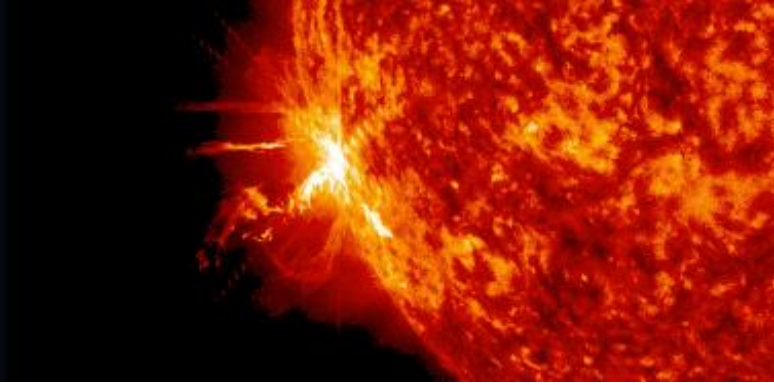
ИЗМИРАН
ПРОГНОЗ 2023



Исследования ионосферных эффектов бурь на основе модели ГСМ ТИП

Белюченко К.В.[1], Клименко М. В.[1,2], Клименко В. В.[2], Ратовский К. Г.[1]

[1]Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
[2]Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

Актуальность и Цель

• На практике существуют задачи радиосвязи, радиолокации для решения которых важно знать или уметь предсказать поведение параметров системы термосфера – ионосфера.
• К настоящему моменту существует проблема в прогнозе положительных ионосферных возмущений на главной фазе геомагнитных бурь.
• Ионосферные возмущения на фазе восстановления, эффекты последействия, UT-эффект и долготная зависимость ионосферных бурь также остаются открытыми вопросами.

Целью данной работы является:

1. **Изучение связи между возмущениями параметров системы термосфера - ионосфера, полученных по результатам модели верхней атмосферы во время геомагнитной бури.**

2. **Изучение зависимости ионосферных возмущений от времени начала геомагнитной бури по UT на разных фазах геомагнитной бури.**

Краткое описание модели 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^+, Mol^+;
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.

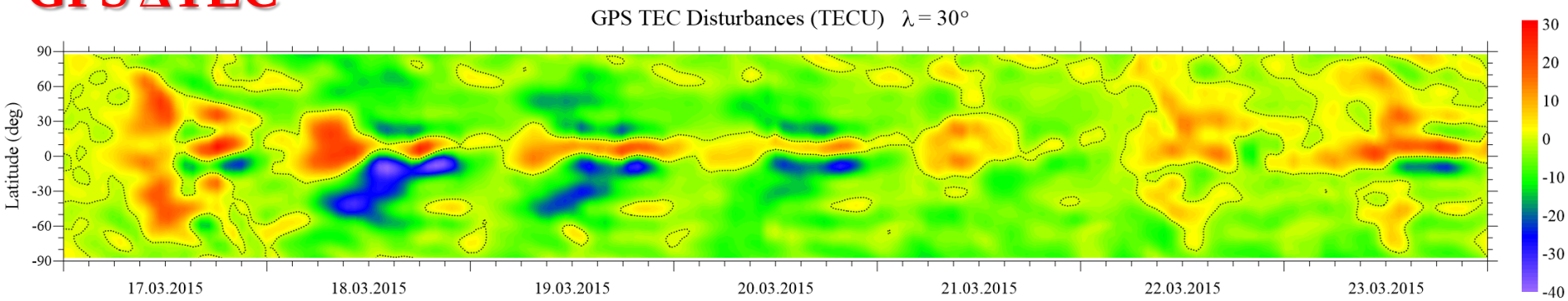
Глобальная Самосогласованная Модель Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), разработанная в ЗО ИЗМИРАН. Модель ГСМ ТИП детально описана

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

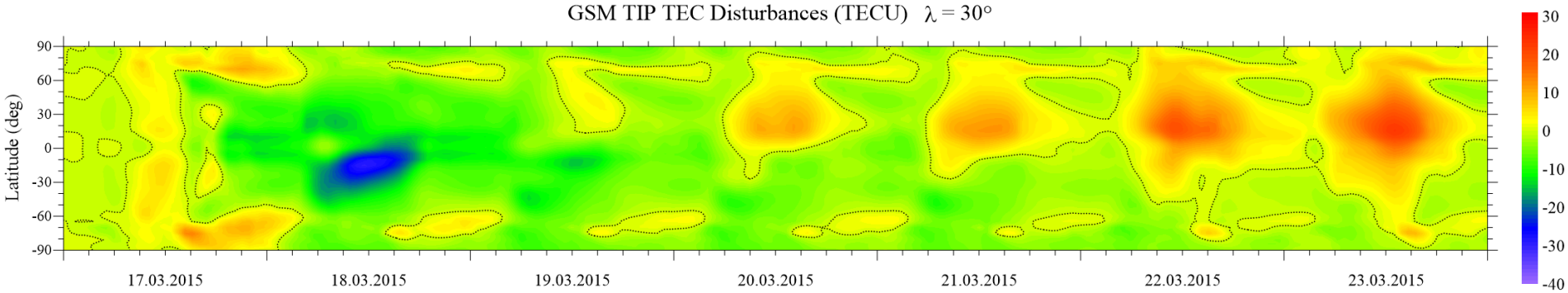
Буревой и послебуревой ионосферный отклик

Klimenko et al., 2018 JASTP

GPS ΔTEC



model ΔTEC



Входные параметры модели ГСМ ТИП

Cross-polar cap potential

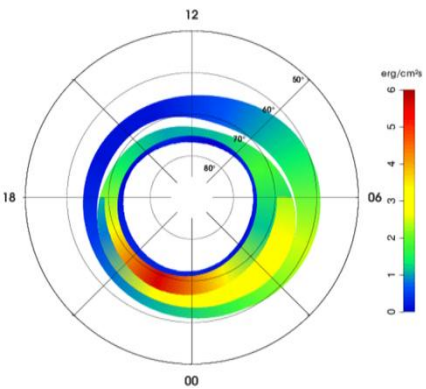
$\Delta\Phi$ (кV) = 38 + 0.089 × *AE*

Feschenko, Maltsev (2003)

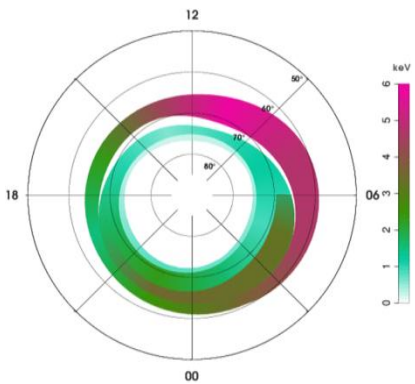
Energy and energy flux of auroral electrons

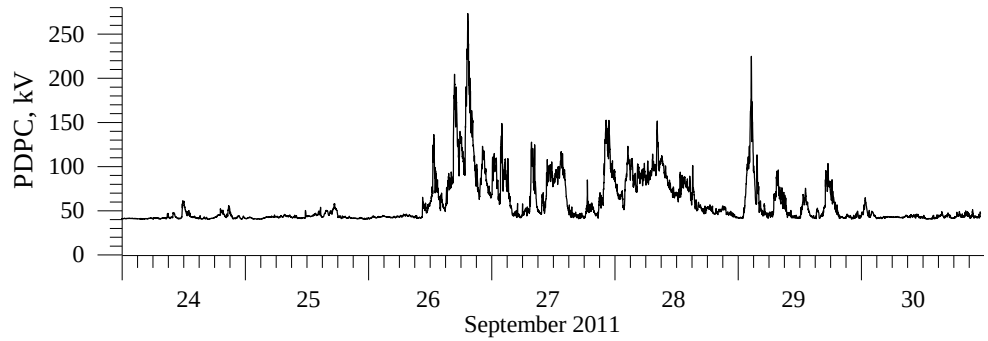
Input parameter : AL index

Energy Flux (erg/cm²)



Energy (keV)





Region 2 field-aligned currents (R2 FAC)

Latitudinal displacement of R2 FAC

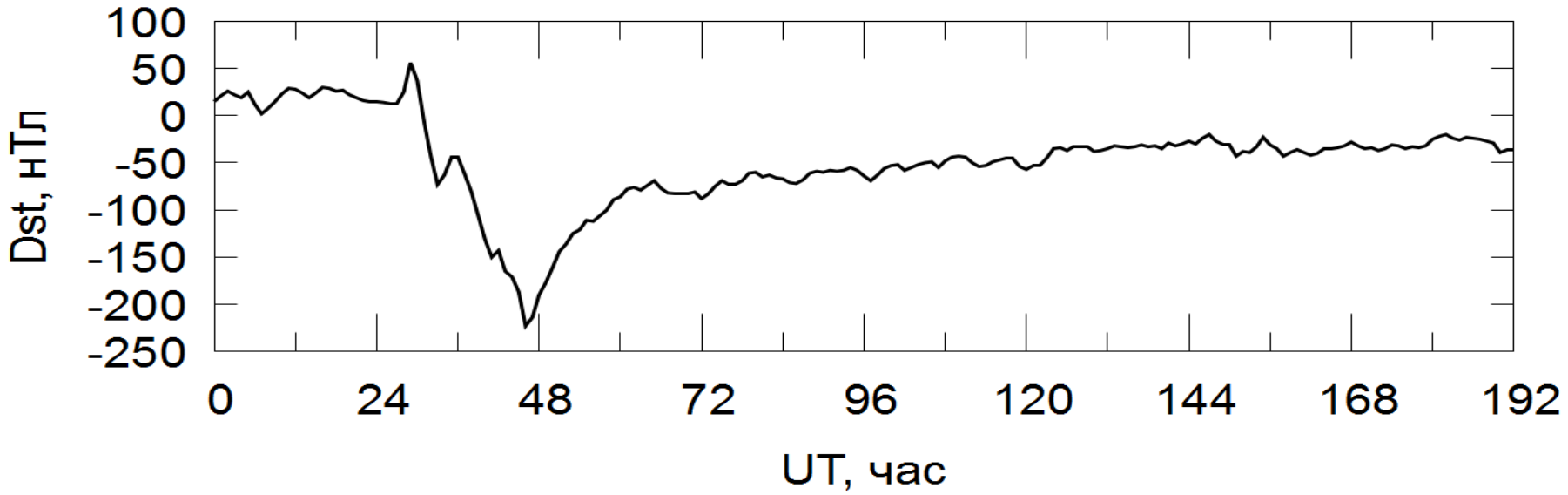
Empirical model

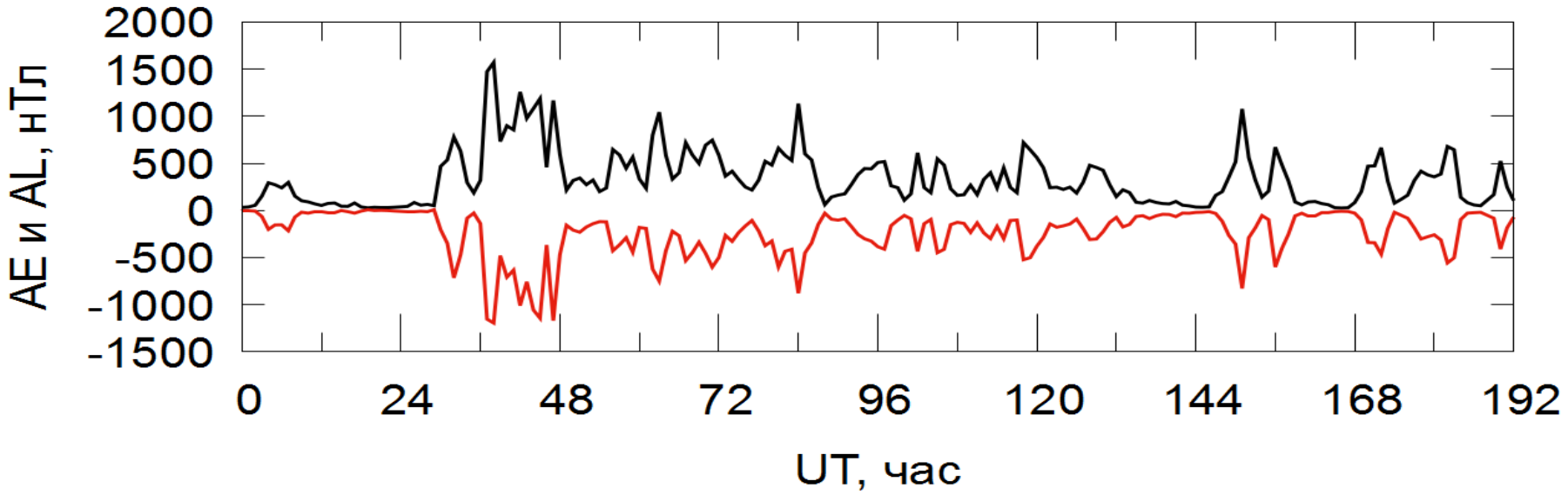
Vorobyov and Yagodkina (2005, 2008)

Sojka, J.J., R.W. Schunk, and W.F. Denig (1994)

±65° для $\Delta\Phi \leq 40$ кВ;
±60° для 40 кВ < $\Delta\Phi \leq 50$ кВ;
±55° для 50 кВ < $\Delta\Phi \leq 88.5$ кВ;
±50° для 88.5 кВ < $\Delta\Phi \leq 127$ кВ;
±45° для 127 кВ < $\Delta\Phi \leq 165.4$ кВ;
±40° для 165.4 кВ < $\Delta\Phi \leq 200$ кВ;
±35° для 200 кВ < $\Delta\Phi$

Индексы геомагнитной активности





Корреляционный анализ

В данной работе для выявления возможной связи между параметрами системы термосфера-ионосфера нами был использован корреляционный анализ с использованием формулы Пирсона, которая характеризует наличие линейной зависимости между двумя величинами.

$$R_{x,y}(\mathrm{UT},\Theta) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i(\mathrm{UT},\Theta) - \overline{x(\mathrm{UT},\Theta)})(y_i(\mathrm{UT}) - \overline{y(\mathrm{UT})})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i(\mathrm{UT},\Theta) - \overline{x(\mathrm{UT},\Theta)})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i(\mathrm{UT}) - \overline{y(\mathrm{UT})})^2}}$$

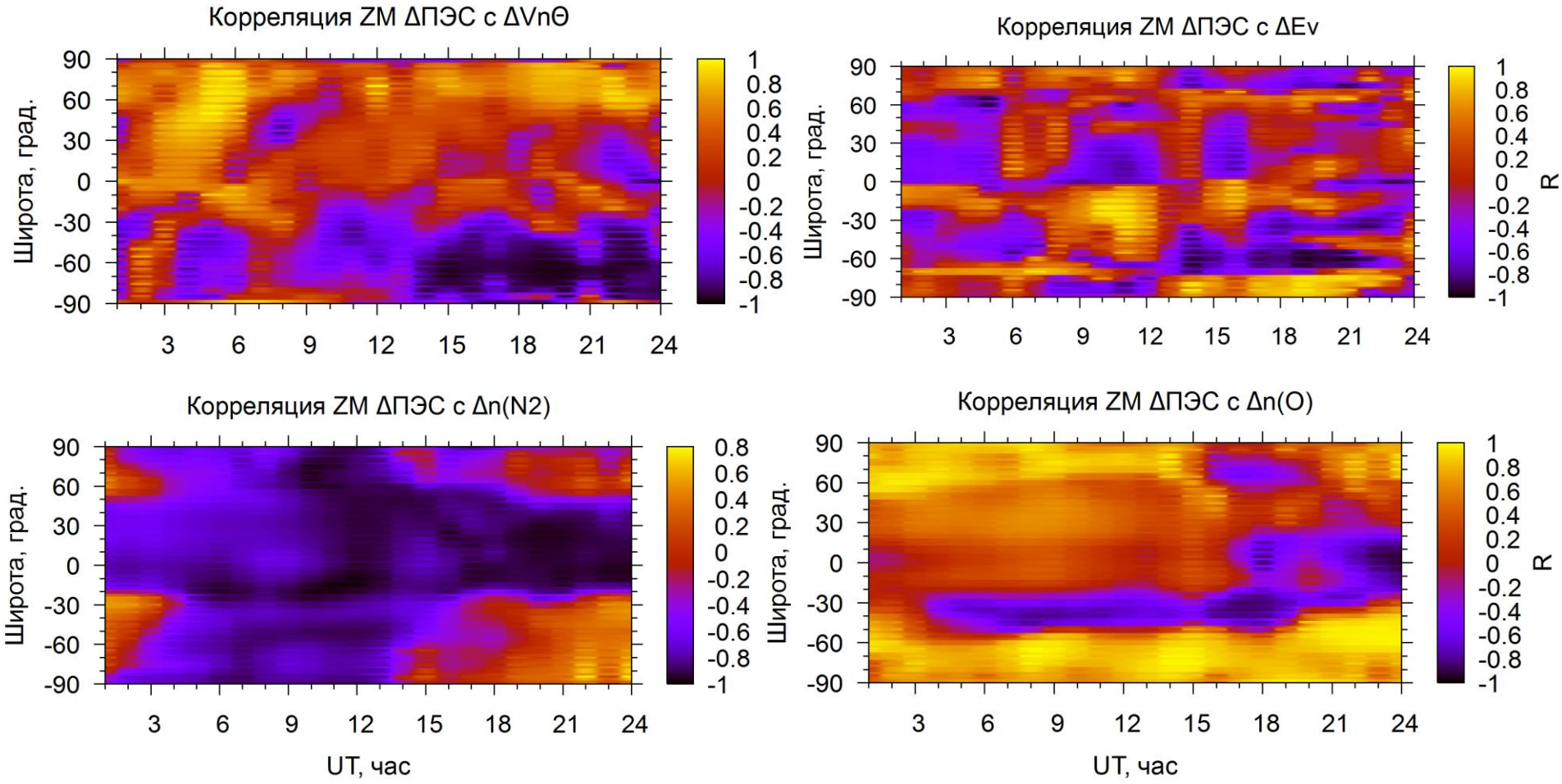
y_i(UT,Θ):

- AE
- AL
- DST

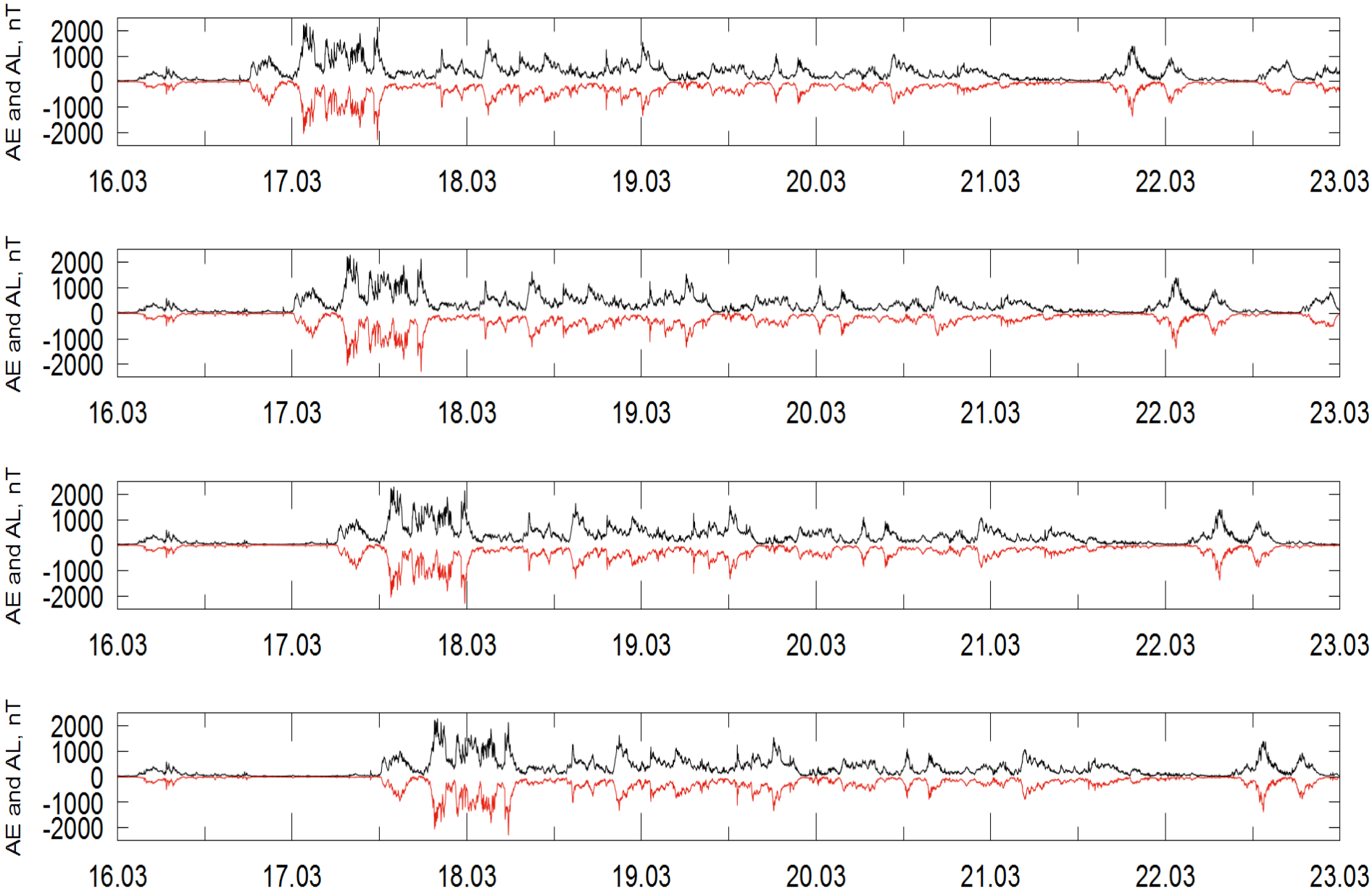
x_i(UT,Θ):

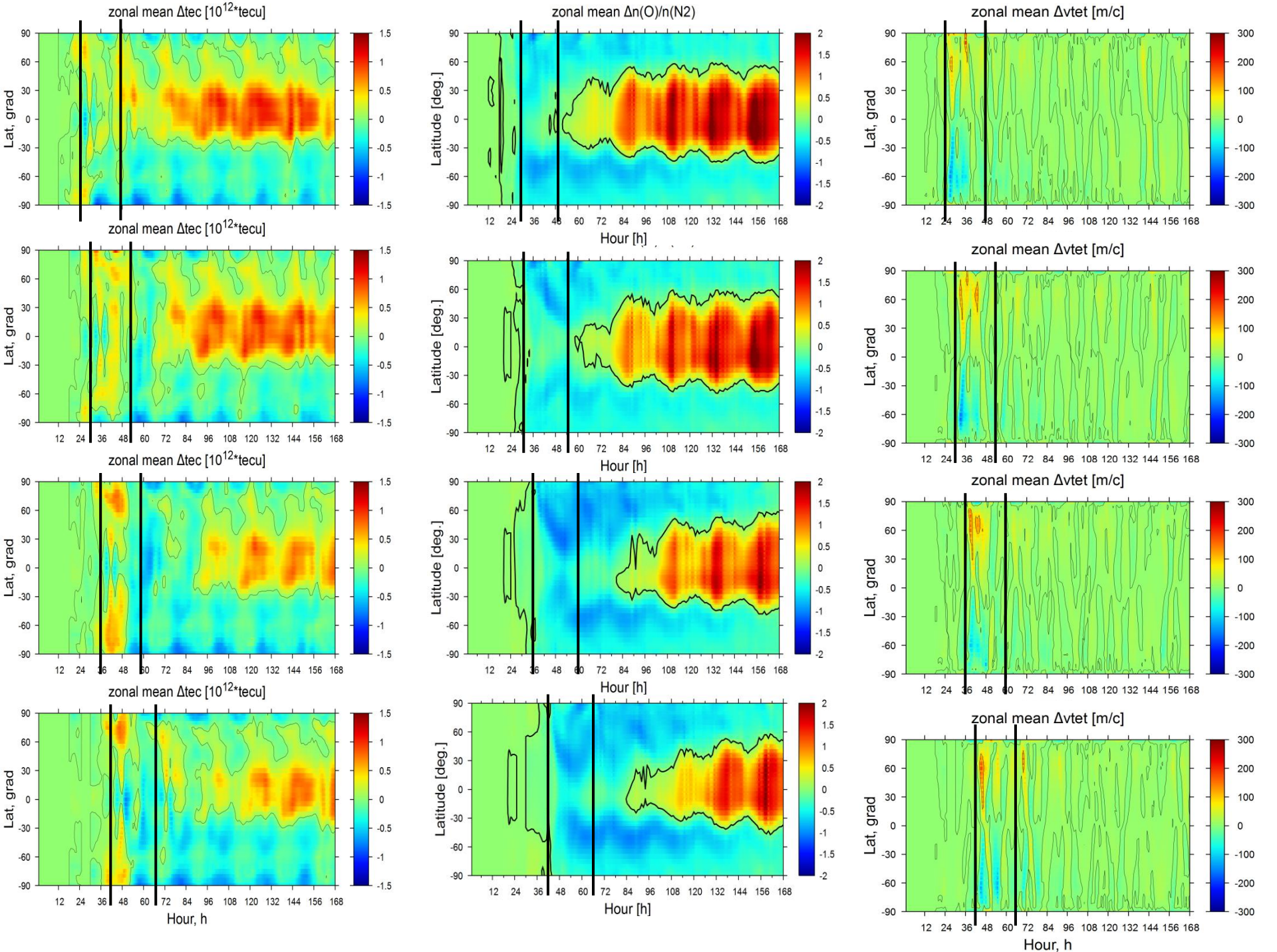
- ΔTEC
- Δn(N2) на 300 км.
- Δn(O) на 300 км.
- ΔEзон на 300 км.
- ΔVtet на 300 км.
- ΔTe на 1000 км.

Корреляция зонально усредненных возмущений ПЭС с возмущениями n(N2), n(O), меридиональной компоненты термосферного ветра и зонального электрического поля на высотах F области ионосферы

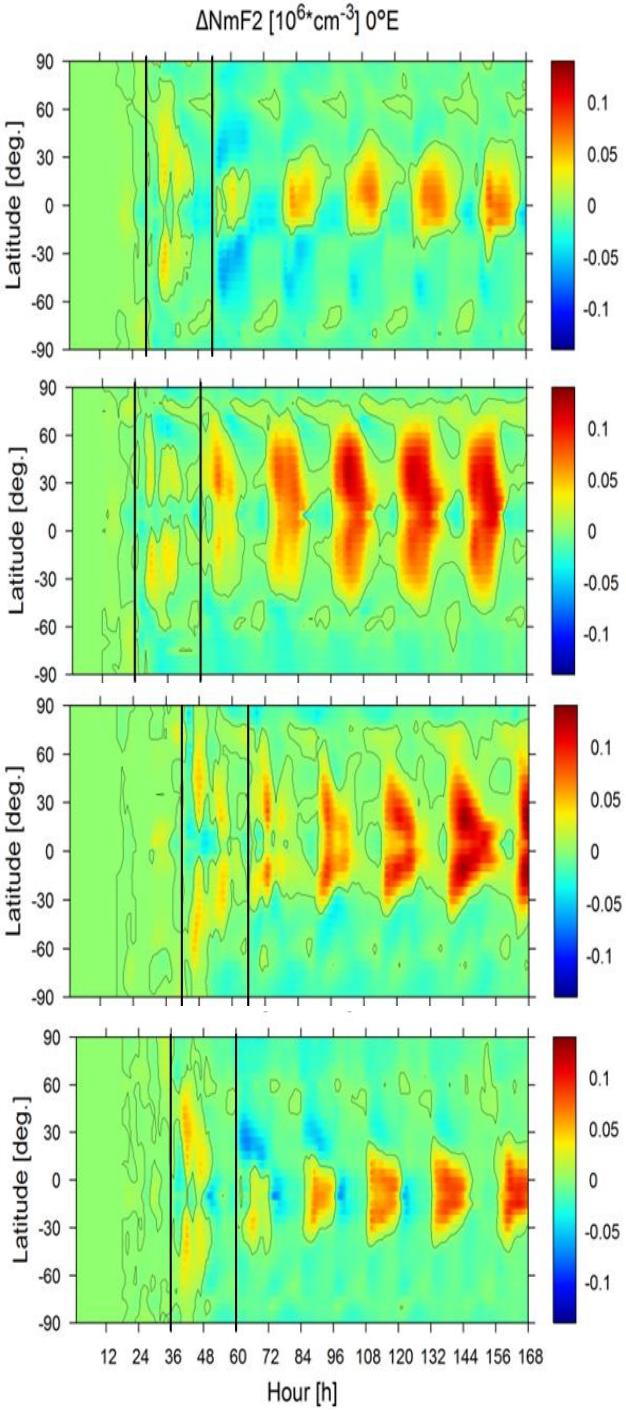


Входные параметры для моделирования бурь с различными моментами начала по UT




zonal mean Δtec [10^12*tecu]
zonal mean Δn(O)/n(N2)
zonal mean Δvtet [m/c]
Lat, grad
Latitude [deg.]
Hour [h]
Hour, h

Время начала 06 LT

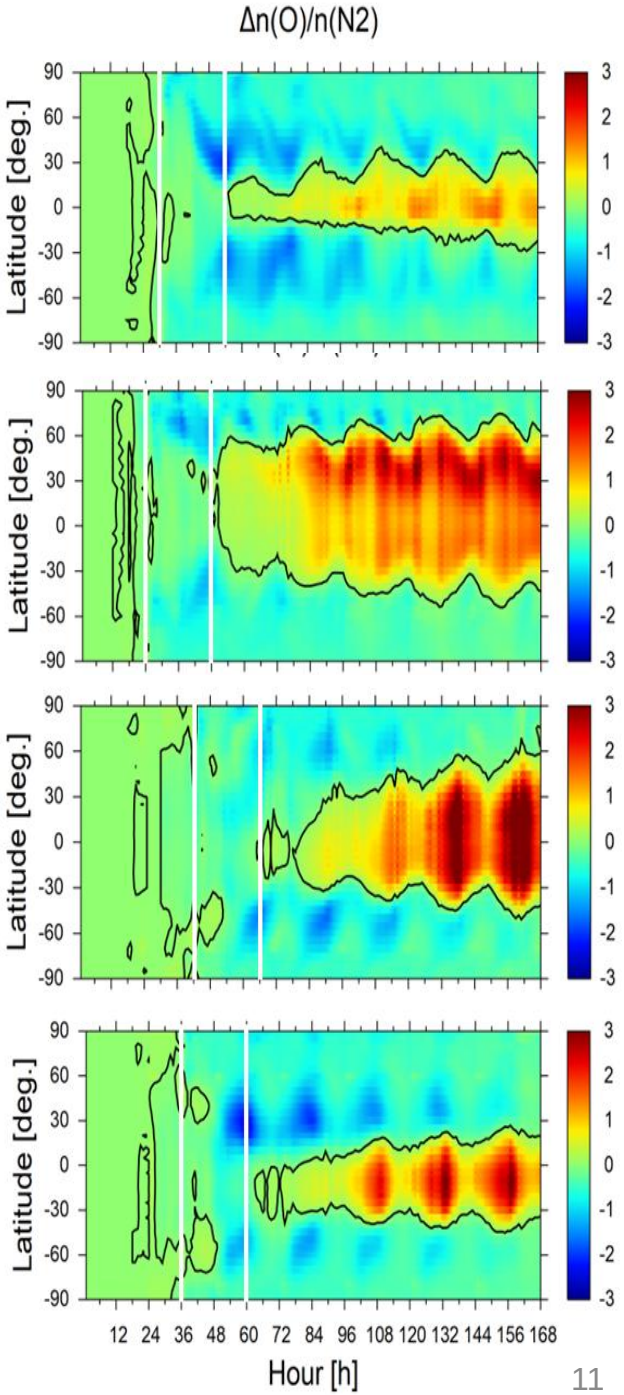


00°в.д. – Европейский сектор

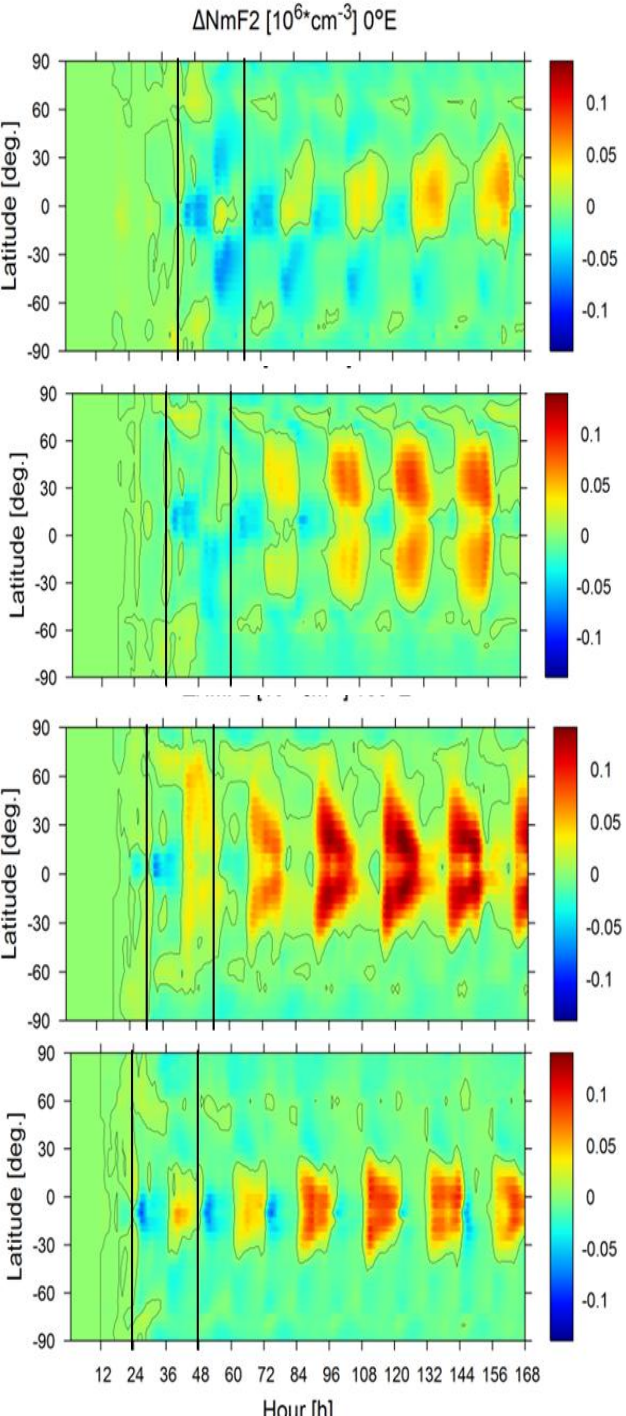
90°в.д. – Азиатский сектор

180°з.д. – Тихоокеанский сектор

90°з.д. – Американский сектор



Время начала 18 LT

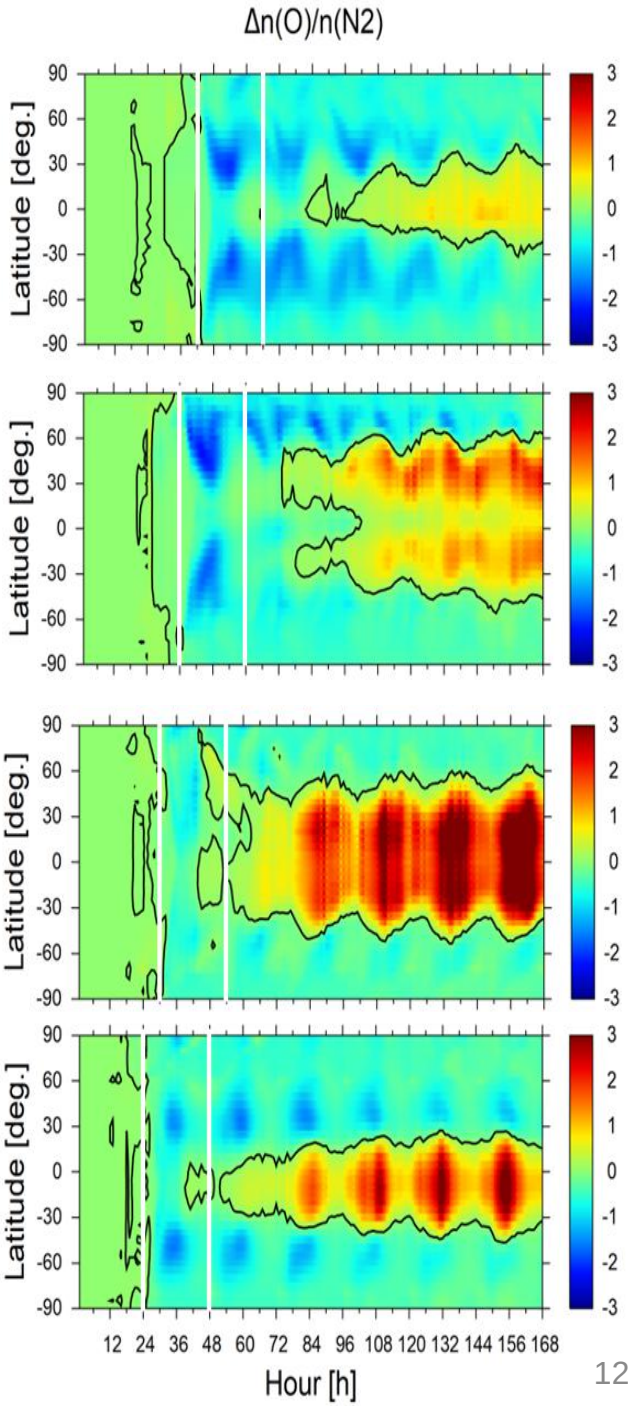


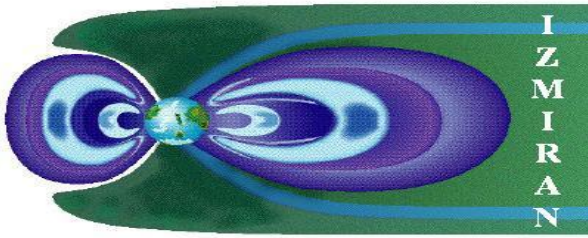
00°в.д. – Европейский сектор

90°в.д. – Азиатский сектор

180°з.д. – Тихоокеанский сектор

90°з.д. – Американский сектор

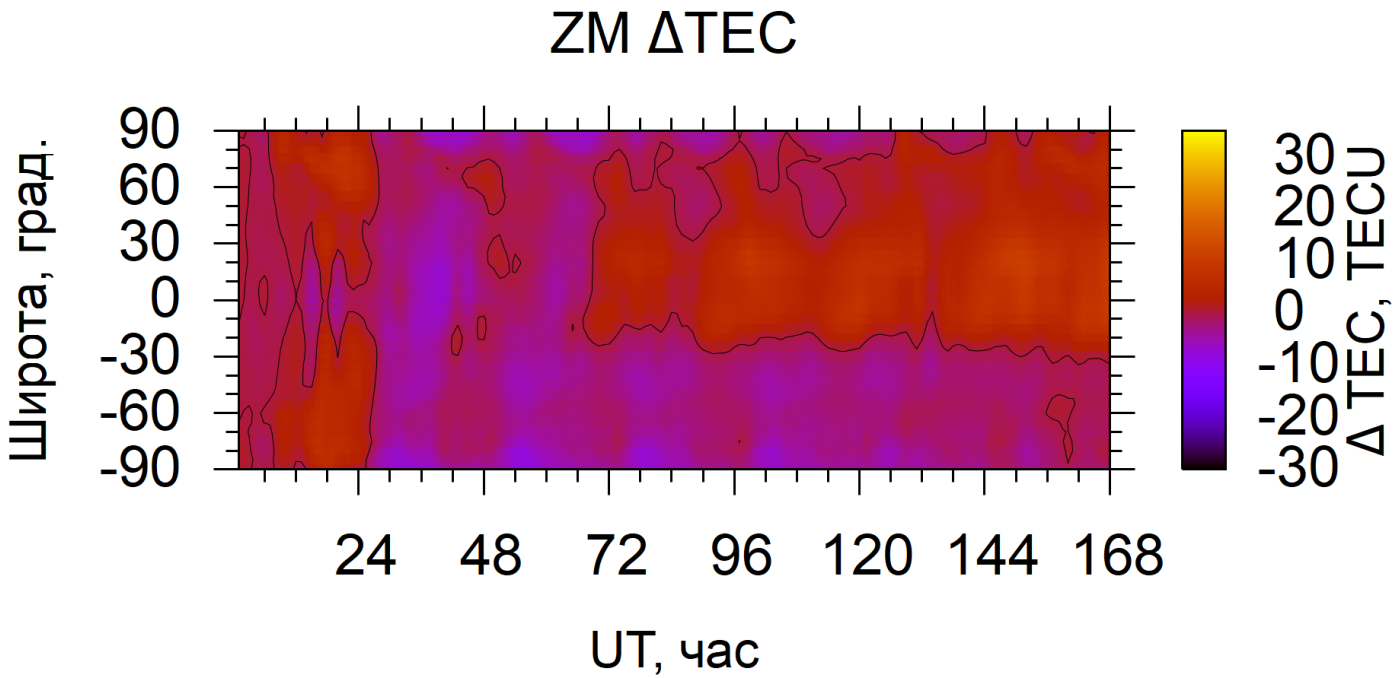


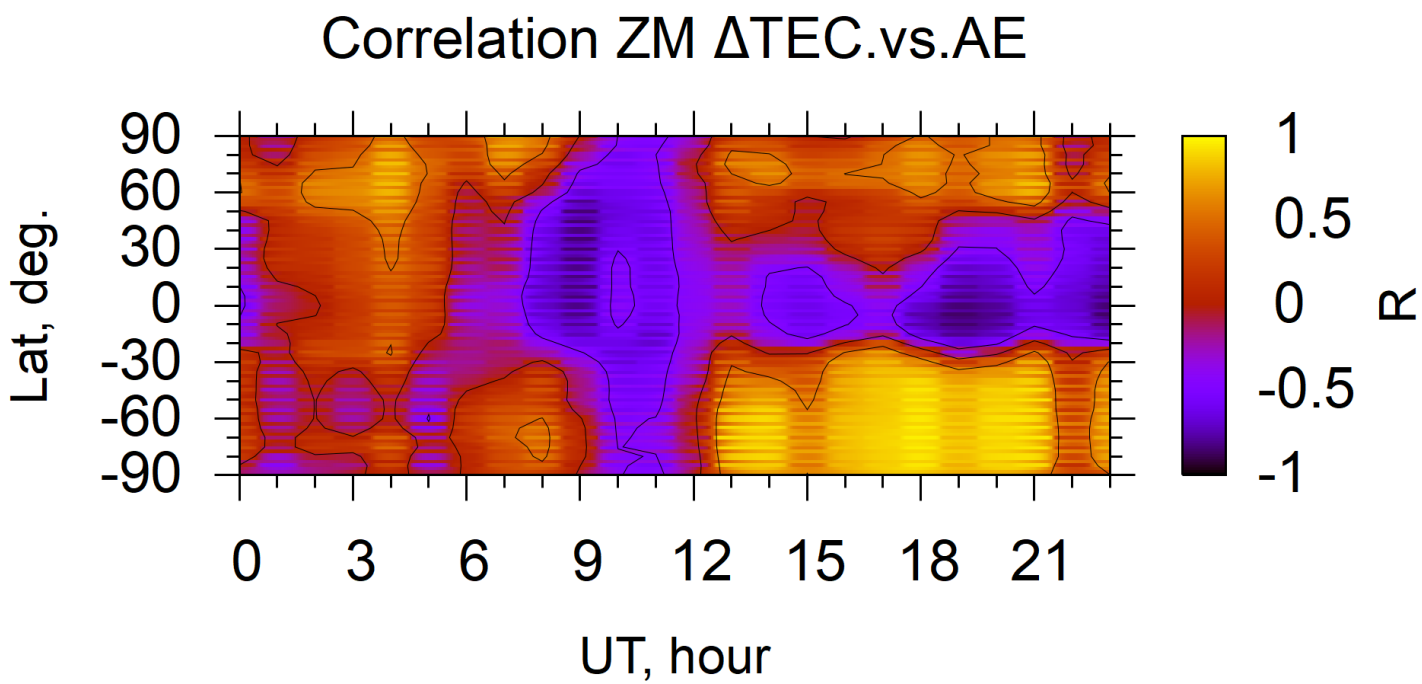


Заключение

1. Изучена связь между возмущениями параметров системы термосфера—ионосфера и возмущениями ПЭС.
2. Изучена зависимость ионосферных возмущений от времени начала геомагнитной бури по UT. Положительные возмущения ПЭС на главной фазе бури, в субавроральных и средних широтах, объясняются дополнительным ветром к экватору, эффектам которого противодействуют возмущения O/N2.
3. Возмущения на фазе восстановления связаны в основном с возмущениями в O/N2. Они проявляются для всех бурь с различными моментами начала. Время начала формирования эффектов последействия зависит от времени начала геомагнитной бури.

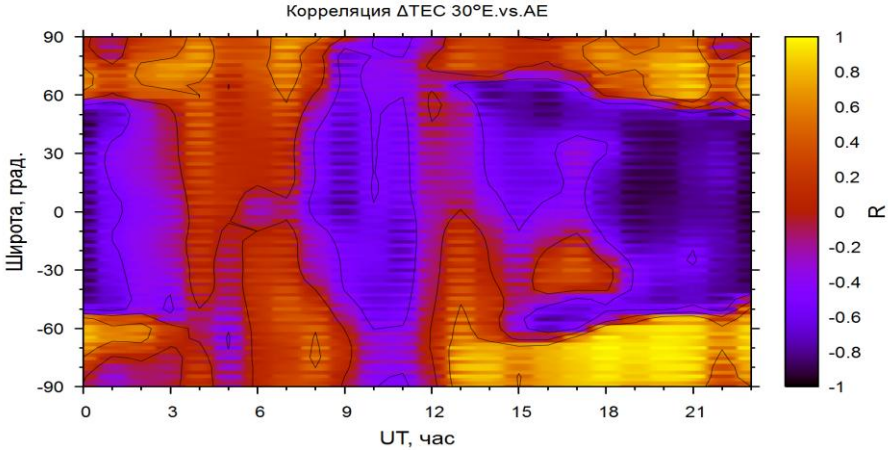
Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-27-00213

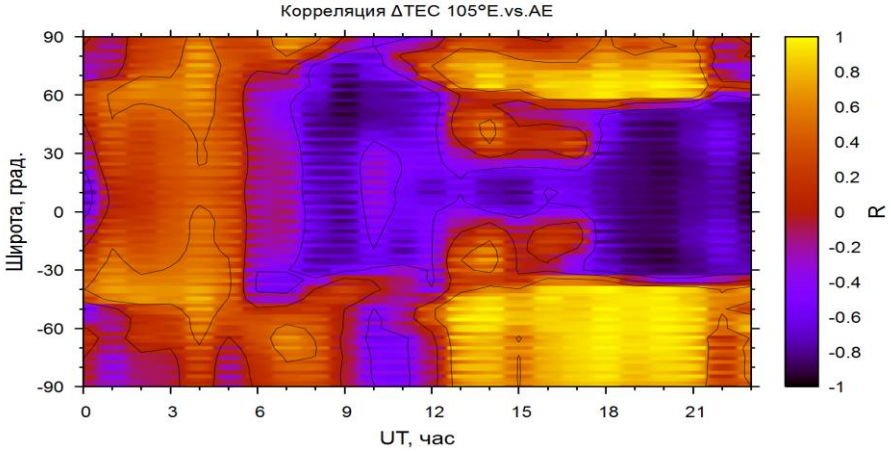


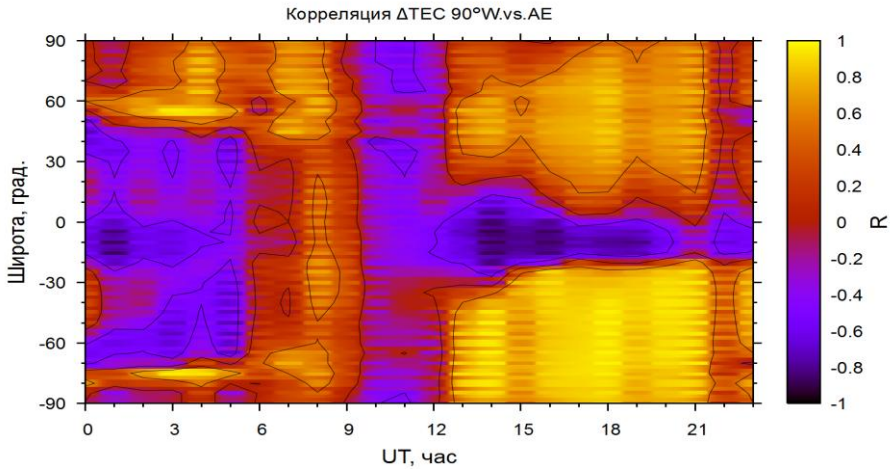


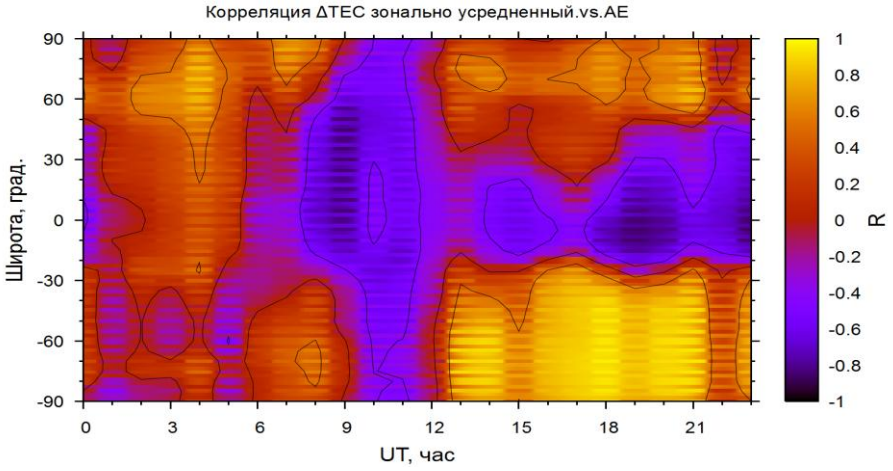
Карты Широта-Время для зонально усредненных возмущений TEC и корреляции TEC с AE

Корреляция AE индекса с возмущениями TEC на разных долготах

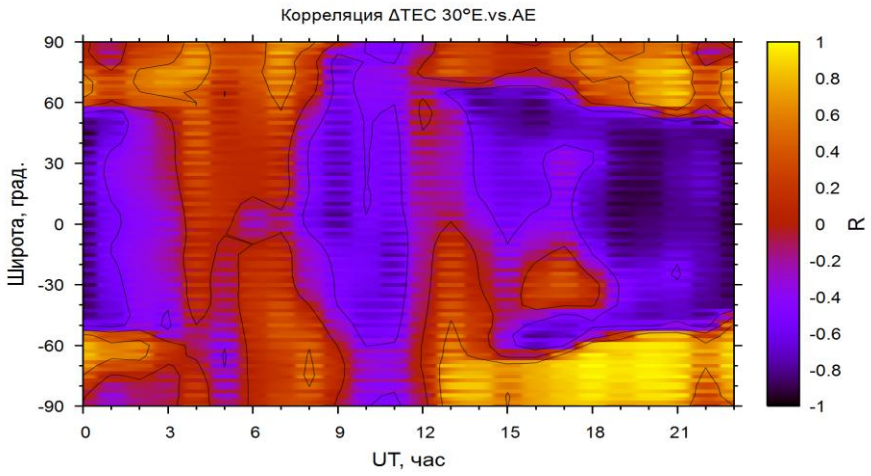


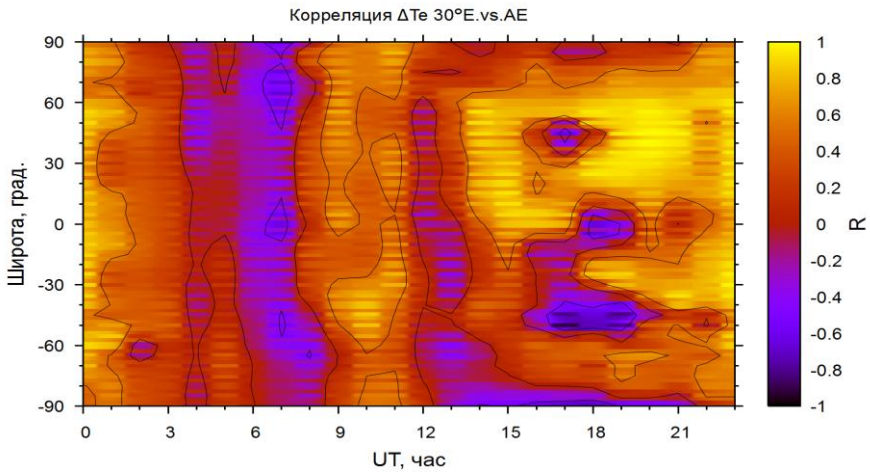


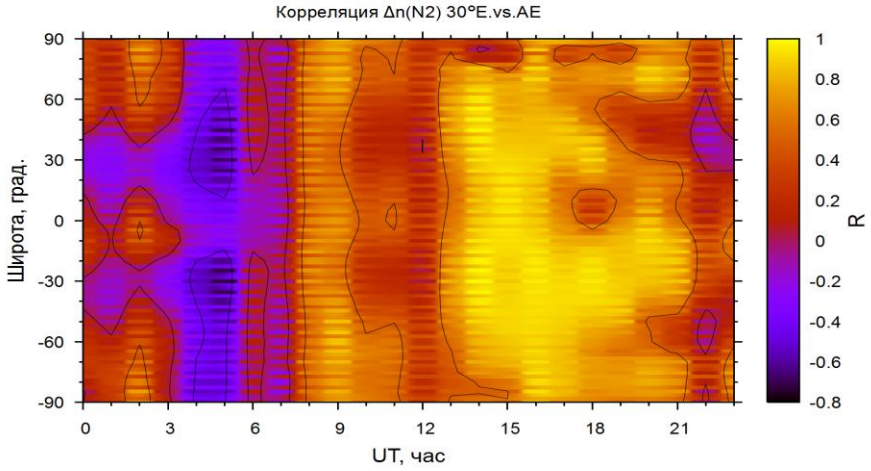


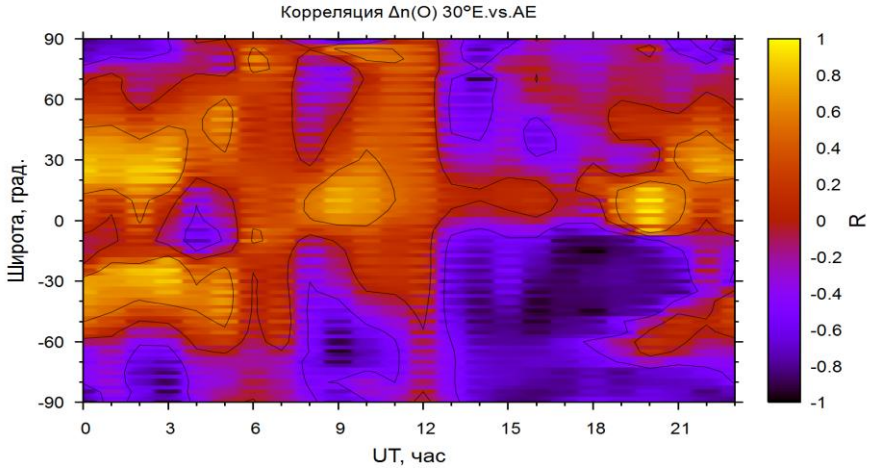


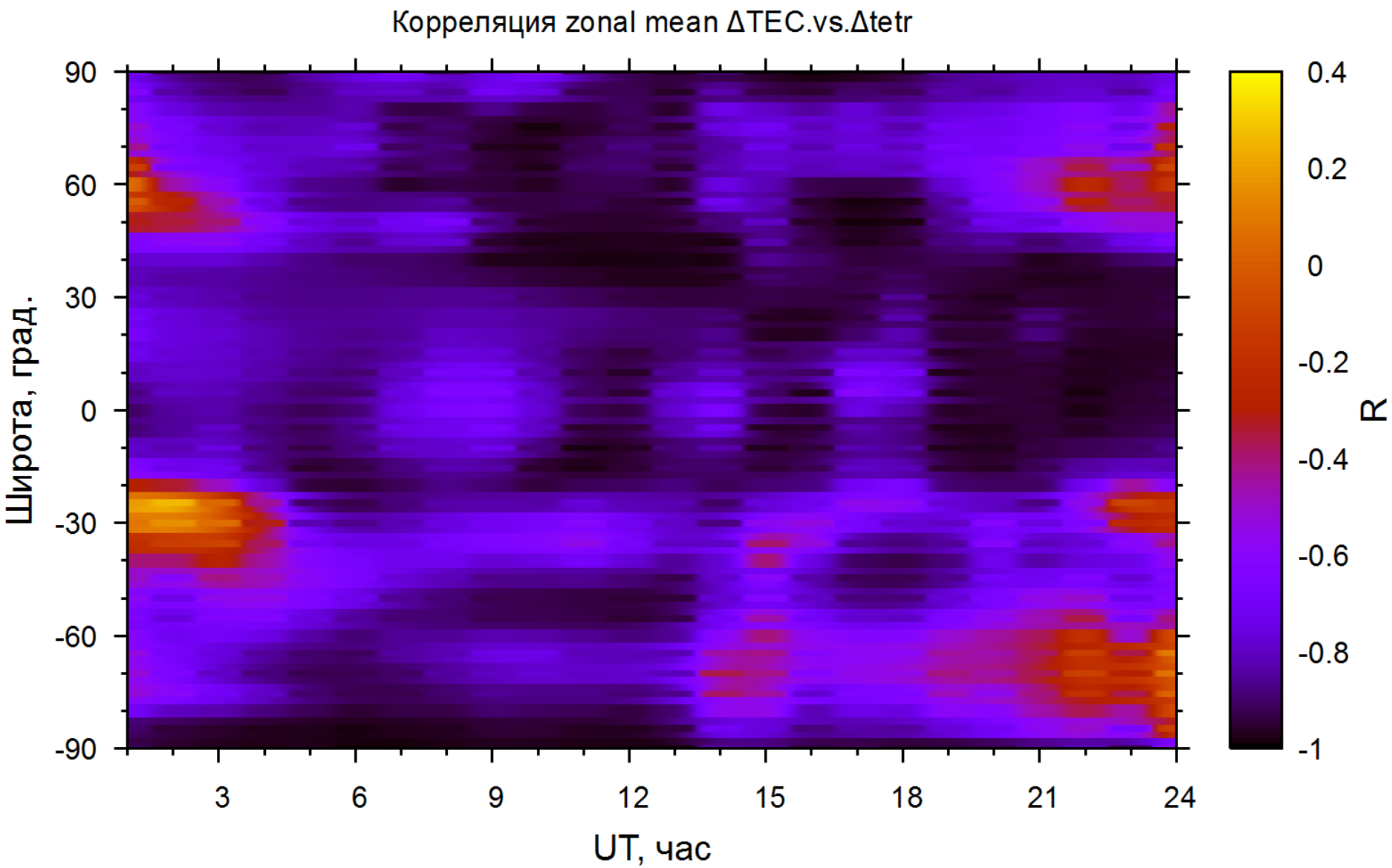
Корреляция AE индекса с возмущениями TEC, Te, n(N2), n(O) на долготе 30°E










Корреляция zonal mean ΔTEC.vs.Δtetr
Широта, град.
90
60
30
0
-30
-60
-90
3
6
9
12
15
18
21
24
UT, час
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
R