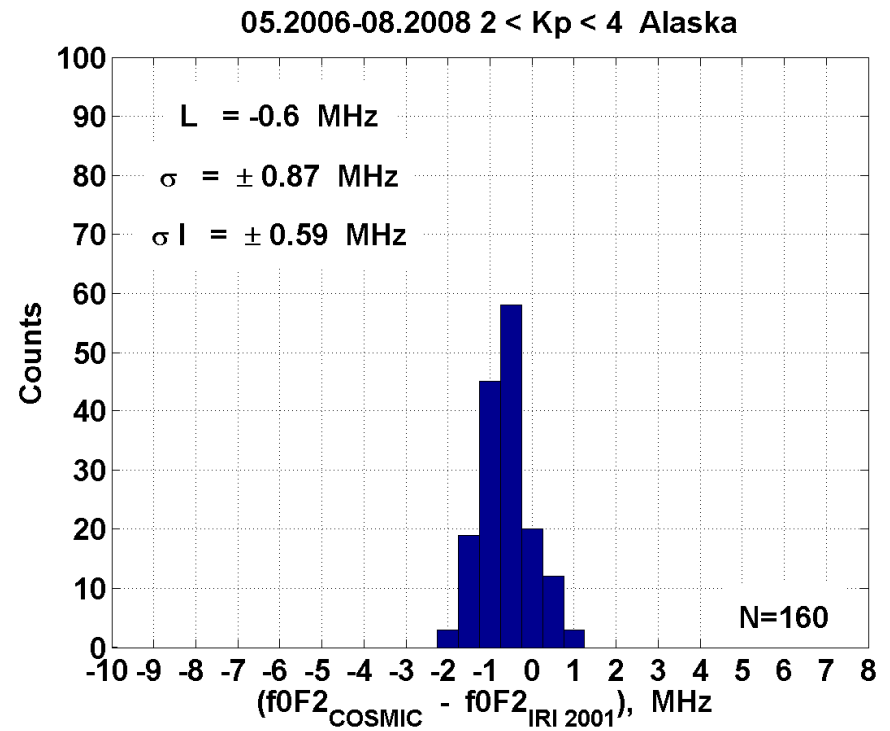
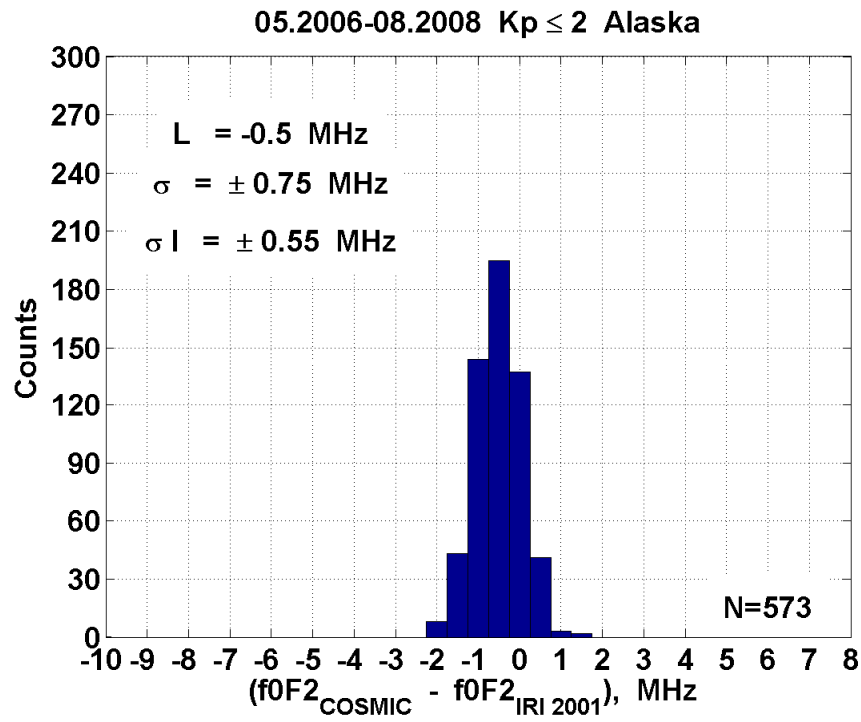
электронной плотности и данным модели NeQuick  
05.2006-08.2008 NeQuick ( $f_0F_2$ )



Коэффициенты корреляции между значениями VTEC, вычисленных по P3-профилям электронной плотности и данным модели NeQuick

05.2006-08.2008 NeQuick (VTEC)



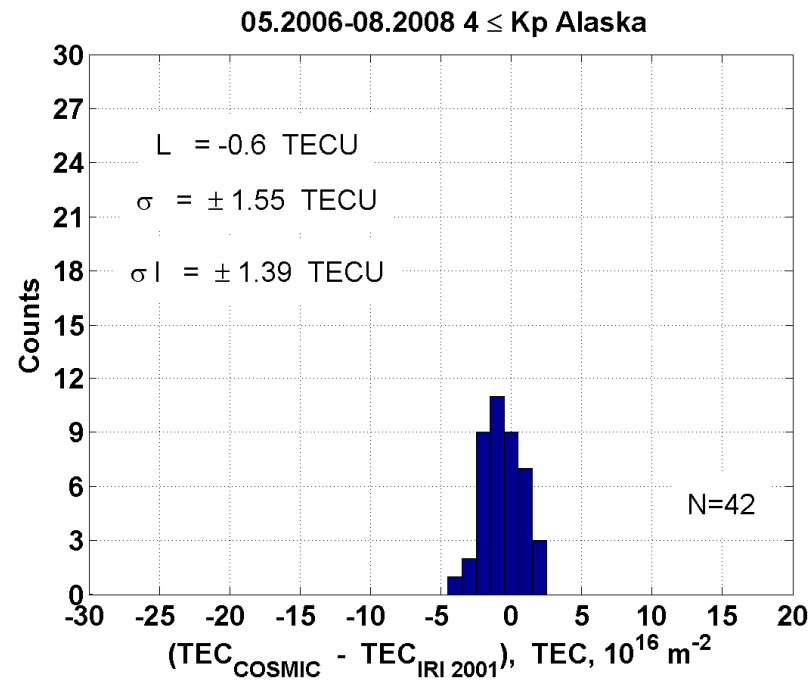
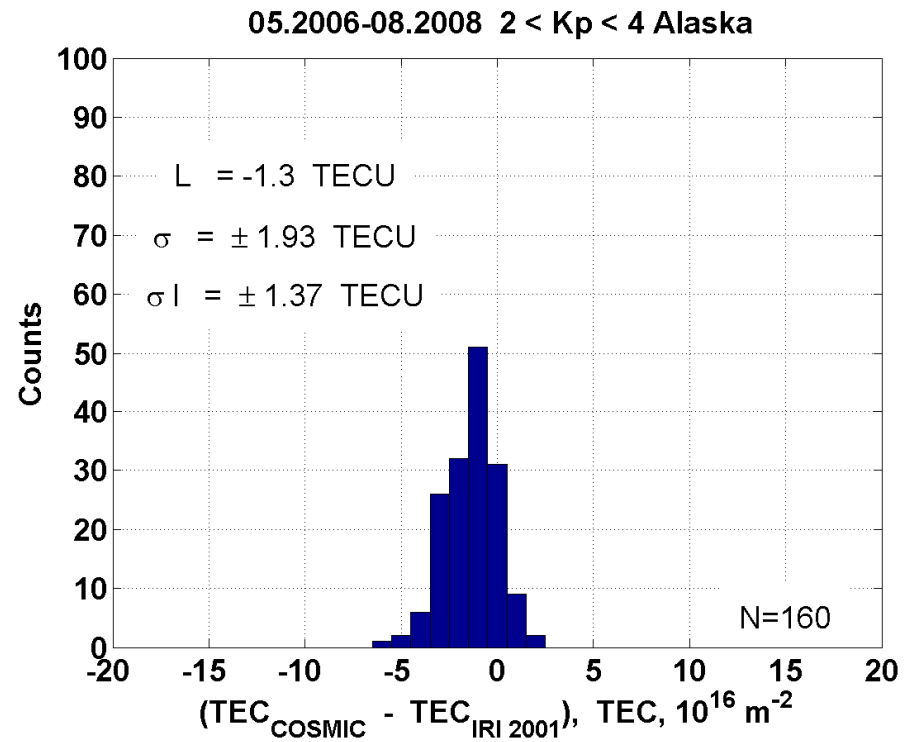
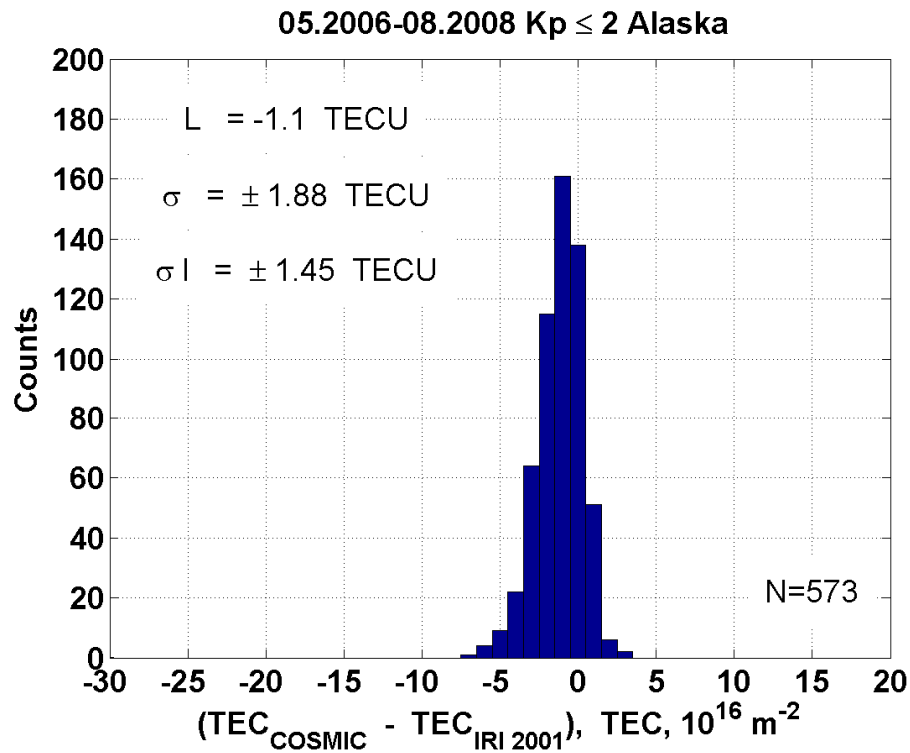


*Верификация моделей  
 по радиозатменными  
 профилям*

**IRI-2001**

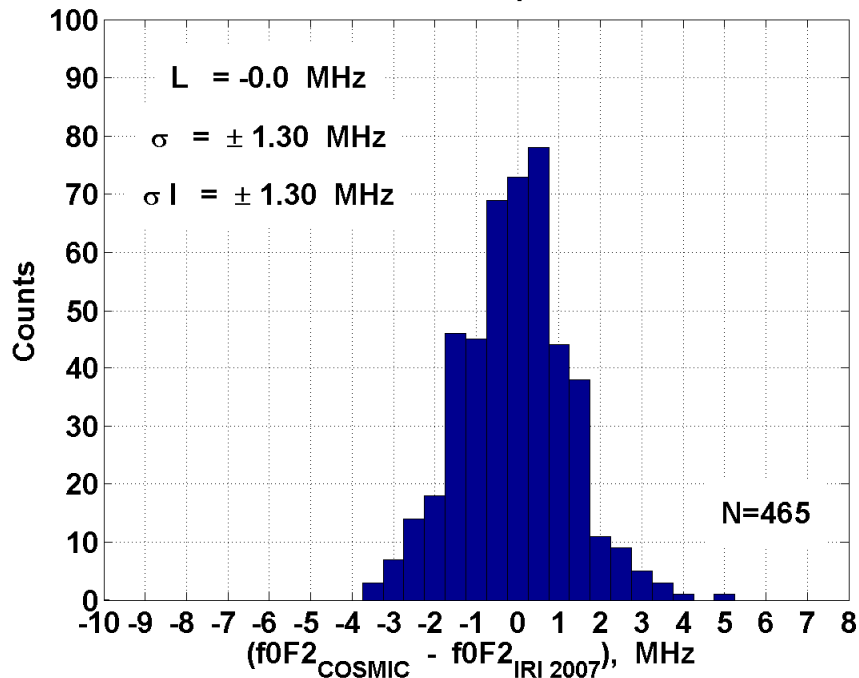
**район Аляски**

**(Gakona)**

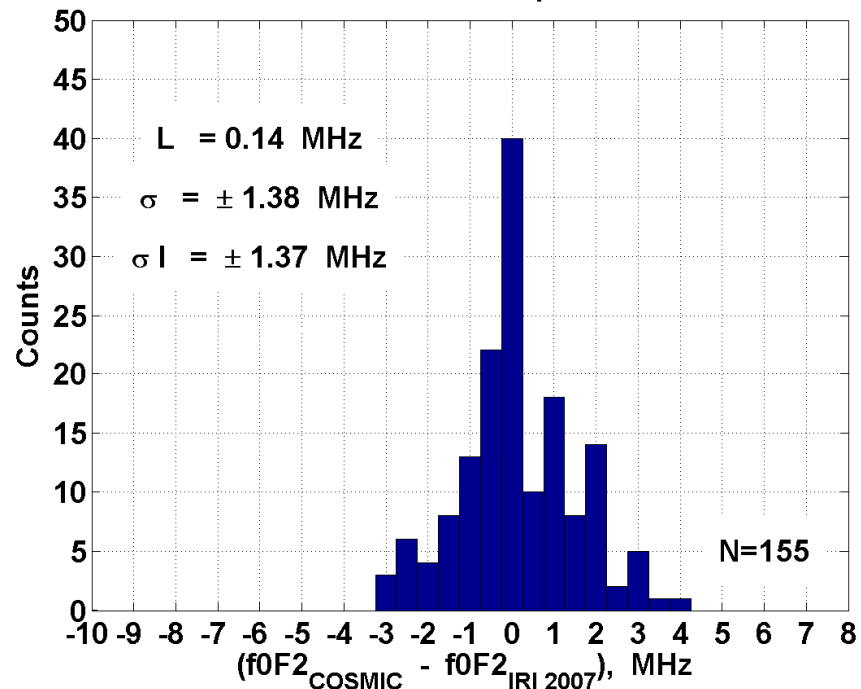


**IRI-2001**  
**район Аляски**  
**(Гакона)**

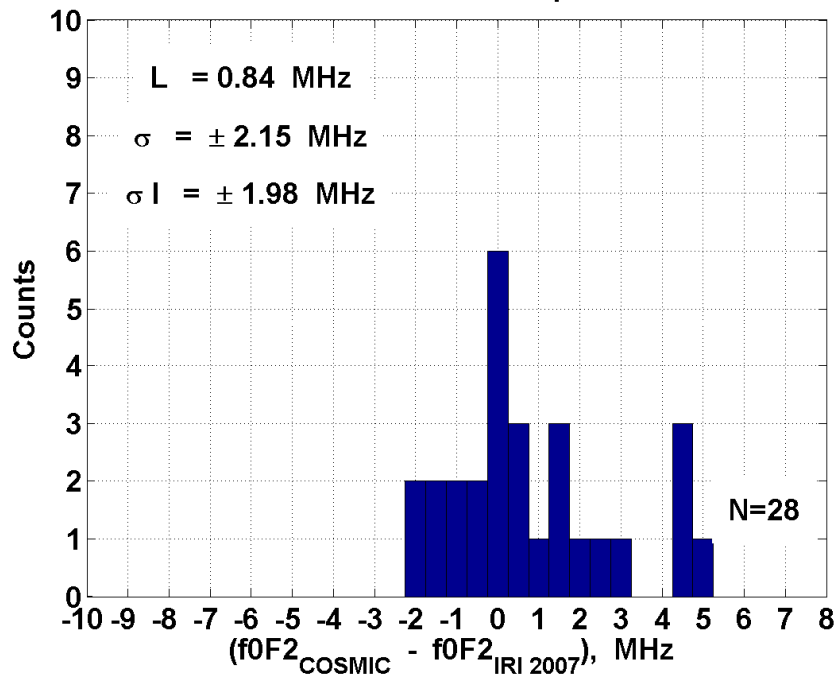
05.2006-08.2008  $Kp \leq 2$  Taiwan



05.2006-08.2008  $2 < Kp < 4$  Taiwan



05.2006-08.2008  $4 \leq Kp$  Taiwan

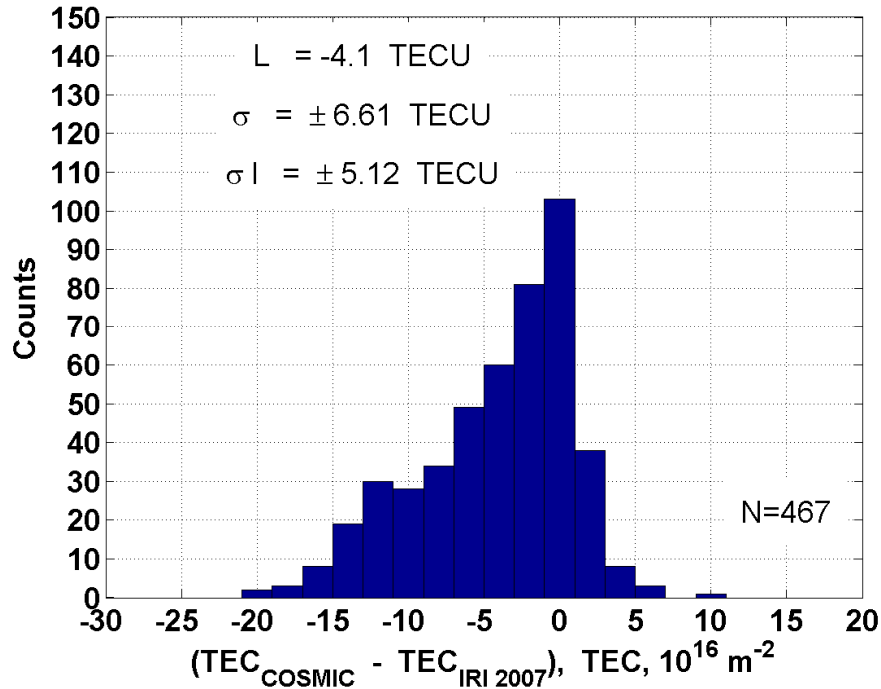


**IRI 2007**

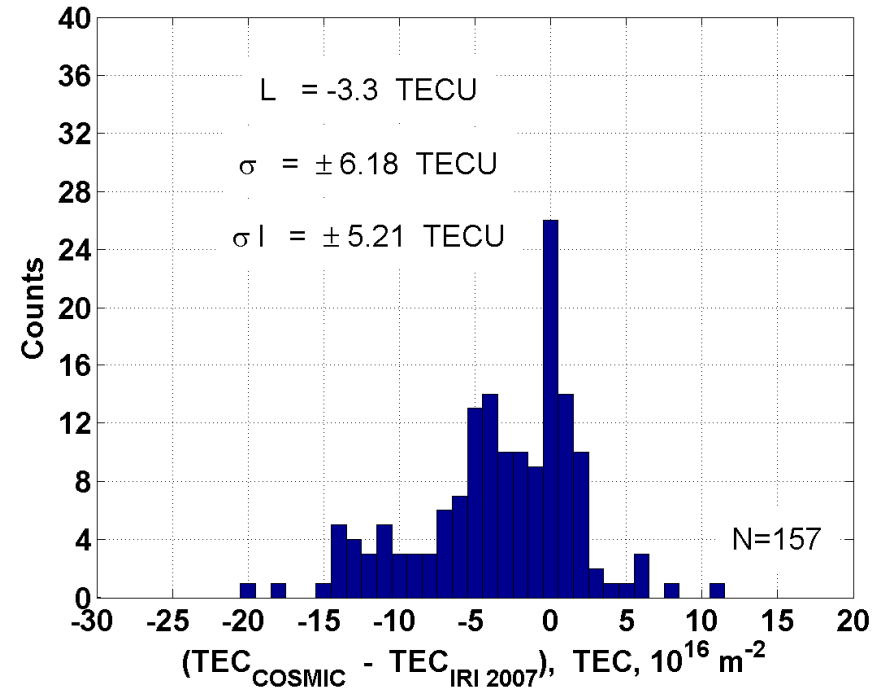
**район о.Тайвань**

**(Chung-Li)**

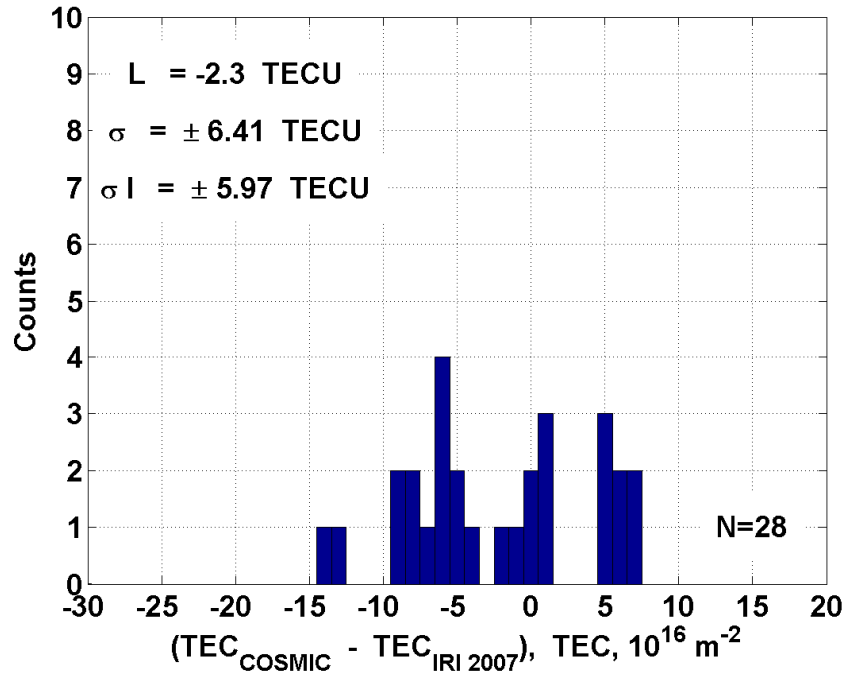
05.2006-08.2008 Kp ≤ 2 Taiwan



05.2006-08.2008 2 < Kp < 4 Taiwan



05.2006-08.2008 4 ≤ Kp Taiwan

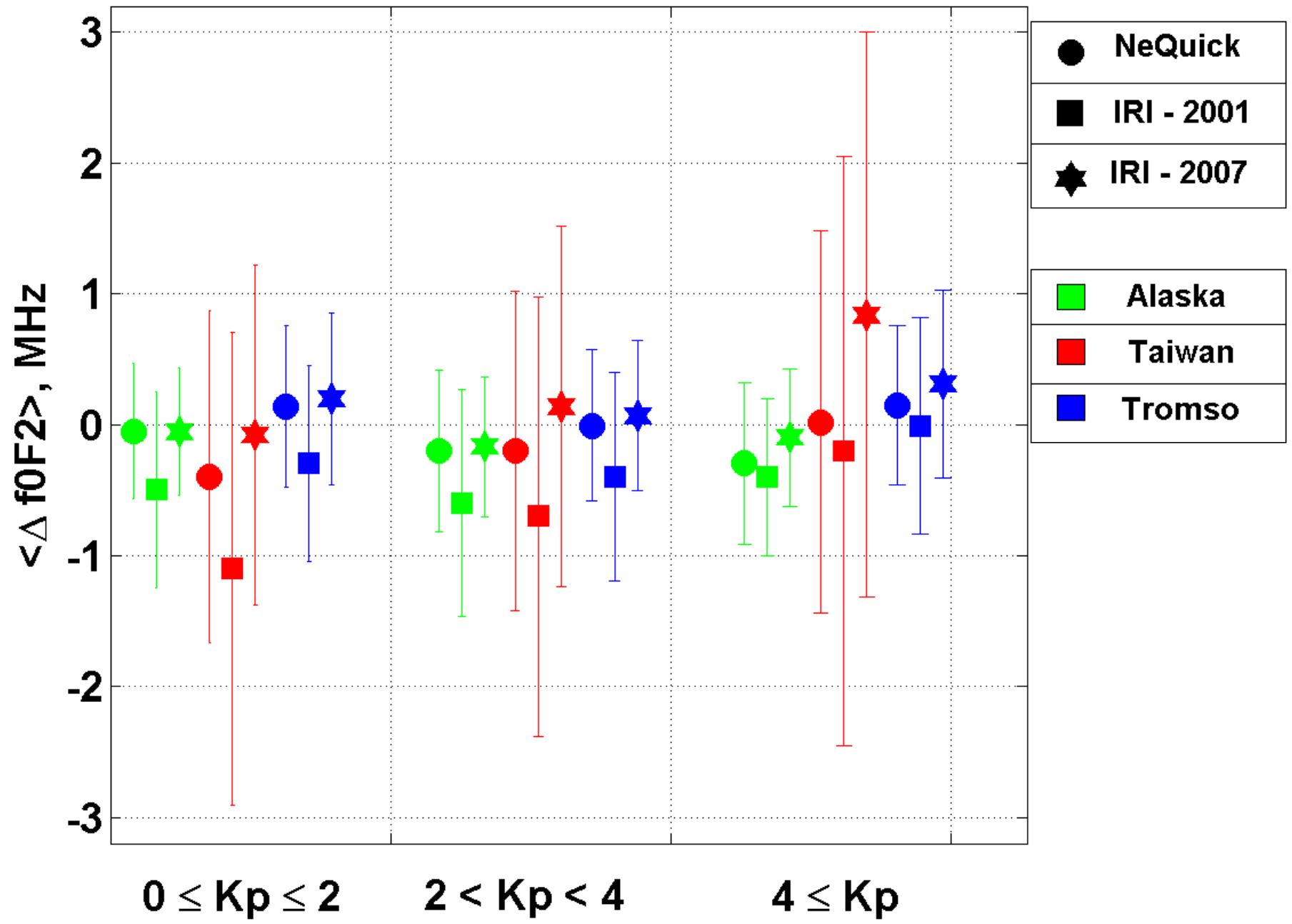


**IRI 2007**

**район о.Тайвань**

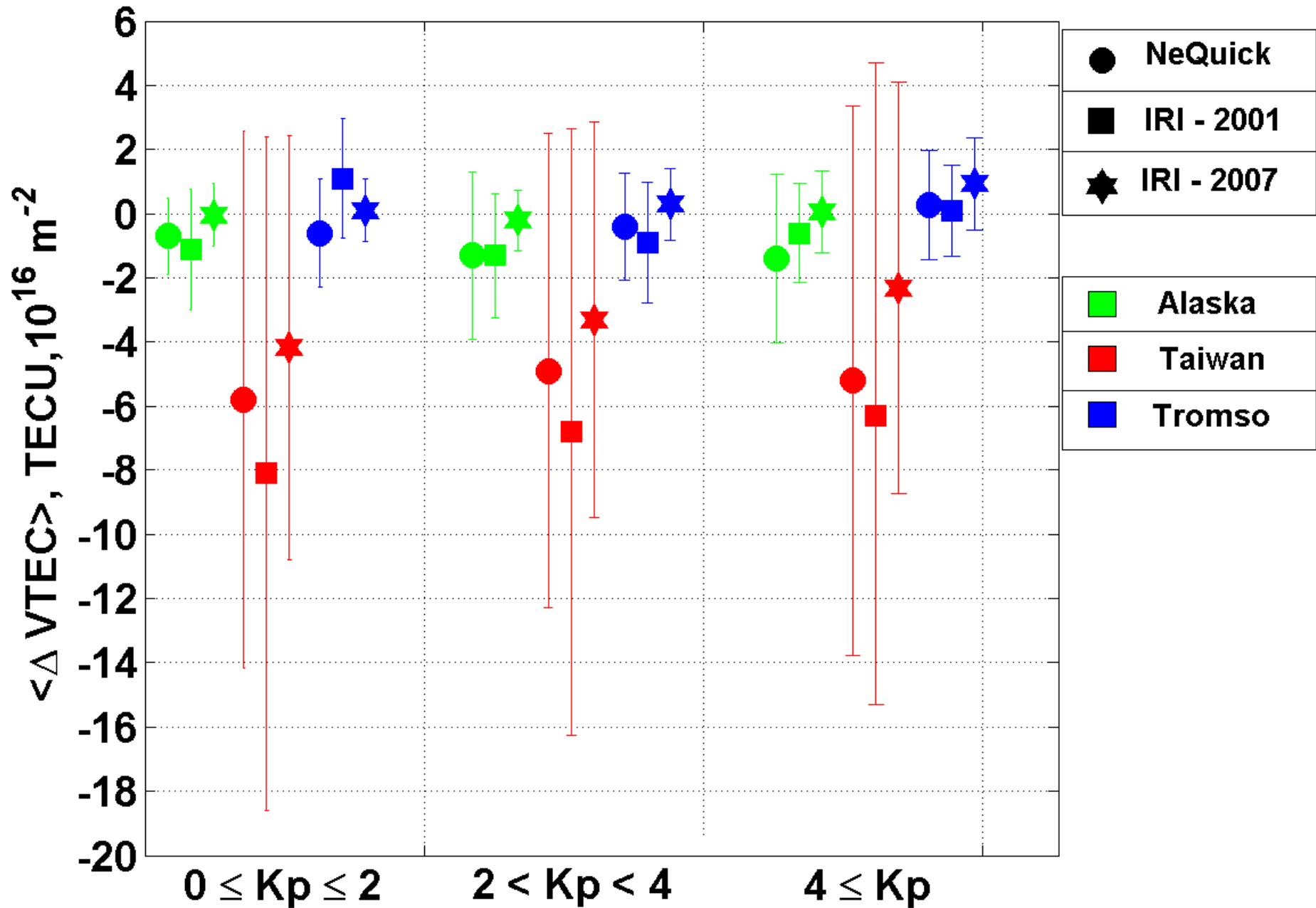
**(Chung-Li)**

# Ионосферные модели





# Ионосферные модели



# Результаты

## Проведенные исследования показали:

- для спокойных условий наблюдается хорошее согласование между критическими частотами ( $f_0F_2$ ) вычисленными из P3-профилей, и по данным ионозондов
  - с ростом геомагнитной возмущенности увеличивается расхождение критических частот. Как правило, значения  $f_0F_2$  ионозондов выше значений  $f_0F_2$  из P3-профилей.
- 

- модели NeQuick, IRI-2001, IRI-2007 хорошо воспроизводят максимальный уровень электронной концентрации практически независимо от уровня геомагнитной возмущенности.

- модели хуже отображают профиль электронной концентрации, особенно в районе о.Тайвань, что может быть связано с наличием больших градиентов электронной плотности. При этом модель IRI-2007 дает меньшие погрешности модельных значений VTEC относительно значений VTEC из P3-профилей.

**Таким образом, P3-профили слабовозмущенной ( $K_p < 4$ ) среднеширотной и субавроральной ионосферы могут быть использованы для различных геофизических и радиофизических приложений, и как дополнительная проекция в методе радиотомографии ионосферы.**

# Спасибо за внимание!

Авторы выражают благодарность профессорам L.-C.Tsai, C.H.Liu и коллегам из Центра космических исследований Национального Центрального Университета (Тайвань, Chungli)



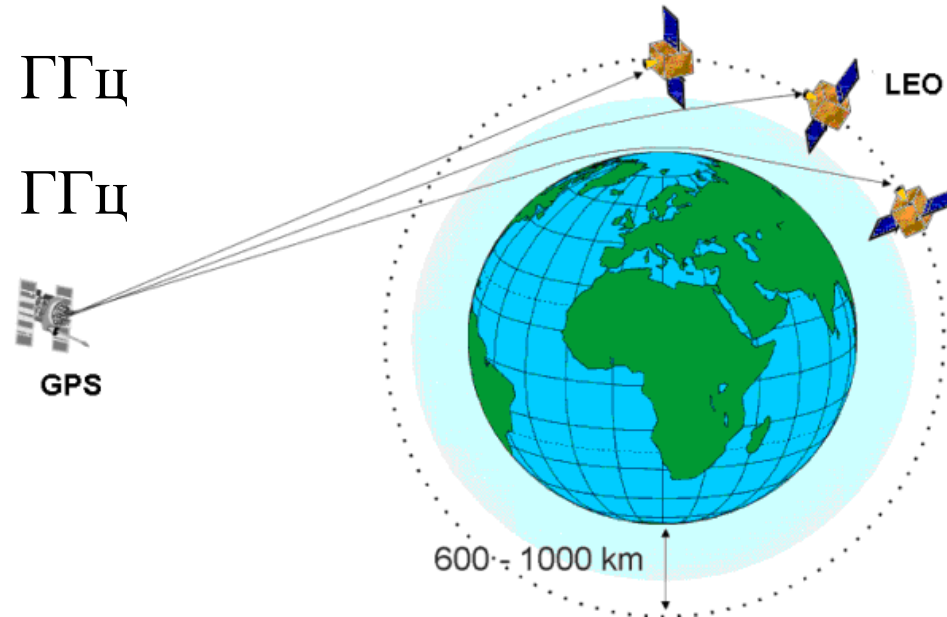
# Система COSMIC

- **National Space Organization (TAIWAN)**
- **UCAR•Air Force Research Lab**
- **Naval research Lab**
- **JicamarcaRadio Observatory**
- **Arecibo Radar Observatory**
- **MIT Haystack Radar (Millstone Hill)**
- **MU radar (Japan)**
- **Kyoto University**
- **Nagoya University**
- **Tohoku University**
- **National Central U (Taiwan)**
- **National Cheng-Kung U (Taiwan)**
- **Cornell U**
- **U Texas/Austin•**
- **U of Illinois/Champaign**
- **U Massachusetts/Lowell**
- **Boston University**

# Radio Occultation (RO)

$f1 = 1,5754$  ГГц

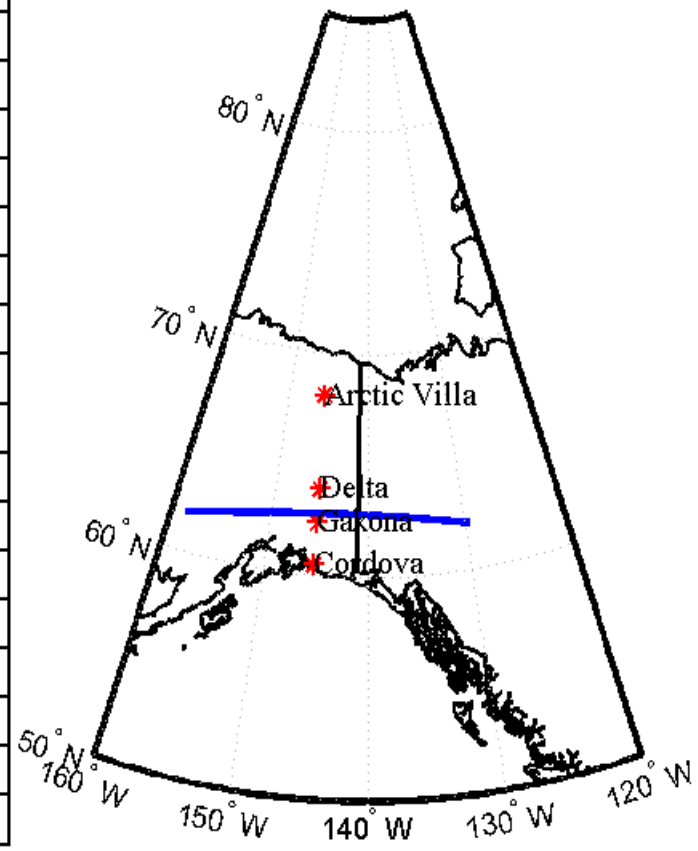
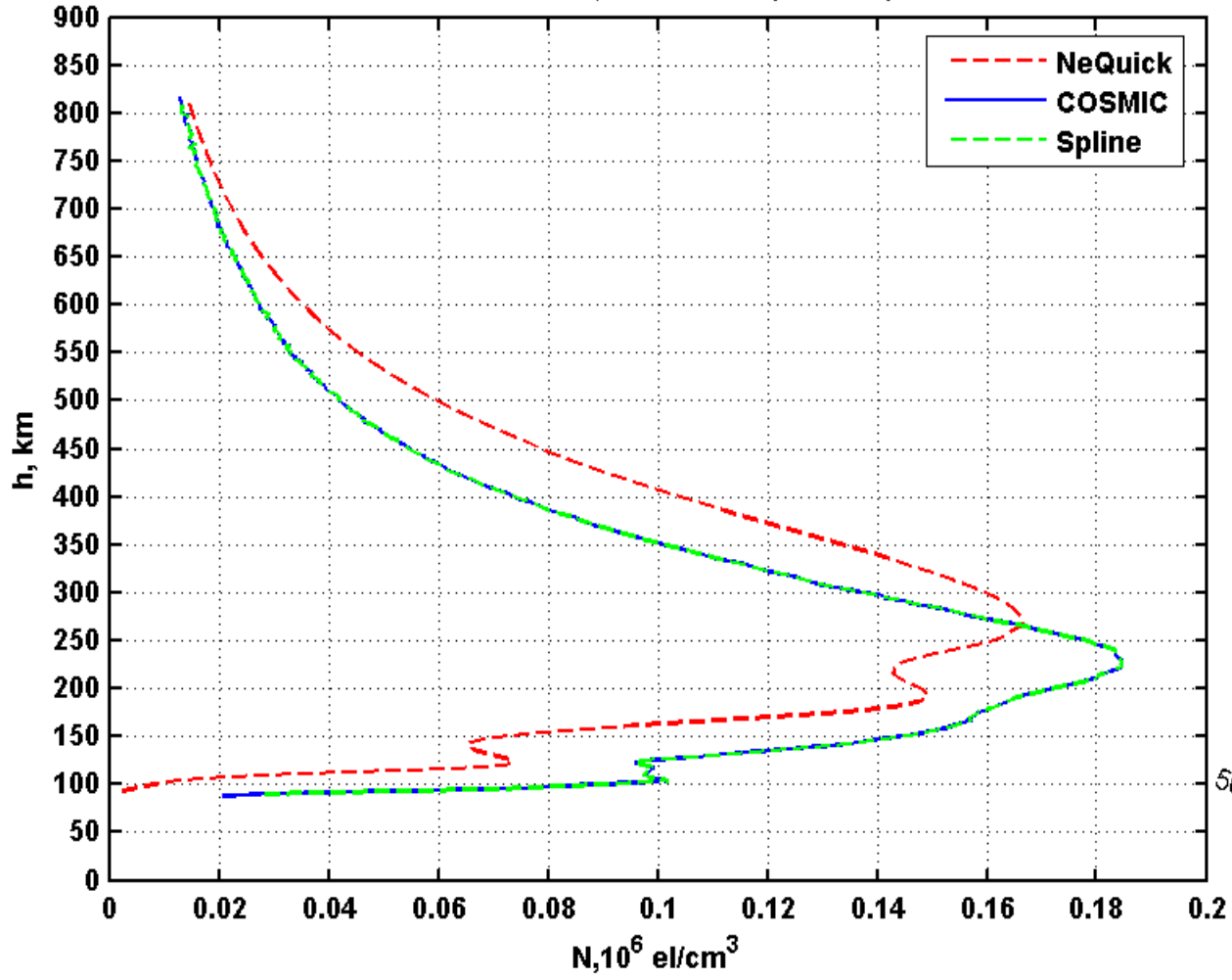
$f2 = 1,2276$  ГГц



- ✓ Спутники LEO принимают сигналы системы GPS
- ✓ Порядка 1800 радиозатменных профилей электронной плотности в течении дня
- ✓ Проводится расчет ионосферных параметров (критические частоты ионосферы, высоты максимумов ионосферных слоев )

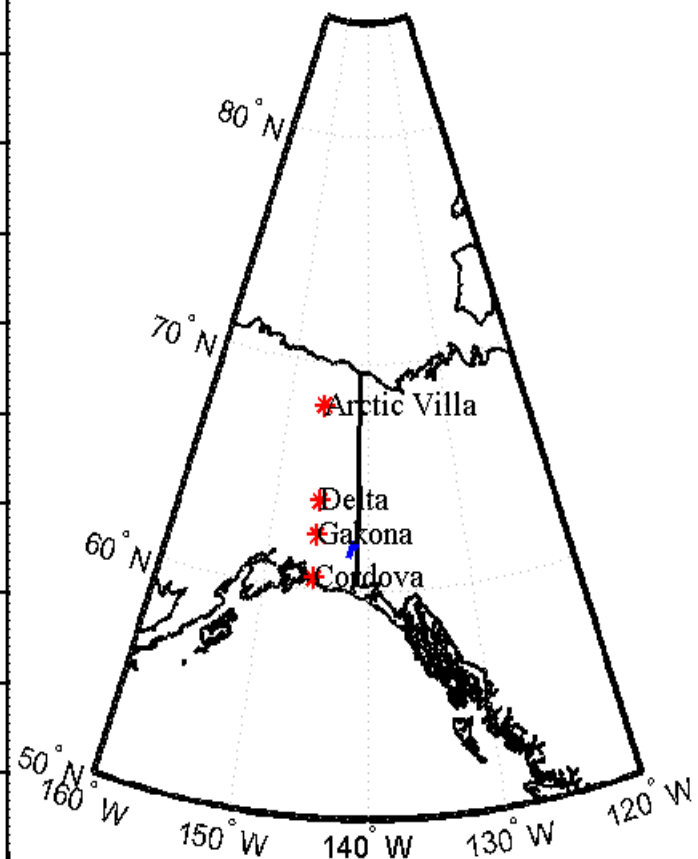
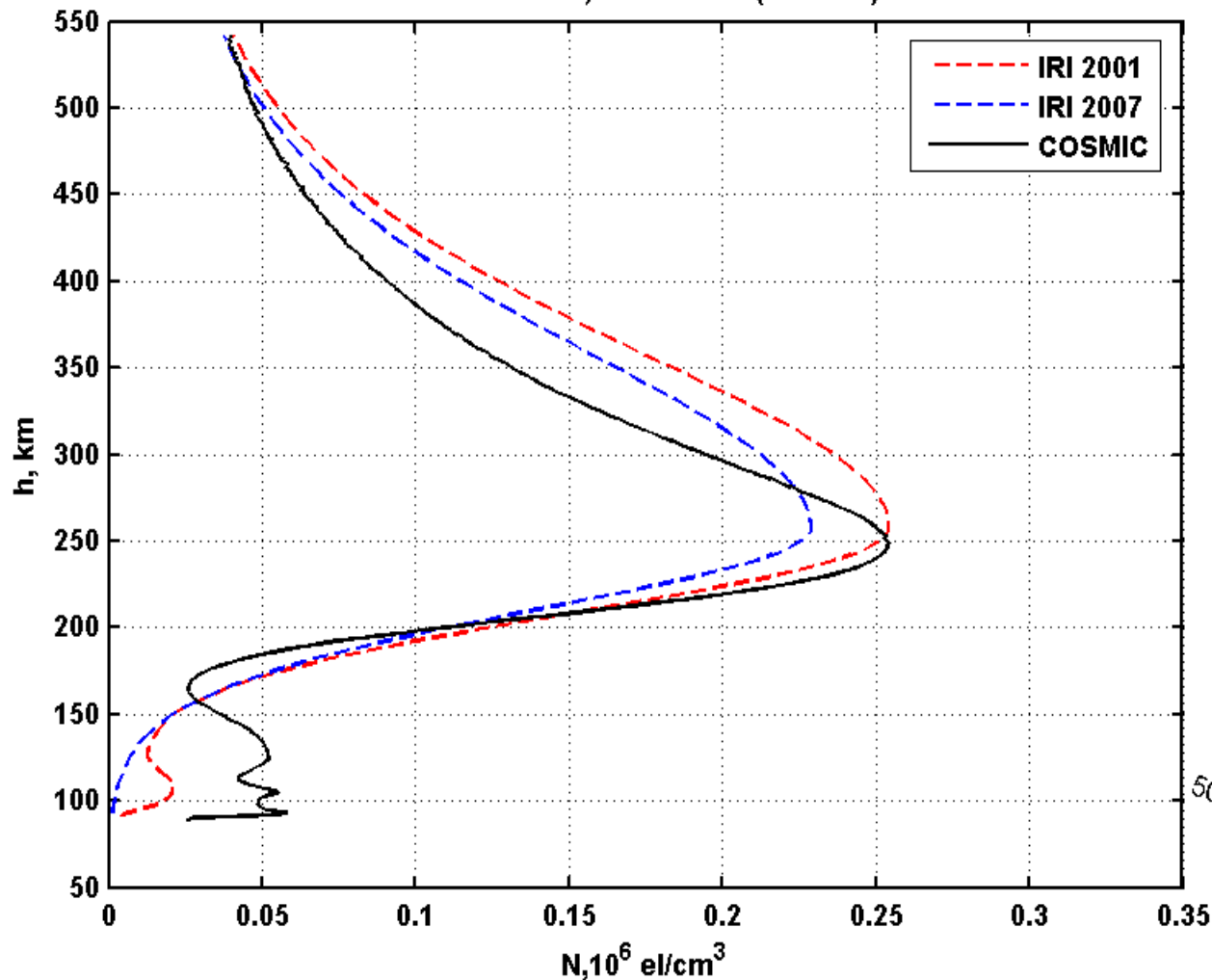
# Примеры профилей электронной плотности системы COSMIC и модели NeQuick

07.08.2008 , 17:05 UT (Alaska)



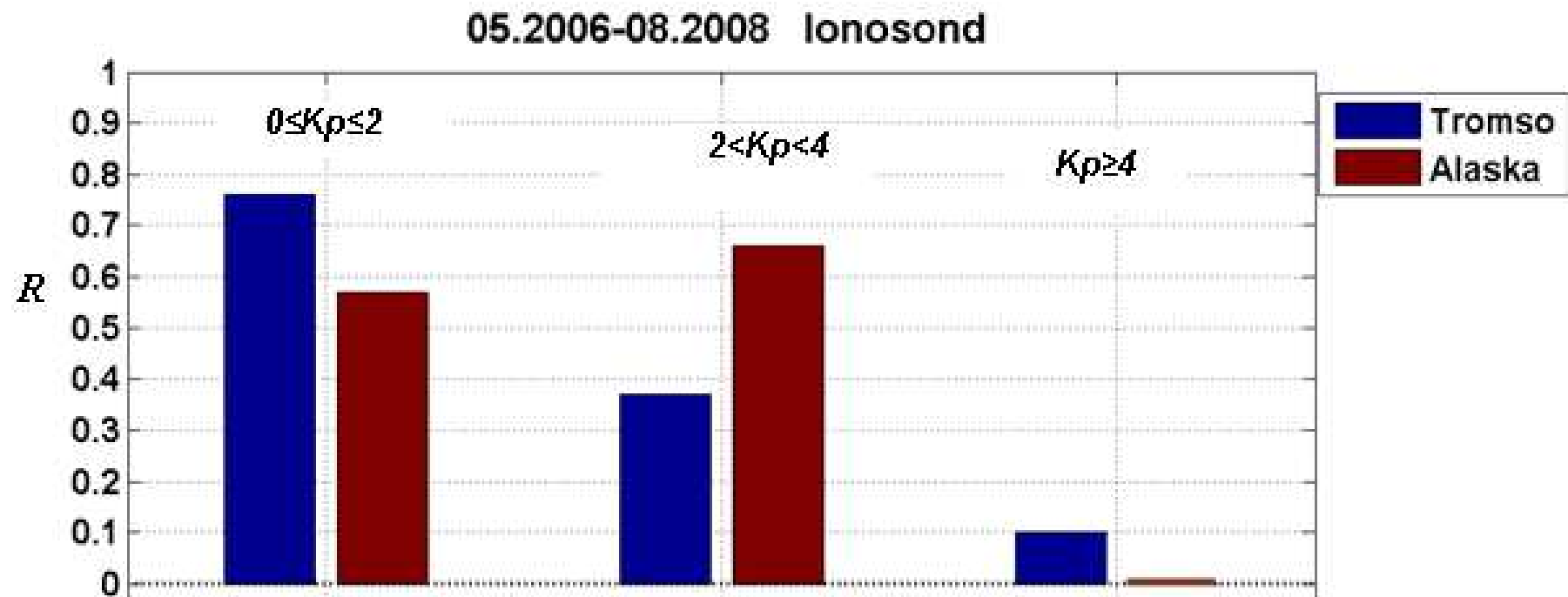
# Примеры профилей электронной плотности системы COSMIC и моделей IRI-2001/2007

13.10.2006 , 02:17 UT (Alaska)

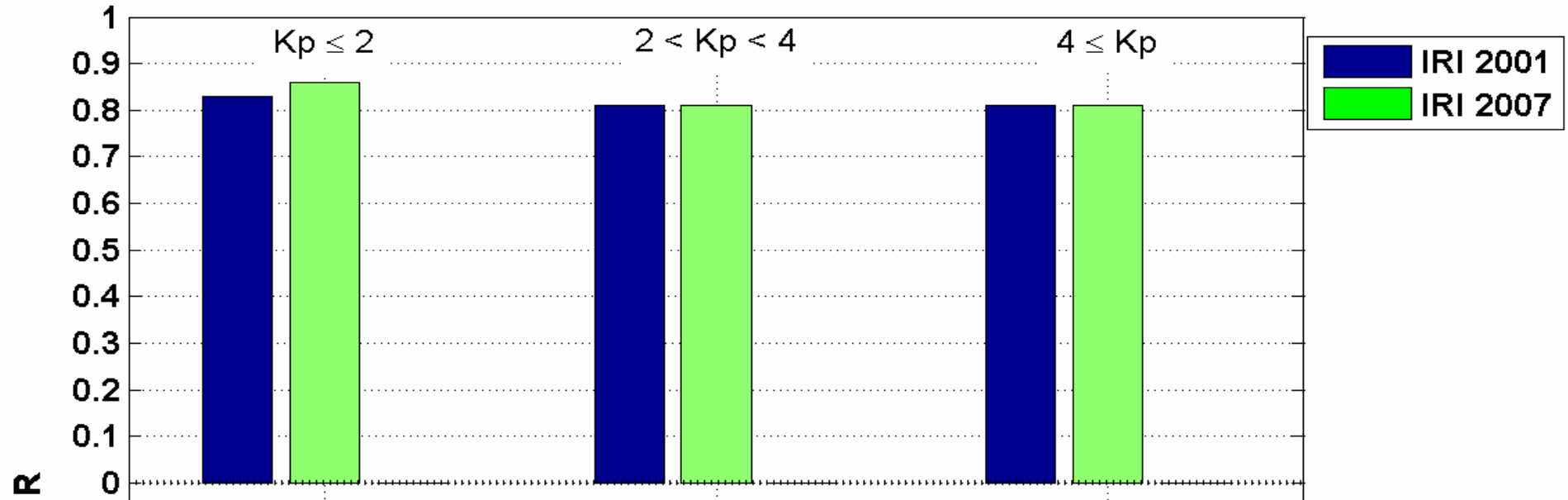




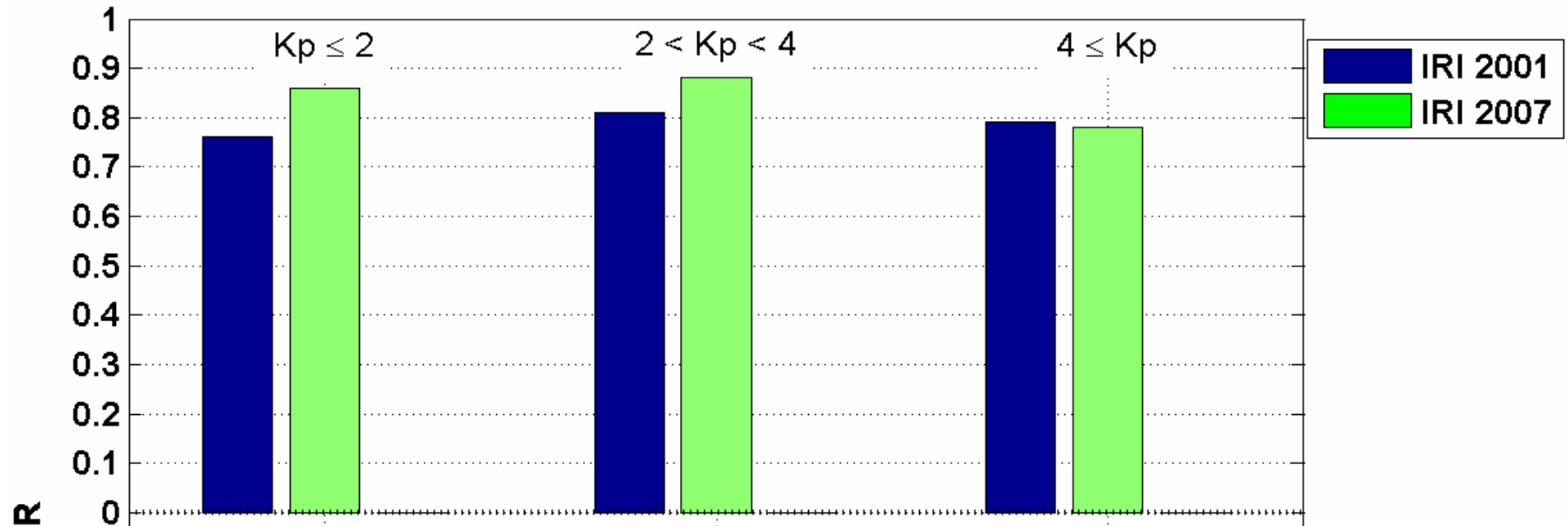
**Коэффициенты корреляции между значениями  $f^oF_2$ ,  
вычисленных по РЗ-профилям электронной плотности и  
данным ионозондовых измерений в Тромсе и  
Гаконе(Аляска)**



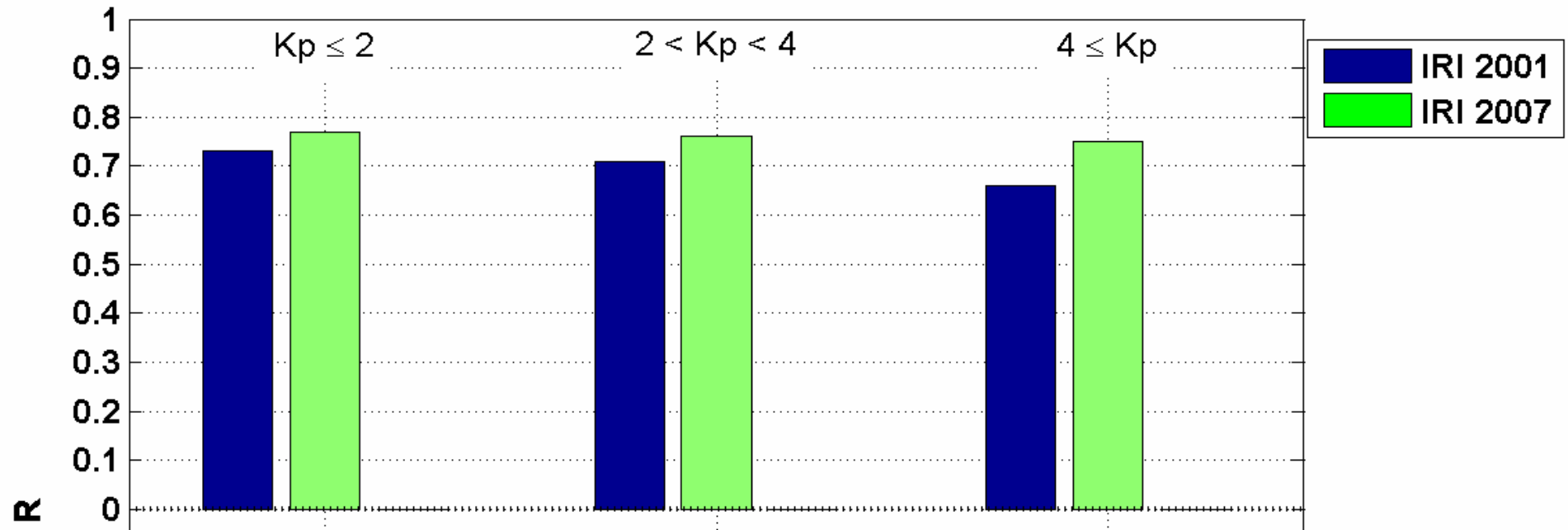
05.2006-08.2008 Alaska (IRI-2001/2007)



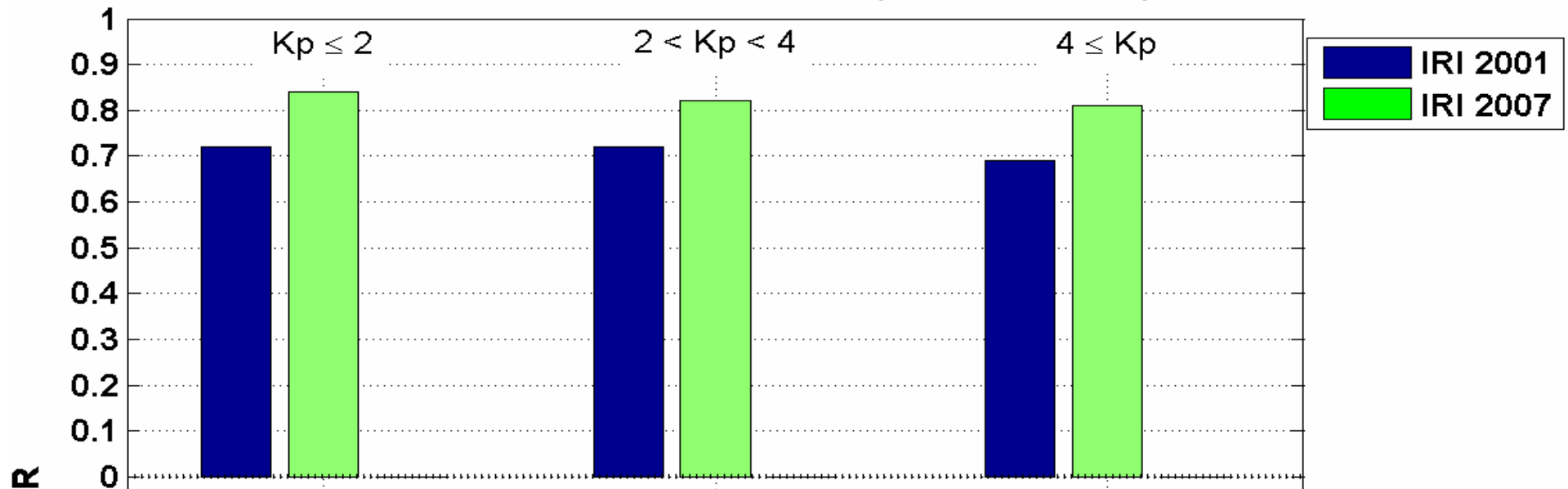
05.2006-08.2008 TEC Alaska (IRI-2001/2007)



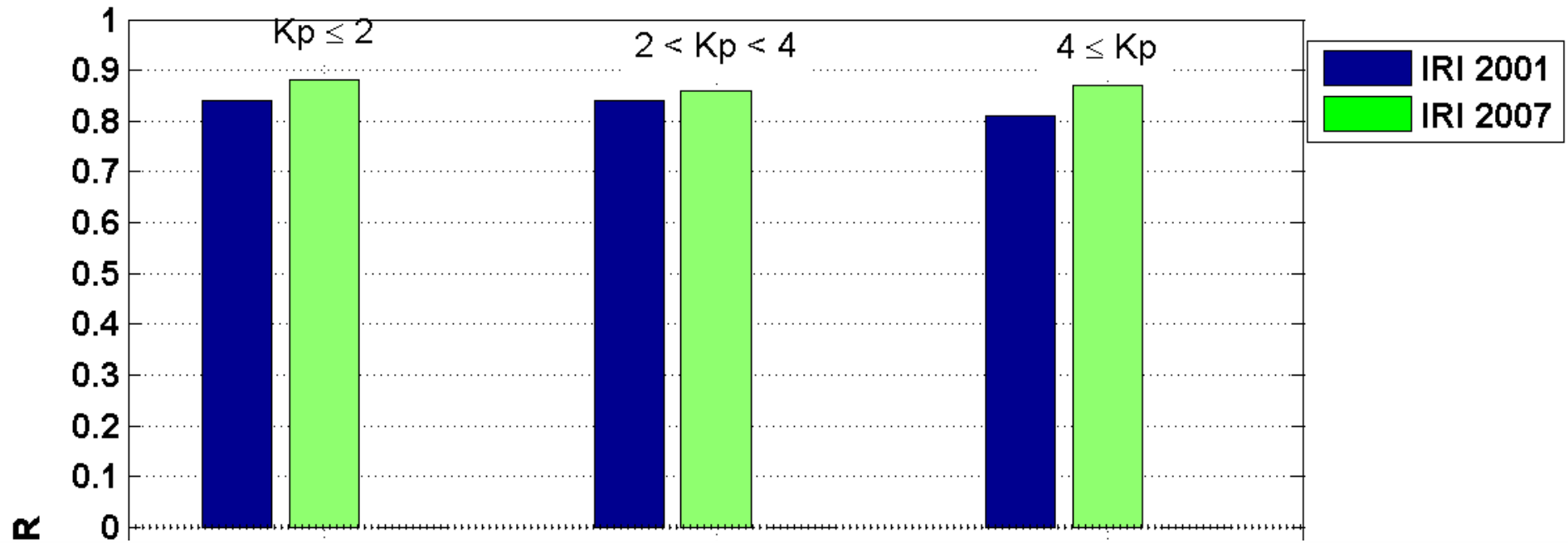
05.2006-08.2008 Tromso (IRI-2001/2007)



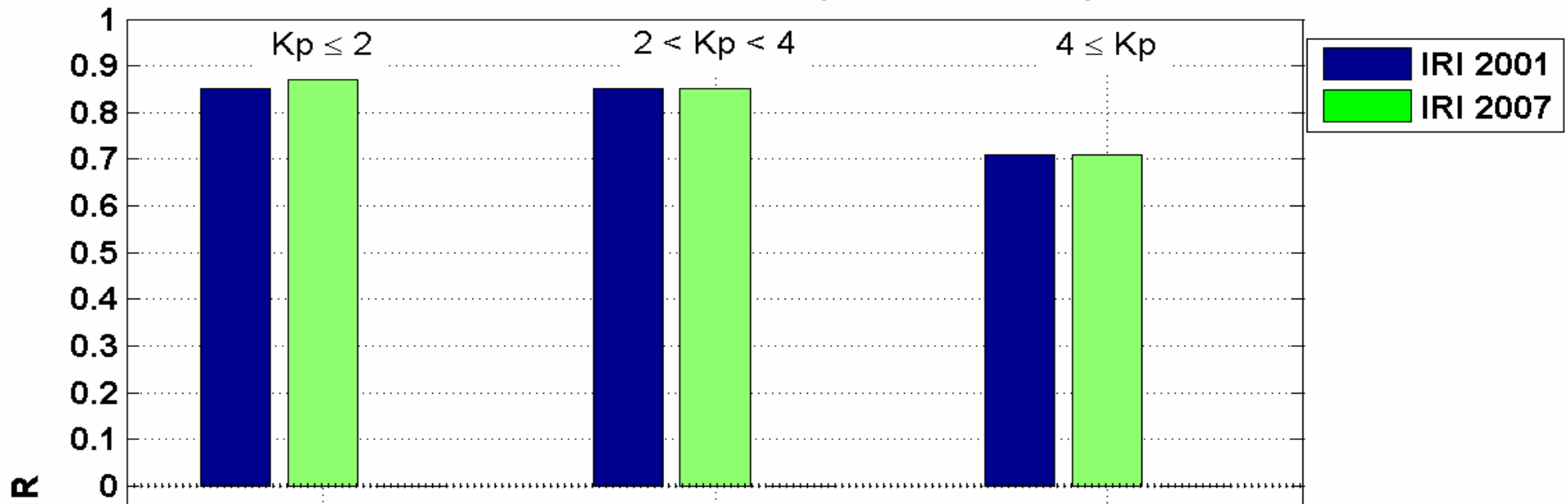
05.2006-08.2008 TEC Tromso (IRI-2001/2007)



# 05.2006-08.2008 TEC Taiwan (IRI-2001/2007)



# 05.2006-08.2008 Taiwan (IRI-2001/2007)



# Результаты

- Создана база данных PЗ-профилей электронной концентрации системы FormoSat-3/COSMIC по заданным регионам за период с апреля 2006г. по сентябрь 2008г. Обработано порядка  $20 \cdot 10^6$  файлов общим объемом 40 Гб.
- Разработано программное обеспечение для анализа PЗ-профилей
- Проведена верификация PЗ-профилей FormoSat-3/COSMIC по данным ионозондов в Гаконе, Тромсе для периода с апреля 2006г. по сентябрь 2008г. (~1400 профилей) и в Чунгли для периода с августа 2006г. по сентябрь 2006г. (~30 профилей).
- Проведенные исследования показали:
- - для спокойных условий наблюдается хорошее согласование между значениями , вычисленных из PЗ-профилей, и значениями ионозондов

- - с ростом геомагнитной возмущенности увеличивается расхождение критических частот, вычисленных из P3-профилей и по данным измерений ионозондов. Как правило, значения ионозондов выше значений из P3-профилей.
- Наблюдались большие расхождения между значениями из P3-профилей и значениями по данным ионозонда в Чунгли даже в спокойных и слабовозмущенных условиях, что может быть обусловлено присутствием экваториальной аномалии и больших градиентов.
- **Проведена верификация моделей NeQuick, IRI-2001 и IRI-2007 по данным P3- профилей** Модель NeQuick
- Значения , вычисленные по данным модели NeQuick, хорошо согласуются со значениями P3 - профилей во всех трех регионах практически независимо от уровня геомагнитной возмущенности.
- Значения VTEC по данным модели NeQuick, превышают значения из P3-профилей. Погрешности модельных значений VTEC в районе о.Тайвань в 2-3.5 раза превышают погрешности модельных значений VTEC в районах Аляски и Тромсе

- **Модели IRI-2001 и IRI- 2007**
- Модельные значения соответствуют значениям P3-профилей и слабо зависят от геомагнитной активности.
- Модель IRI-2007 лучше согласуется с данными P3-эксперимента в спокойный период, чем IRI-2001. Значения по модели IRI-2001 систематически завышены (на ~15%) относительно значений IRI-2007.
- Значения VTEC, вычисленные по моделям IRI-2001/2007 превышают значения из P3-профилей, причем значительно в районе о.Тайвань.
- **Проведенный сравнительный анализ показал, что модели NeQuick, IRI-2001, IRI-2007 хорошо воспроизводят максимальный уровень электронной концентрации практически независимо от уровня геомагнитной возмущенности. Однако, модели хуже отображают профиль электронной концентрации, особенно в районе о.Тайвань, что может быть связано с наличием больших градиентов электронной плотности. При этом модель IRI-2007 дает меньшие погрешности модельных значений VTEC относительно значений VTEC из P3-профилей.**
- Таким образом, P3-профили слабовозмущенной ( $Kp < 4$ ) среднеширотной и субавроральной ионосферы могут быть использованы для различных геофизических и радиофизических приложений, и как дополнительная проекция в методе радиотомографии ионосферы. В случае приэкваториальной ионосферы необходимо проводить дополнительные исследования.