

# Тестирование модели ионосферной задержки BDGIM в регионе Китая

Чэнь Чуаньфу, Падохин Артем

15 Ноября 2022 г.

# **Влияние ионосферы на GNSS ионосферные задержки ( влияет на точность навигации )**

- **Ионосфера сильно влияет на сигналы спутниковых навигационных систем.**
- **Это влияние необходимо учитывать в задаче навигации, особенно когда используются одночастотные приемники.**
- **Для учета ионосферы используют различные модели. Тестированию одной из них посвящена данная работа.**

# Эмпирические модели ионосферы используемые GNSS

Спутниковая система

- GPS
- ГЛОНАСС
- GALILEO
- BEIDOU

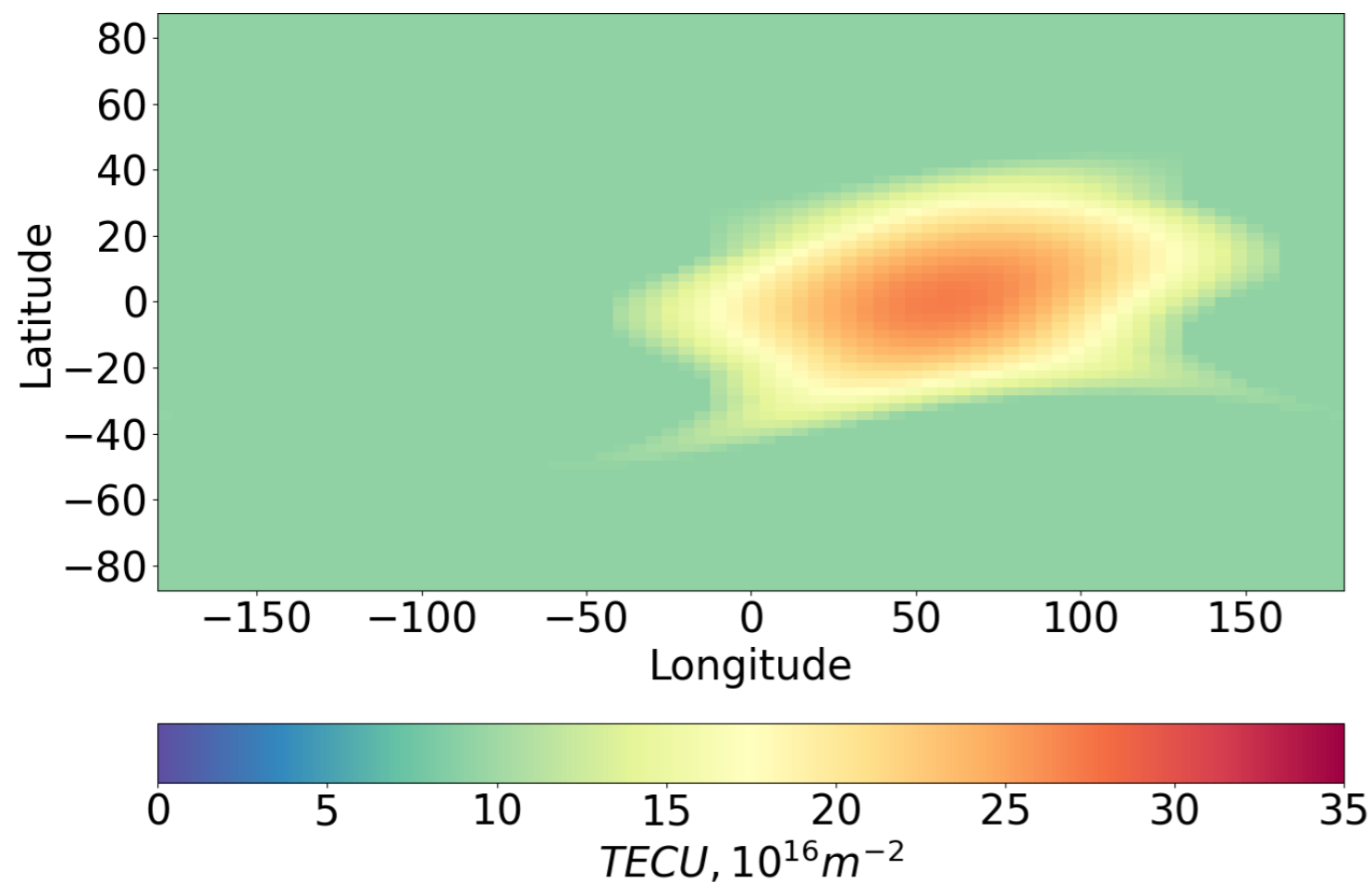


Модель

- Klobuchar
- Klobuchar
- NeQuick
- BDGIM

# УТЕС тар Глобальная карта

28 февраля 2020, 10:00UT



# Модель Klobuchar

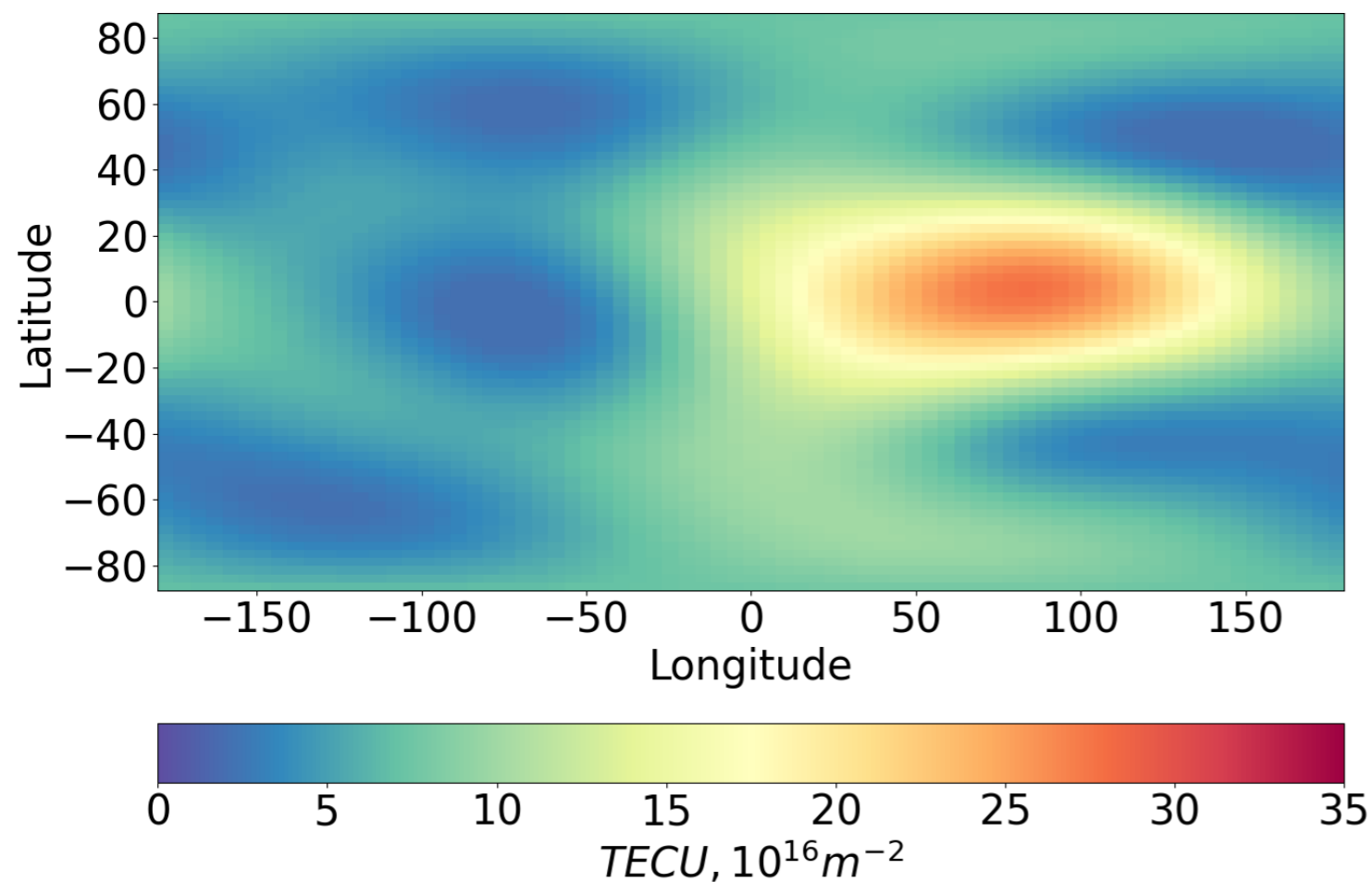
- Основана на 8 вещаемых Коэффициентах  $\{\alpha_m; \beta_m\}$
- Полиномиальное разложение для амплитуды и фазы TEC:

$$A_I = \sum_{n=0}^3 \alpha_n \phi_m^n ;$$

$$P_I = \sum_{n=0}^3 \beta_n \phi_m^n$$

# VTES map Глобальная карта

28 февраля 2020, 10:00UT



# Модель BDGIM

- Основана на 9 вещаемых коэффициентах( $\alpha_i$ ) + 17 невещаемых коэффициентах( $\beta_j$ )
- Базисные функции сферические гармоники

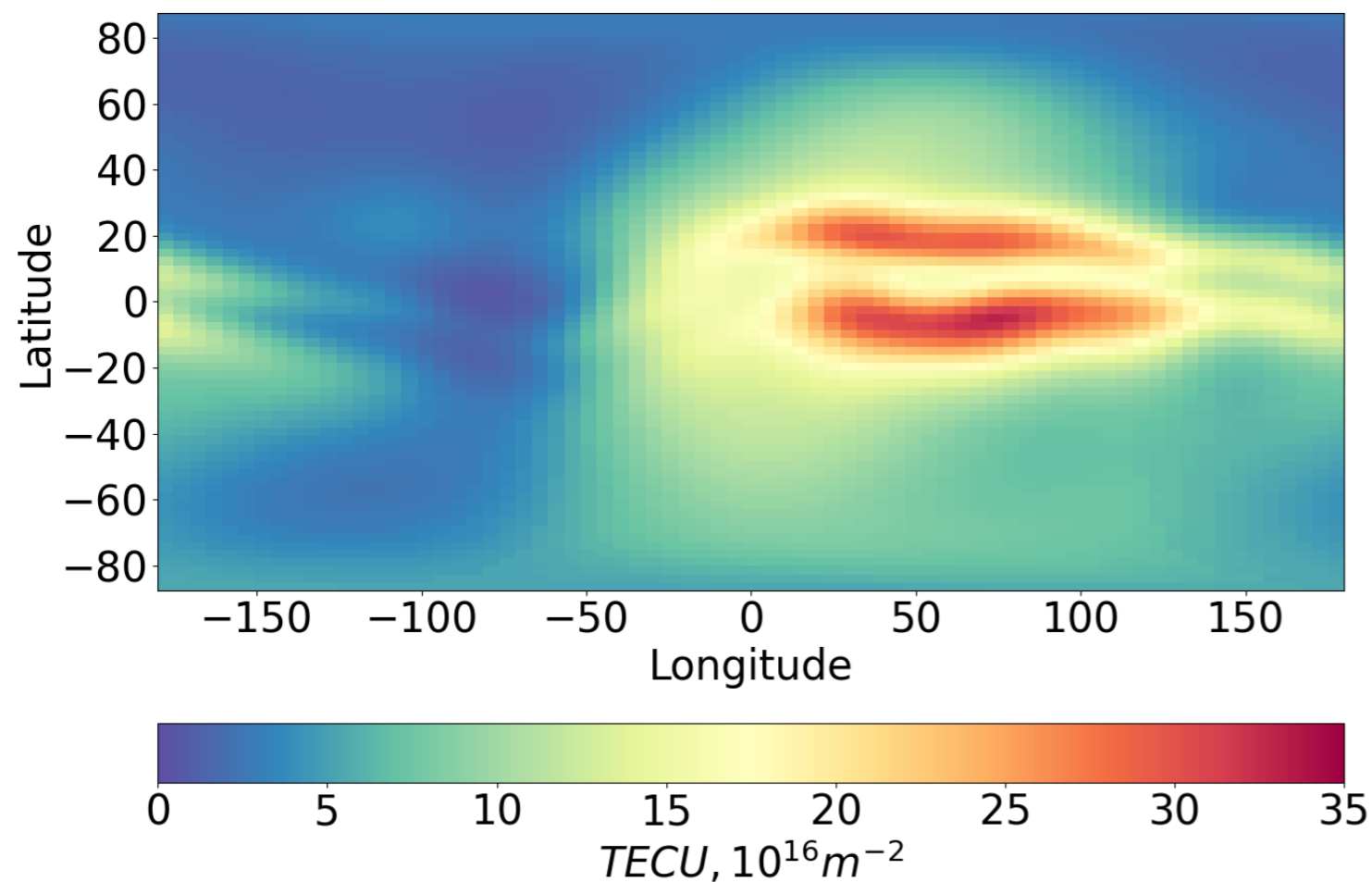
Математическая формула BDGIM:

$$I = \sum_{i=1}^9 \alpha_i A_i + \sum_{j=1}^{17} \beta_j B_j$$

$$A_i, B_i = N_{ni,mi} \cdot P_{|n_i|,|m_i|}(\sin\phi) \cdot \cos(m_i\lambda)$$

# UTEС тар Глобальная карта

28 февраля 2020, 10:00UT



# Модель NeQuick

- Спутники Galileo передают в своем навигационном сообщении 3 ионосферных коэффициента, которые используются для вычисления  $Az$ :

$$Az = a_0 + a_1\mu + a_2\mu^2 ;$$

$$\tan\mu = \frac{I}{\sqrt{\cos\phi}}$$

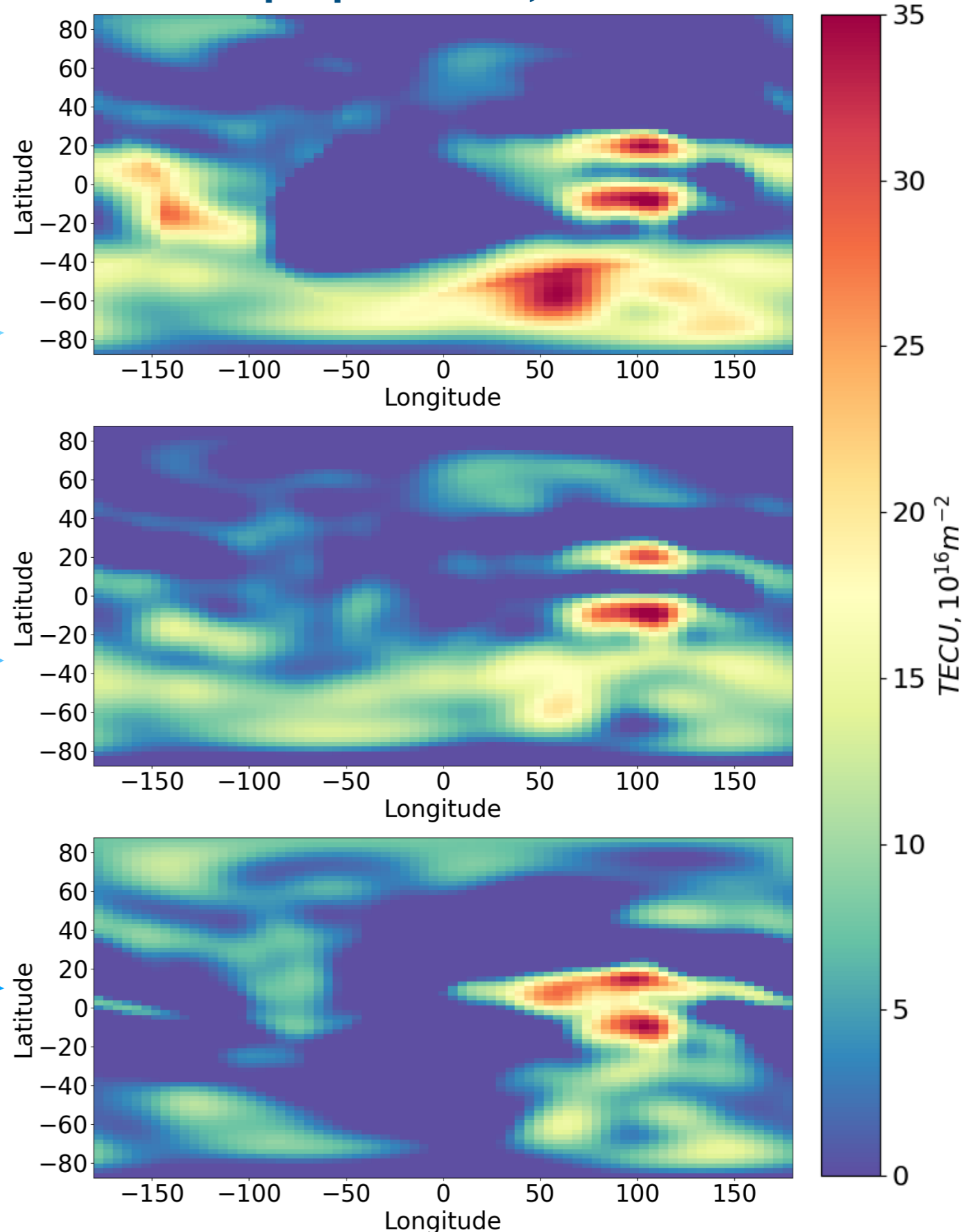
(где  $\mu$  - модифицированная широта падения)

# Сопоставление с глобальными ионосферными картами

- Klobuchar и IGS (CODG)
- BGGIM и IGS (CODG)
- NeQuick и IGS (CODG)

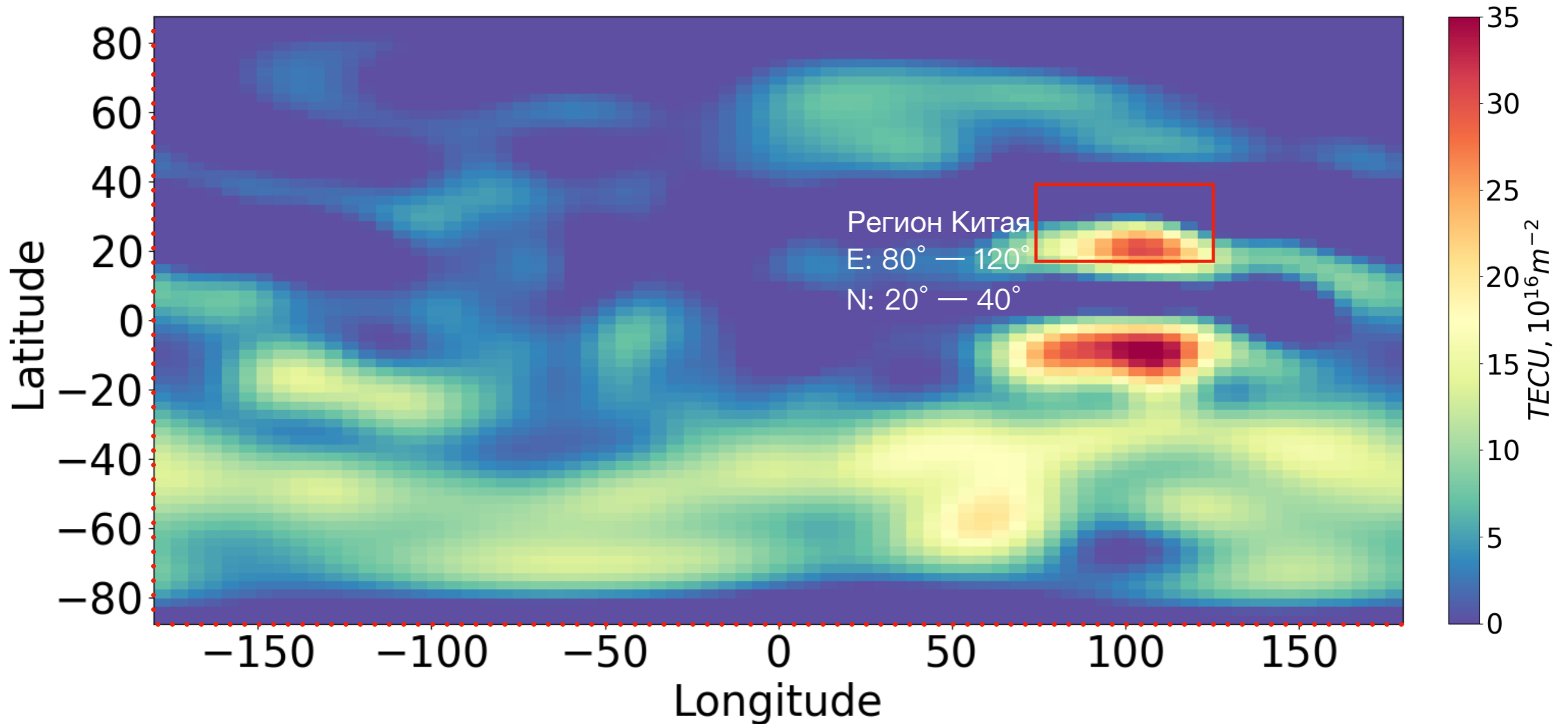
IGS (CODG):  
Глобальный центр определения орбиты

28 февраля 2015, 10:00UT



28 февраля 2015, 10:00UT

## Рассматриваемый регион



$$error(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (mod_i(t) - mes_i(t))^2}$$

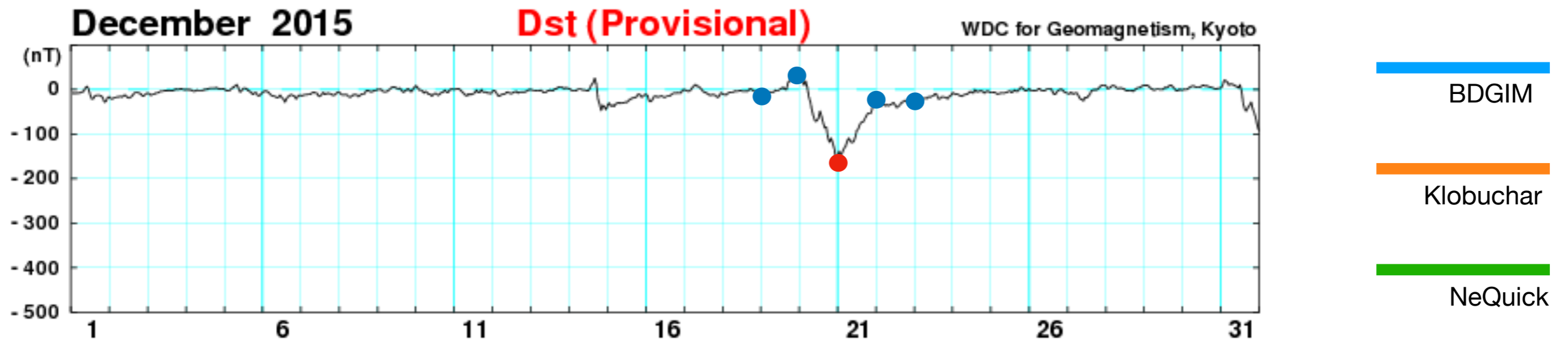
Где,

$mod - \begin{cases} BDGIM \\ Klobuchar \\ NeQuick \end{cases}$

$mes - CODG$

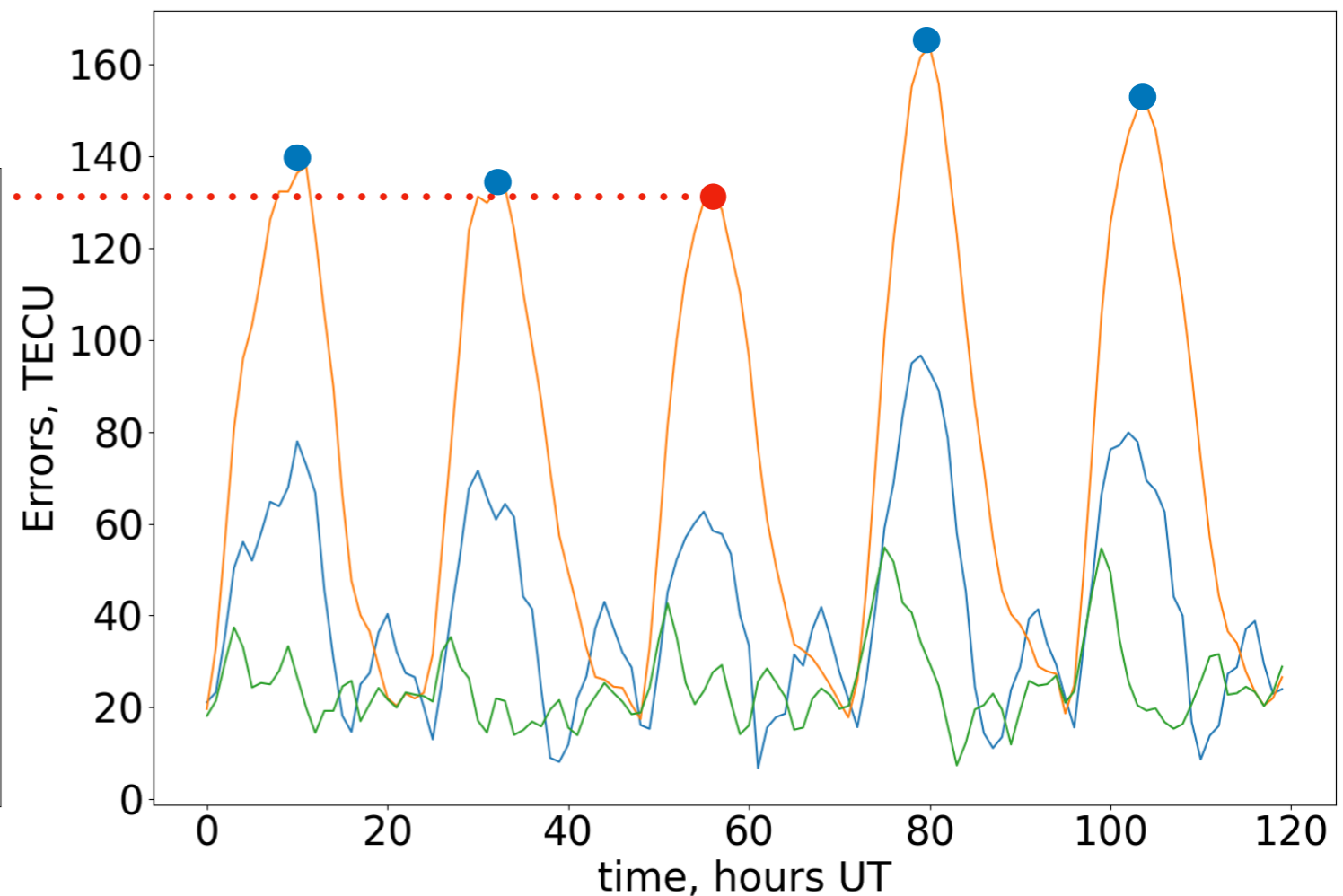
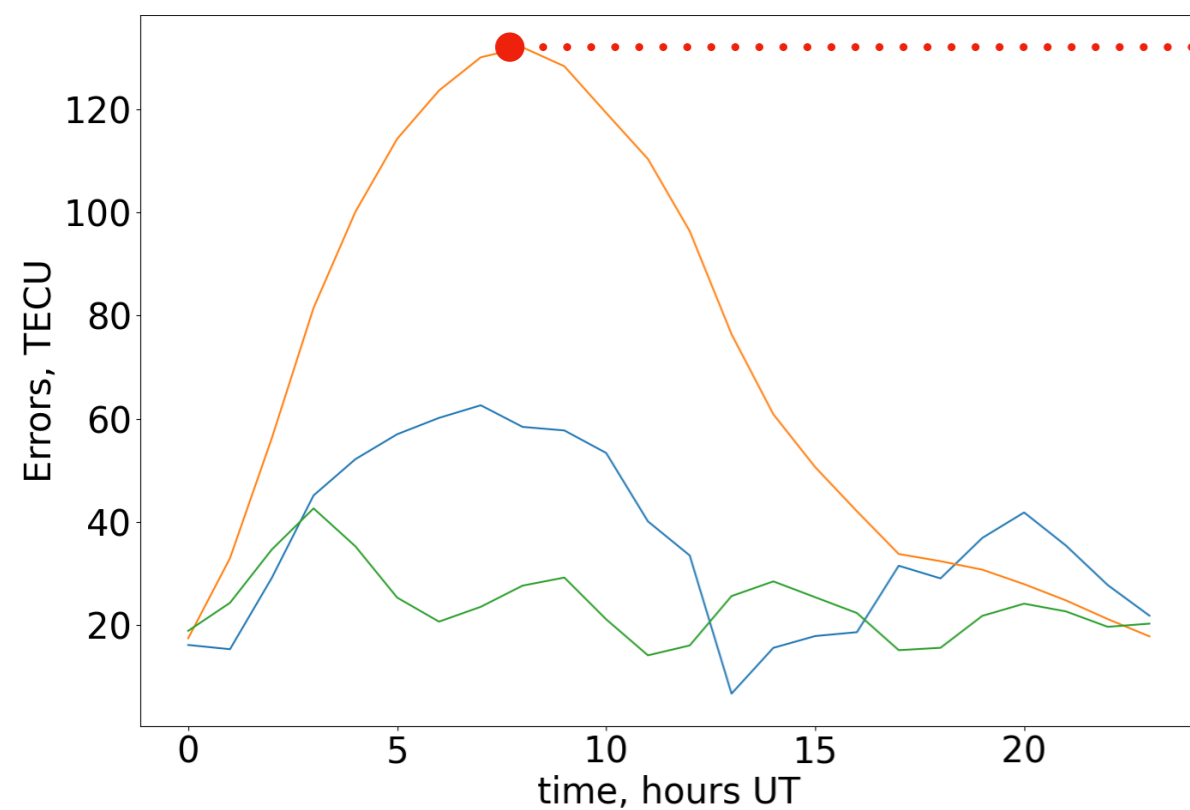


# Суточный ход ошибки (Регион Китая)



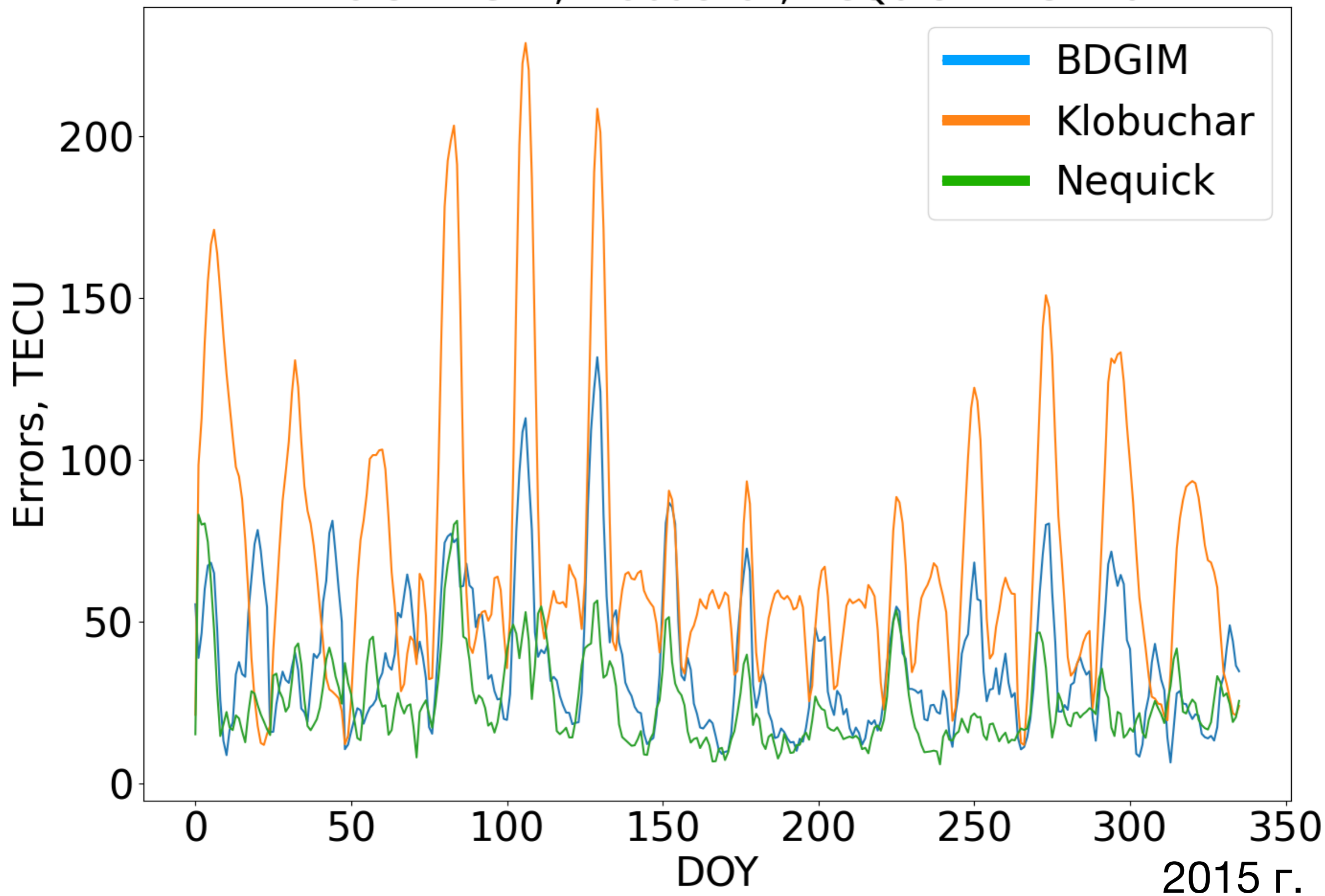
**Ошибка модели относительно CODG  
(Геомагнитная буря, 20.12.2015)**

**Ошибка модели относительно CODG  
(два дня до бури и два дня после бури)**

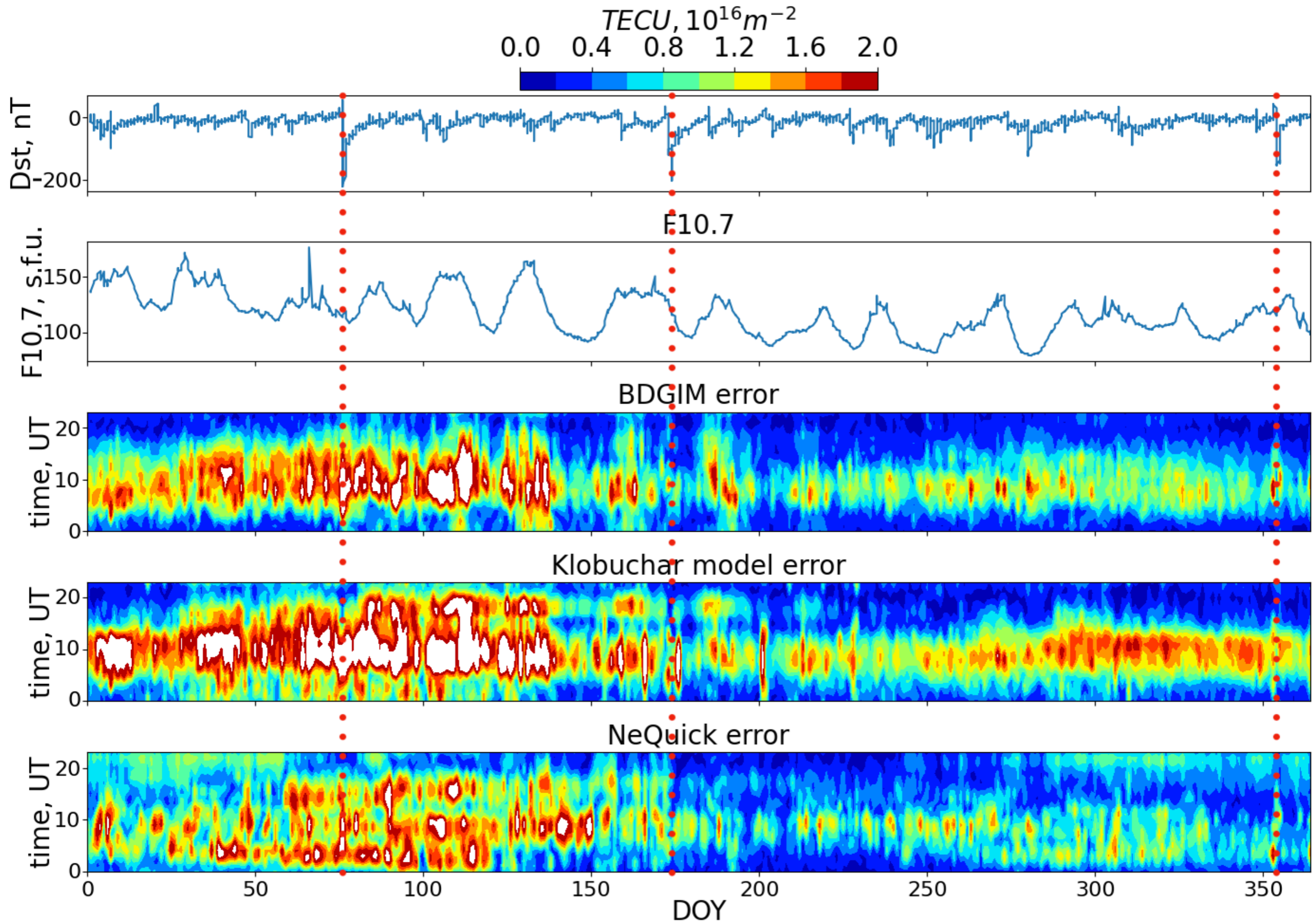


# Влияние солнечной активности на ошибку

Errors BDGIM, Klobuchar, NeQuick in China



# Сезонные изменения ошибки (Регион Китая 2015 г.)



# Ошибка (TECU)

**Модель**

**Регион Китая**

Klobuchar

0.97

BDGIM

0.74

NeQuick

0.75

# Выводы

- При сравнимом количестве вводимых коэффициентов и вычислительных затратах модель BDGIM описывает больше ионосферной изменчивости в средних широтах по сравнению с моделью Klobuchar.
- По сравнению с моделью NeQuick, модель BDGIM хуже описывает изменчивость ионосферы.
- Для всех моделей наблюдается суточный ход ошибки с основным максимумом в полуденные часы .
- Наблюдается сезонный ход ошибки с максимумом в периоды равноденствий .
- В вариациях ошибки наблюдаются периоды, соответствующие периоду вращения Солнца.
- В периоды бурь ошибки моделей возрастают .