

# **Возможности исследования естественных и искусственных ионосферных неоднородностей с помощью одиночных GNSS- приёмников**

Васильев А. Е. (1),  
Куницын В. Е. (2), Падохин А. М. (2)

1. ФГБУ «ИПГ»,
2. МГУ имени М. В. Ломоносова, Физический факультет

# Глобальные системы и одиночные приёмники

- GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, COMPASS/Beidou
- Геофизические сети и ионосферные исследования, томография
- Относительность TEC – и фазовых и групповых по измерениям одиночных приёмников
- Вспомогательные геостационарные спутники SBAS (WAAS, EGNOS, MSAT, GAGAN для передачи карт) позволяют проводить и аналогичные измерения:

$$TEC_{L_1} + const_{L_1} = 0.5 \frac{f_1^2}{40.308} (P_1 - L_1 \lambda_1)$$

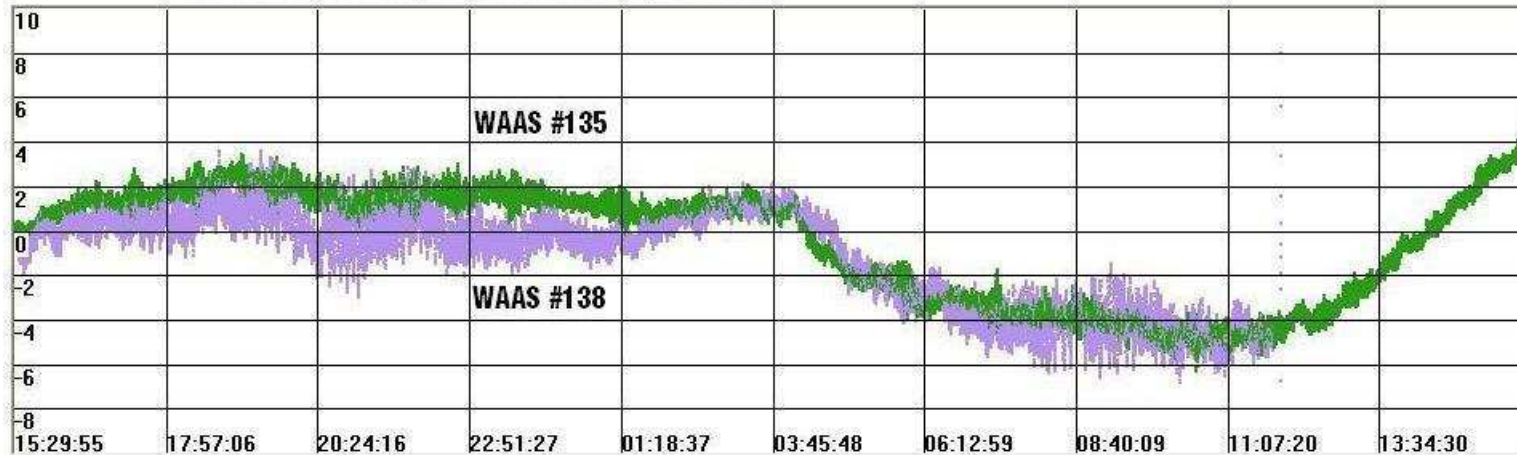
## *Экспериментальные средства*

- Приёмник Javad (с «опцией» WAAS/EGNOS)
- ПК (настройка приёмника, сохранение данных измерений)
- Фирменное ПО сбора данных (PCview, TriVU)
- Собственное ПО анализа двоичных файлов, вычислений и представления результатов (JPS Reader)

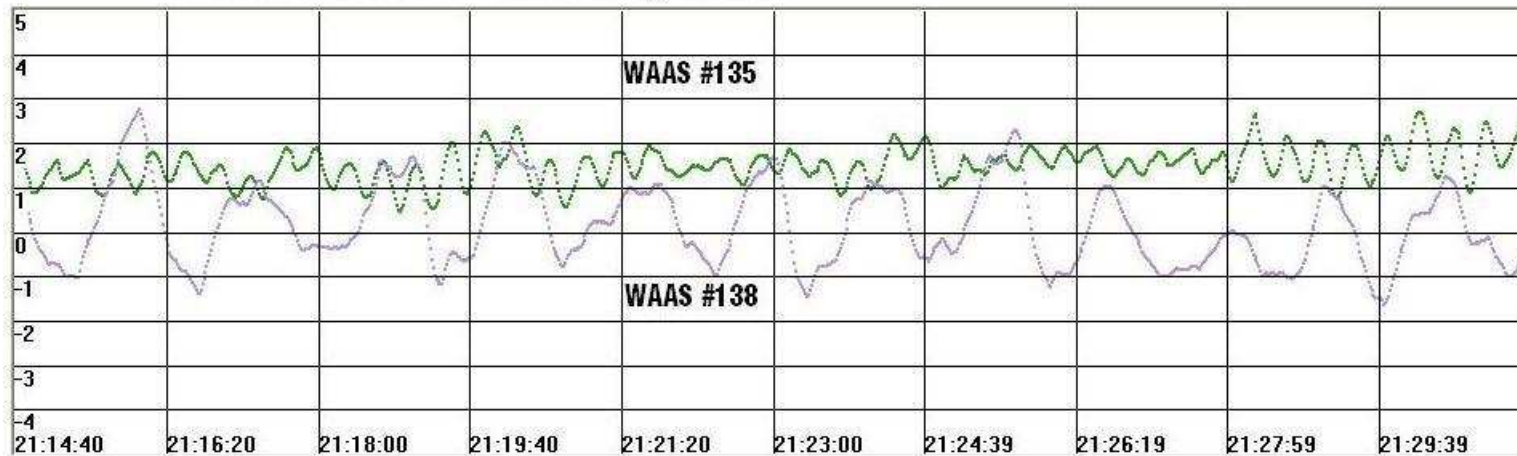


# Измерения в штаб-квартире Javad (США, Калифорния)

L1 and L5 relative Phase TEC, TECU

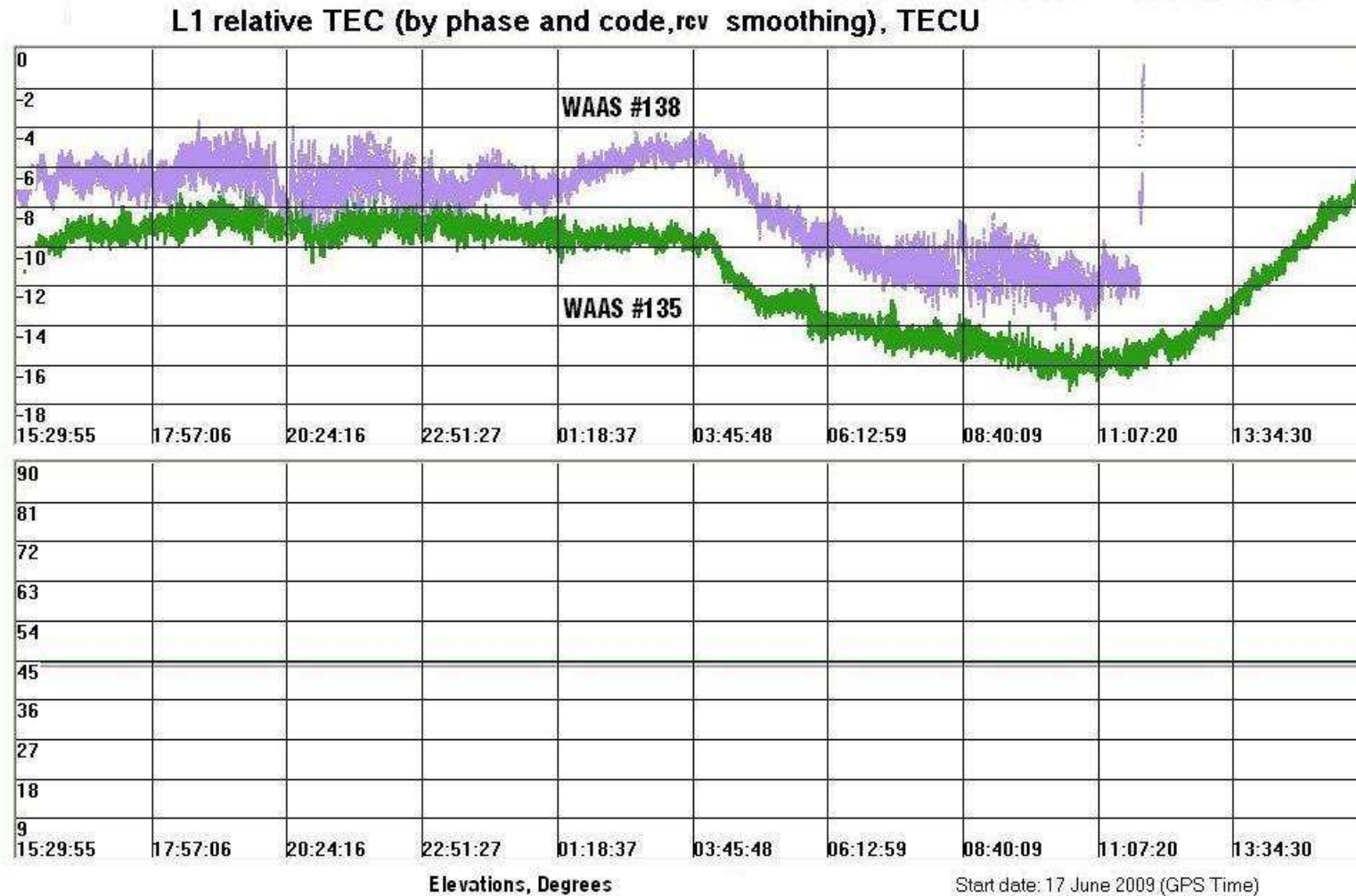


L1 and L5 relative Phase TEC, TECU



Приёмник Javad Triumph1, 17 июня 2009, время мировое

# Измерения в штаб-квартире Javad (США, Калифорния)



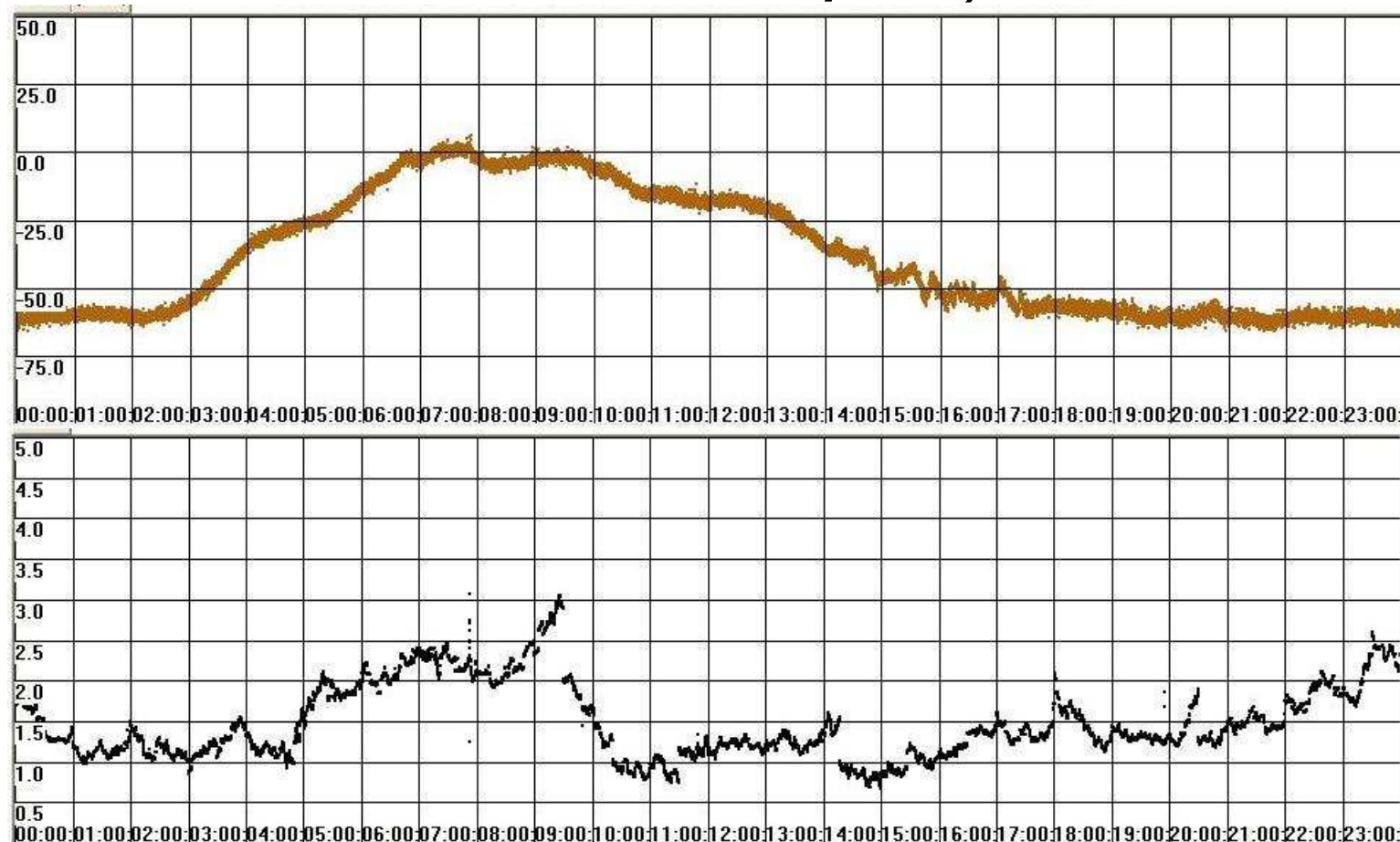
Приёмник Javad Triumph1, время мировое

# *Измерения по сети ИПГ (пункт «Чебоксары»)*



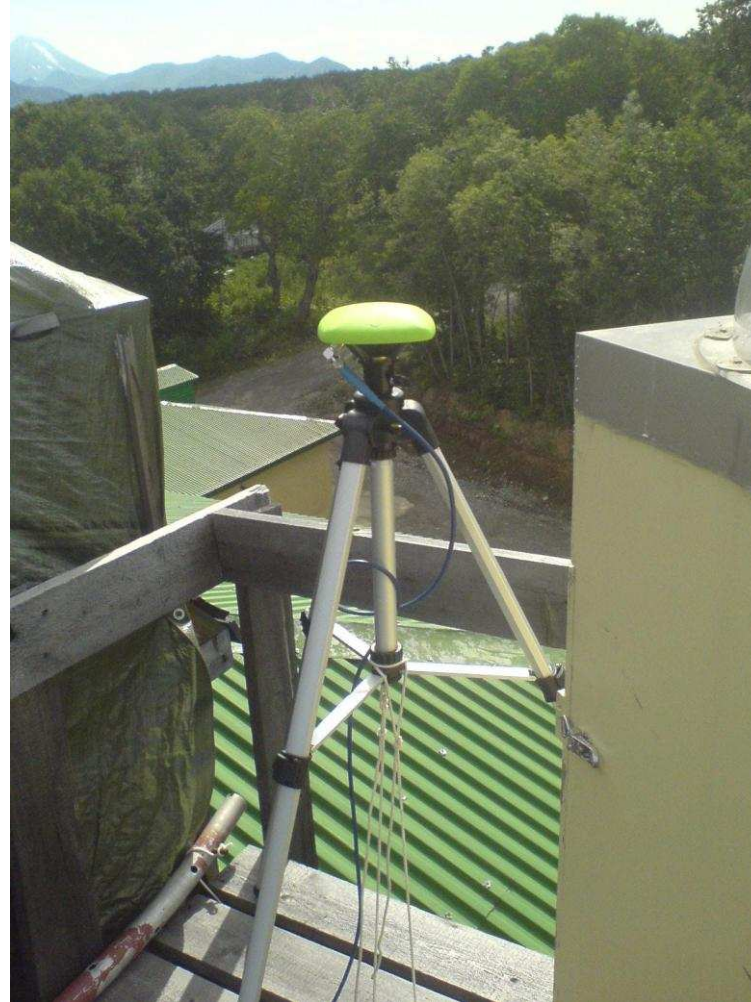
Узел ПАК на базе приёмника Javad Alpha (ИПГ, Росгидромет) в г. Чебоксары

## Измерения по сети ИПГ (пункт «Чебоксары»)



Суточный относительный ТЕС (TECU) по спутнику GAGAN (SBAS PRN 127  
вверху) и погрешность определения координат (м)  
Приёмник Javad Alpha (ИПГ, Росгидромет), 15 октября 2011, время мировое

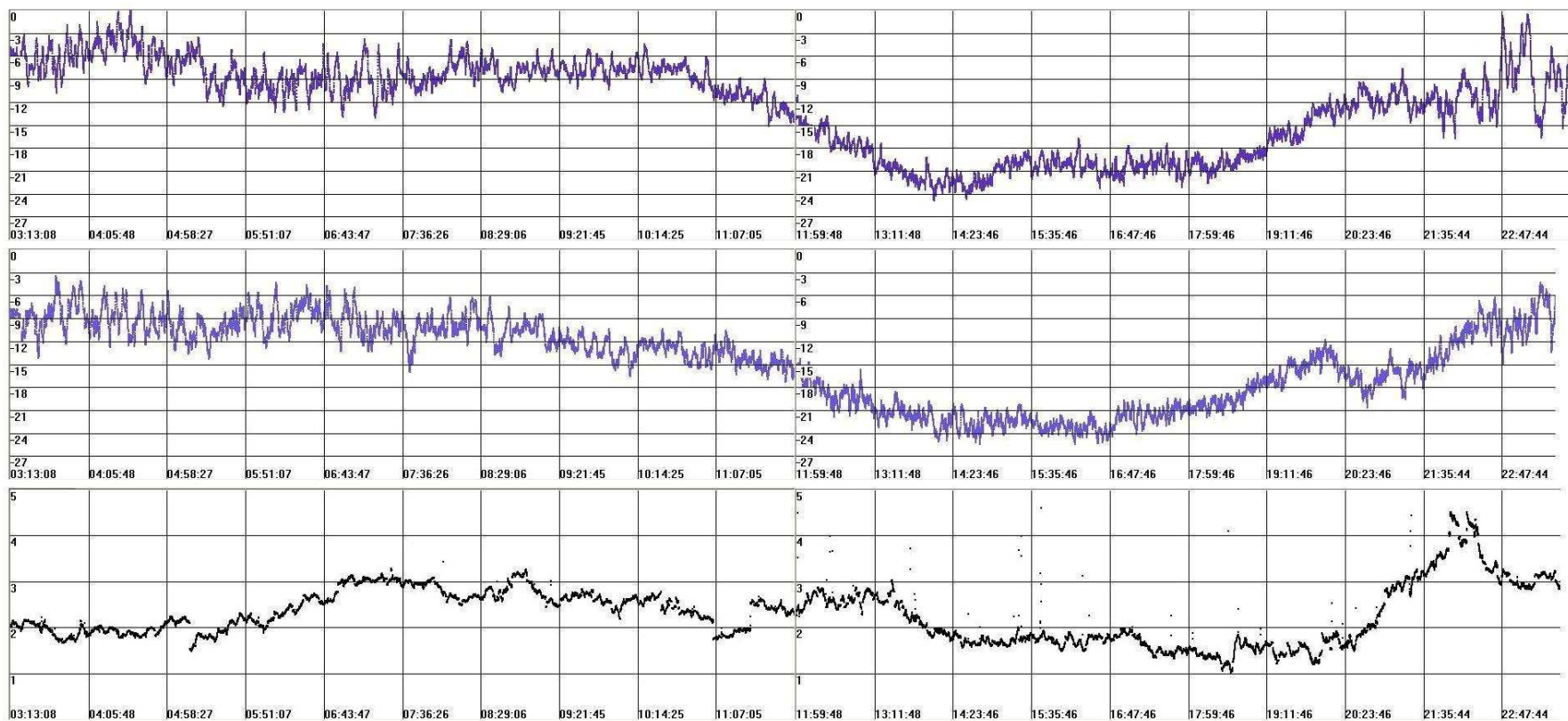
# *Измерения на Камчатке (ИКИР, Паратунка)*



Приёмник Javad Alpha (ИПГ), 6 сентября 2010

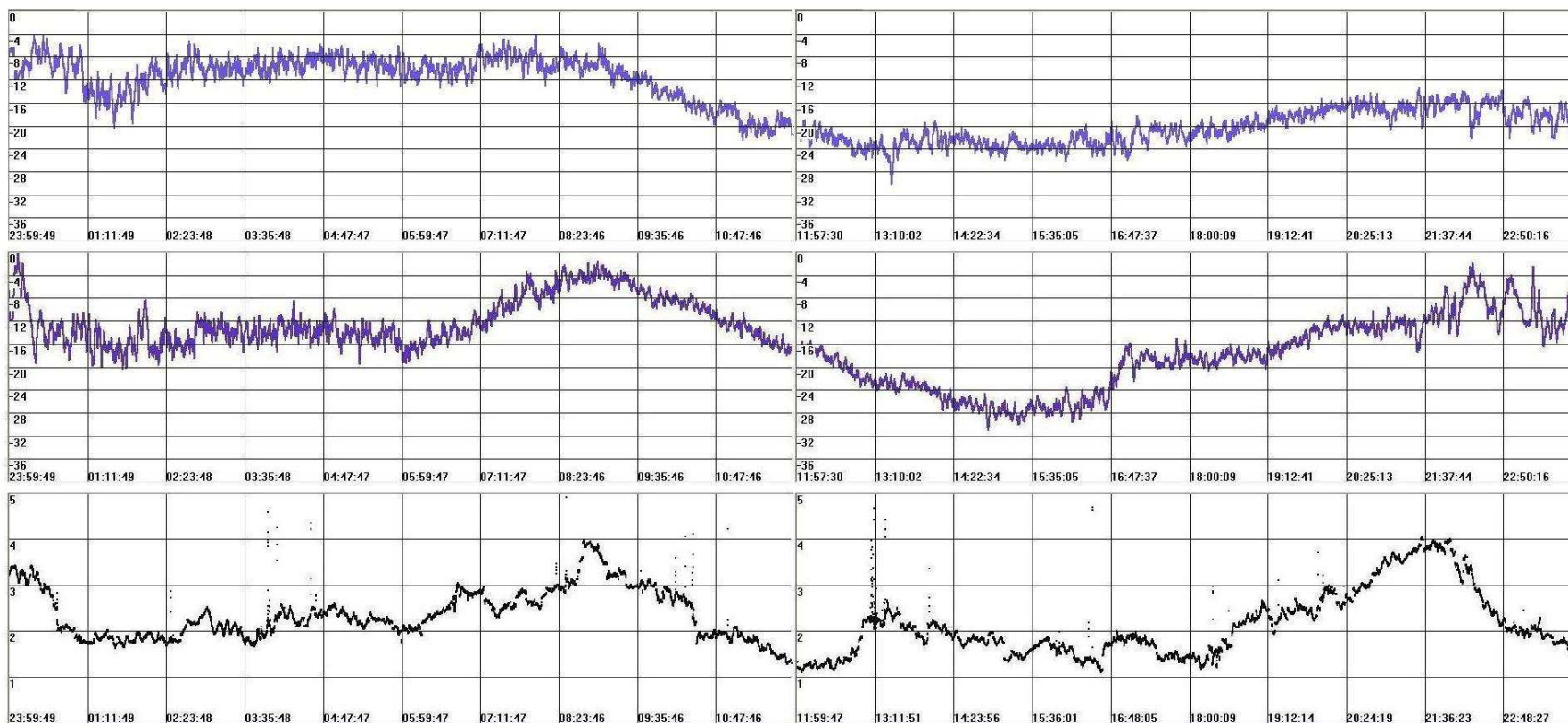


# Измерения на Камчатке (ИКИР, Паратунка)



Суточный относительный TEC (TECU) по спутникам MSAT (SBAS PRN 129 вверху, 137 в середине) и погрешность определения координат (м)  
Приёмник Javad Alpha (ИПГ), 6 сентября 2010, время мировое

# Измерения на Камчатке (ИКИР, Паратунка)

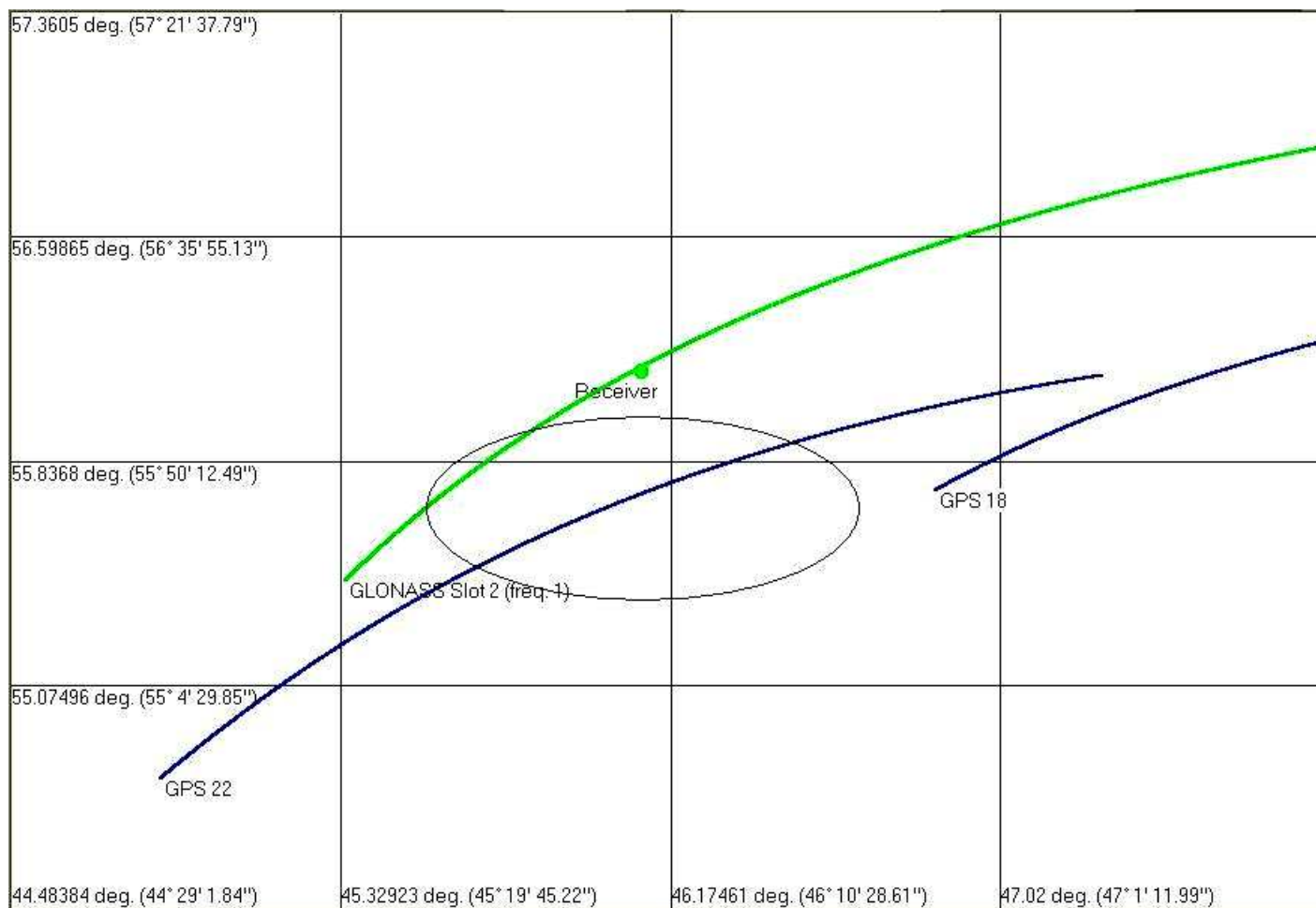


Суточный относительный TEC (TECU) по спутникам MSAT (SBAS PRN 137 вверху, 129 в середине) и погрешность определения координат (м) Приёмник Javad Alpha (ИПГ), 7 сентября 2010, время мировое

# *Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)*

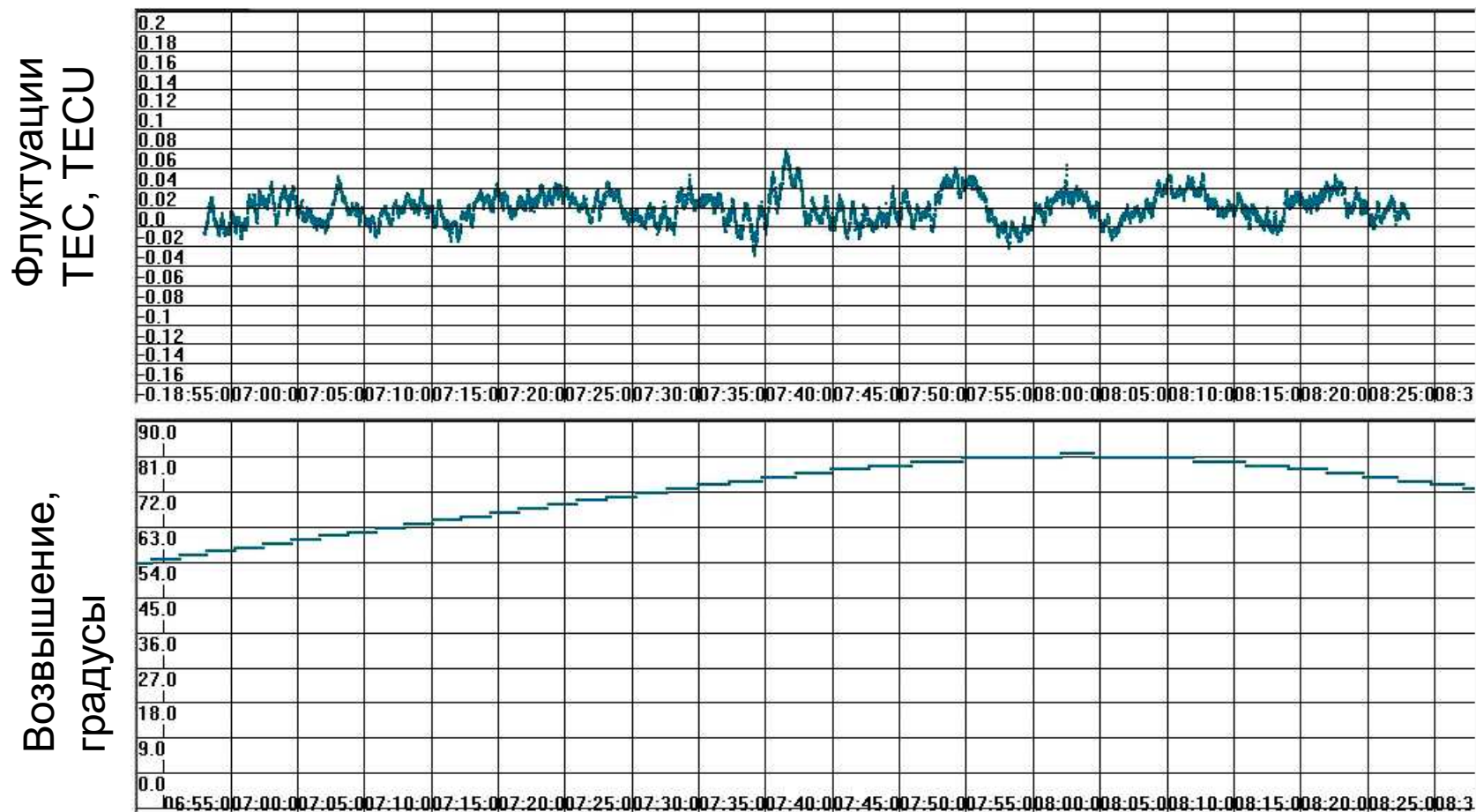


# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)



План траекторий подионосферных точек спутника GPS PRN # 20 на высоте 250 км над «Сурой» с учётом наклона диаграммы направленности нагрева 12 градусов на юг. 16 марта 2009.

# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)

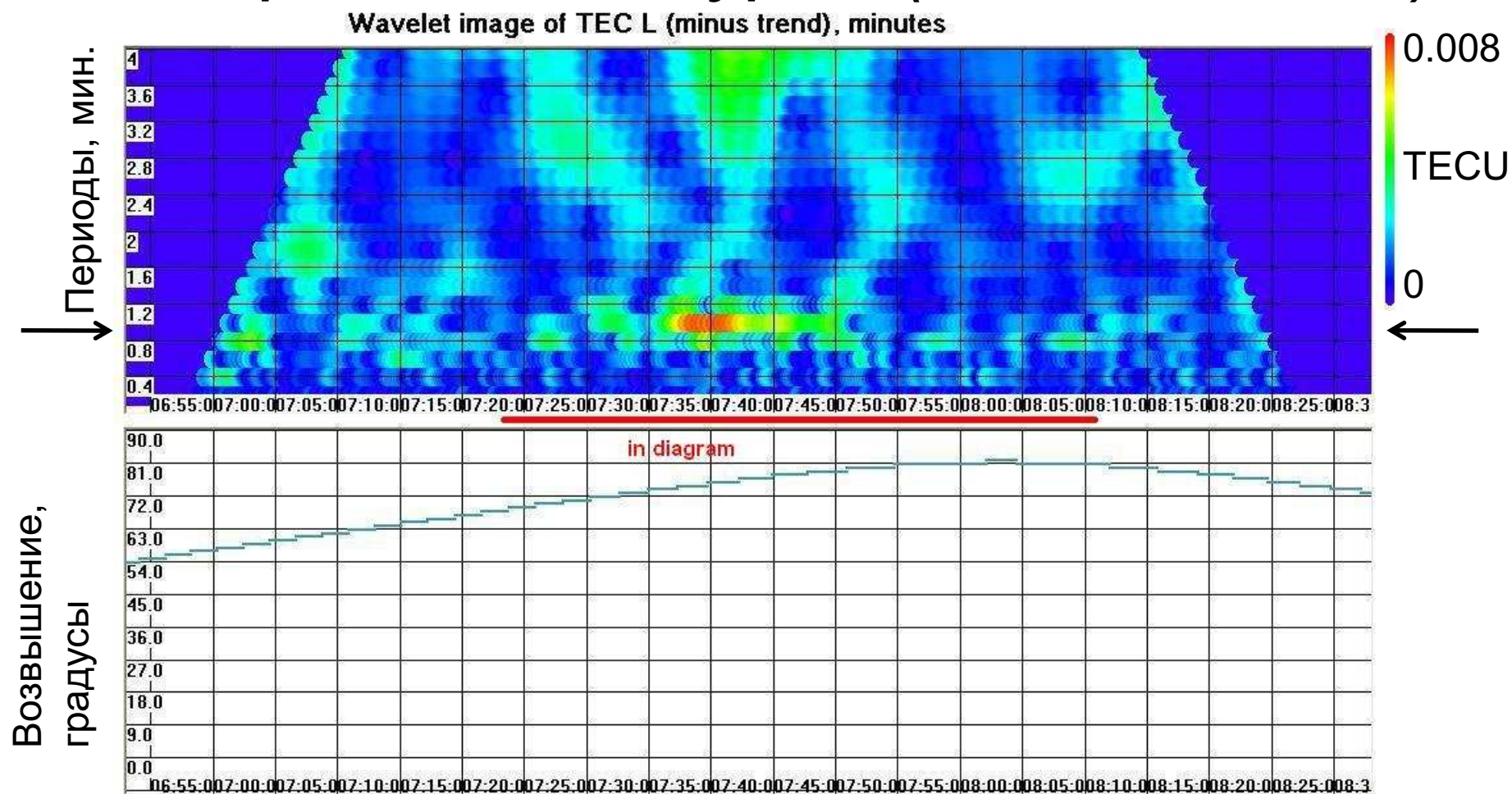


Флуктуации ТЕС по спутнику GPS PRN # 22

и возвышение спутника в градусах (нижний рисунок).

Приёмник Javad Sigma (МГУ), 16 марта 2009. Нагрев +/- 30 сек (полный период 1 мин.)

# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)

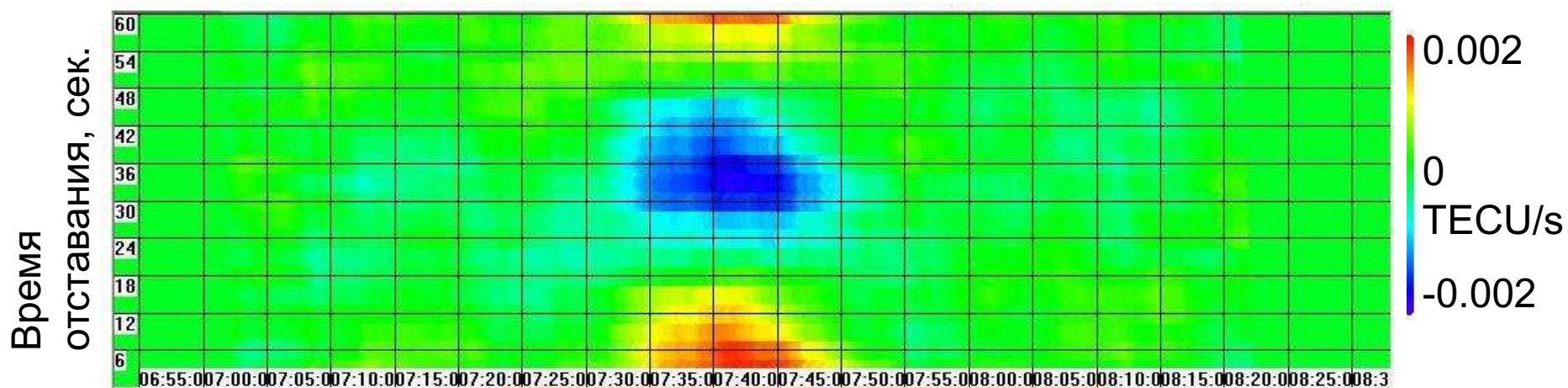
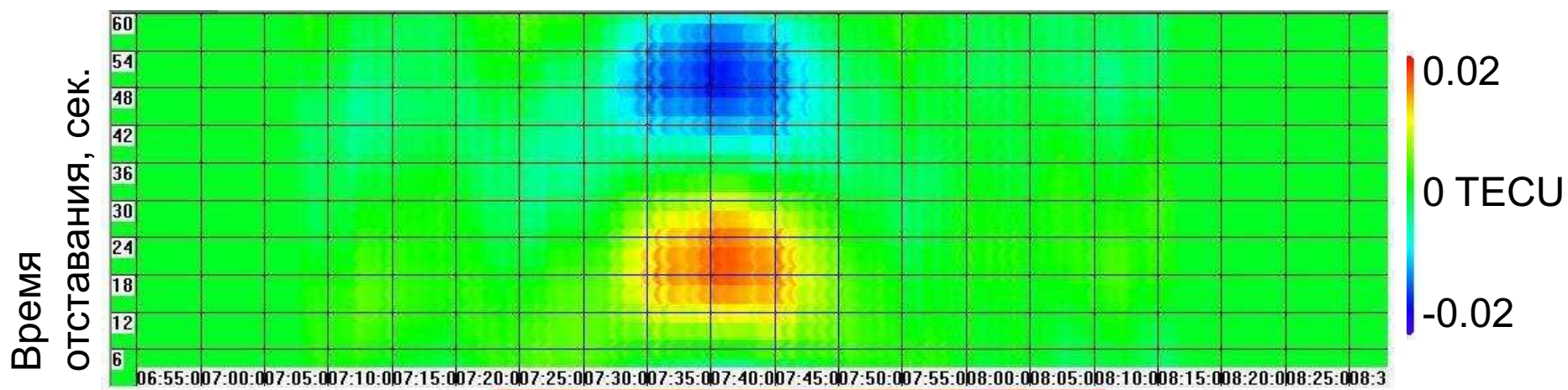


Вейвлет-преобразование TEC по спутнику GPS PRN # 22

и возвышение спутника в градусах (нижний рисунок).

Приёмник Javad Lехон (МГУ), 16 марта 2009. Нагрев +/- 30 сек (полный период 1 мин)

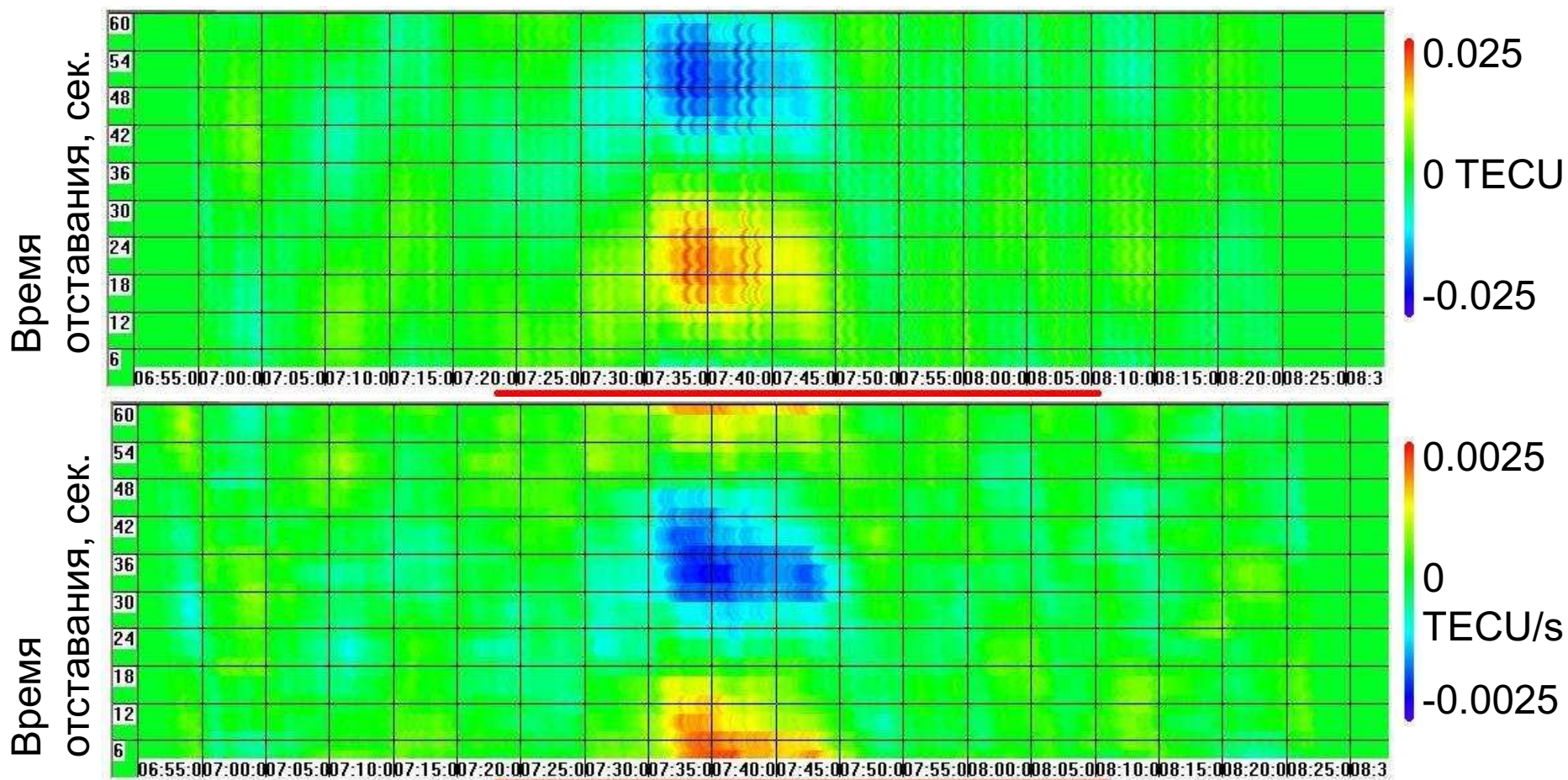
# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)



Корреляционный способ обработки ТЕС по спутнику GPS PRN # 22 (вверху для флуктуаций ТЕС, внизу для производной)

Нагрев +/- 30 сек. Расчёт движущимся окном в **10** циклов нагрева. По вертикальной оси сдвиг ТЕС от включений нагревов (сек).

# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)

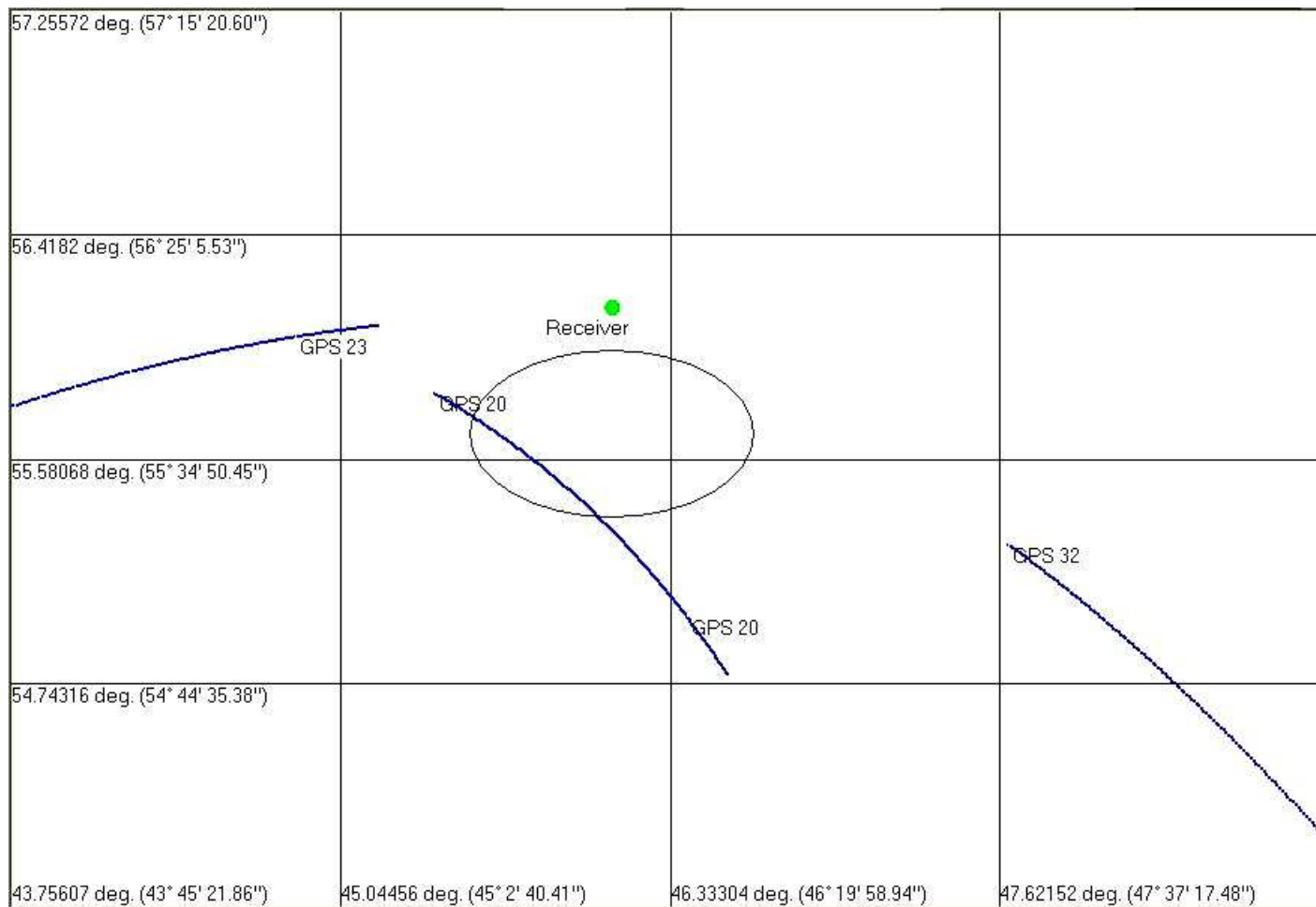


Корреляционный способ обработки ТЕС по спутнику GPS PRN # 22 (вверху для флуктуаций ТЕС, внизу для производной)

Нагрев +/- 30 сек. Расчёт движущимся окном в 5 циклов нагрева. По вертикальной оси сдвиг ТЕС от включений нагревов (сек).

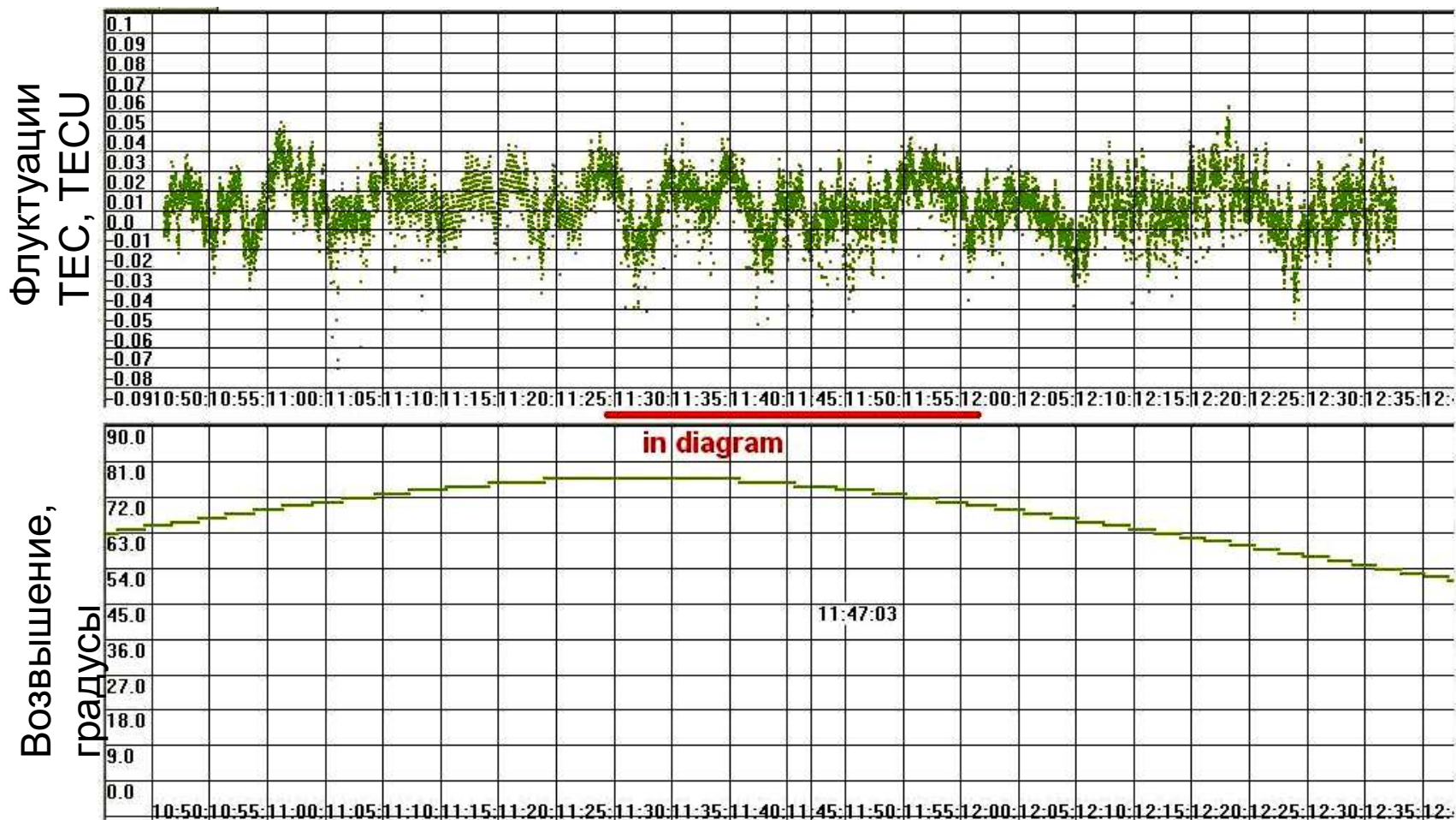


# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)



План траекторий подионосферных точек спутника GPS PRN # 20 на высоте 250 км над «Сурой» с учётом наклона диаграммы направленности нагрева 12 градусов на юг. 22 марта 2010.

# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)

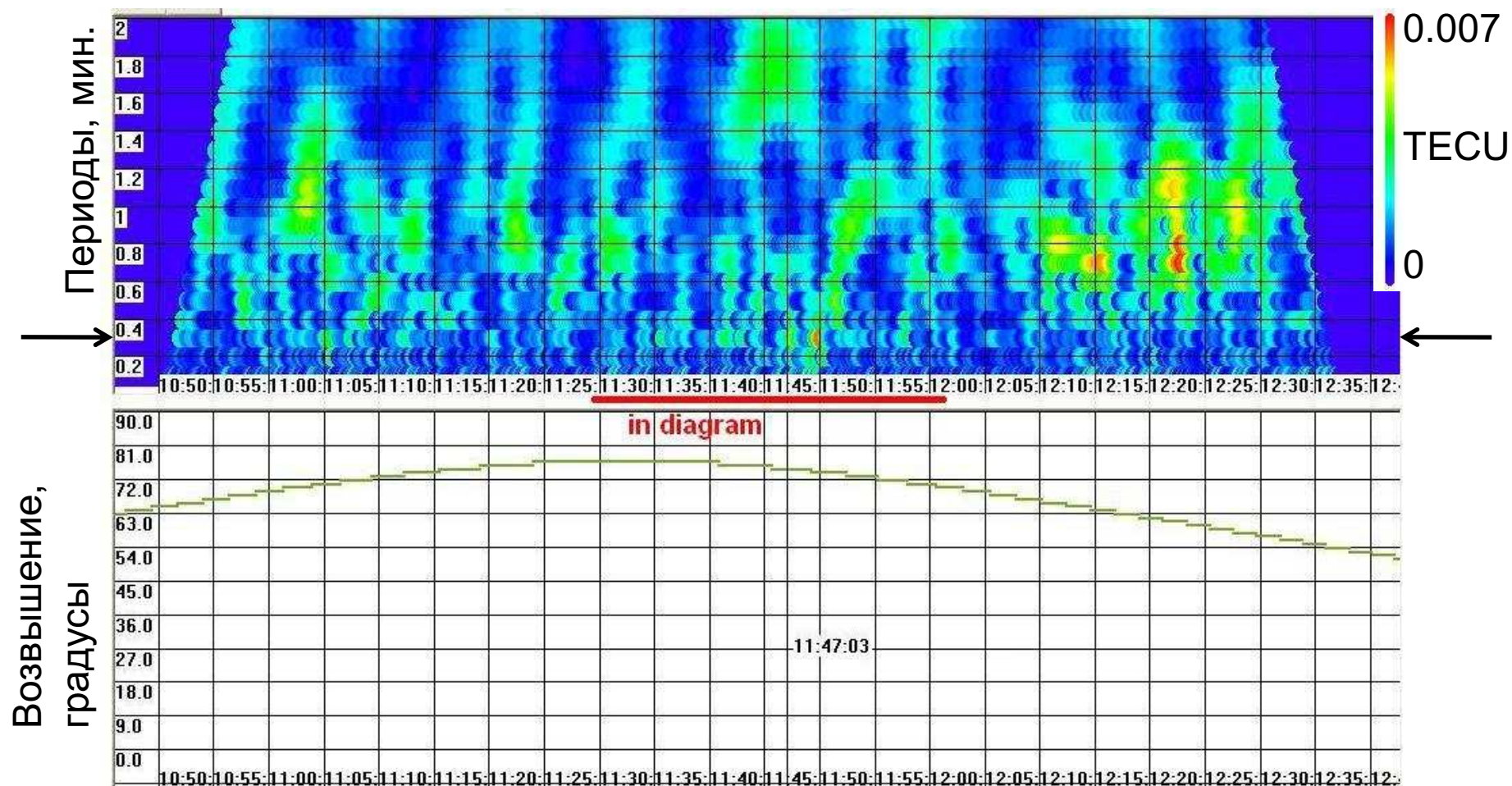


Флуктуации TEC по спутнику GPS PRN # 20

и возвышение спутника в градусах (нижний рисунок).

Приёмник Javad Sigma (МГУ), 22 марта 2010. Нагрев +/- 10 сек (0.33мин) и смена частоты в 11:47

# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)

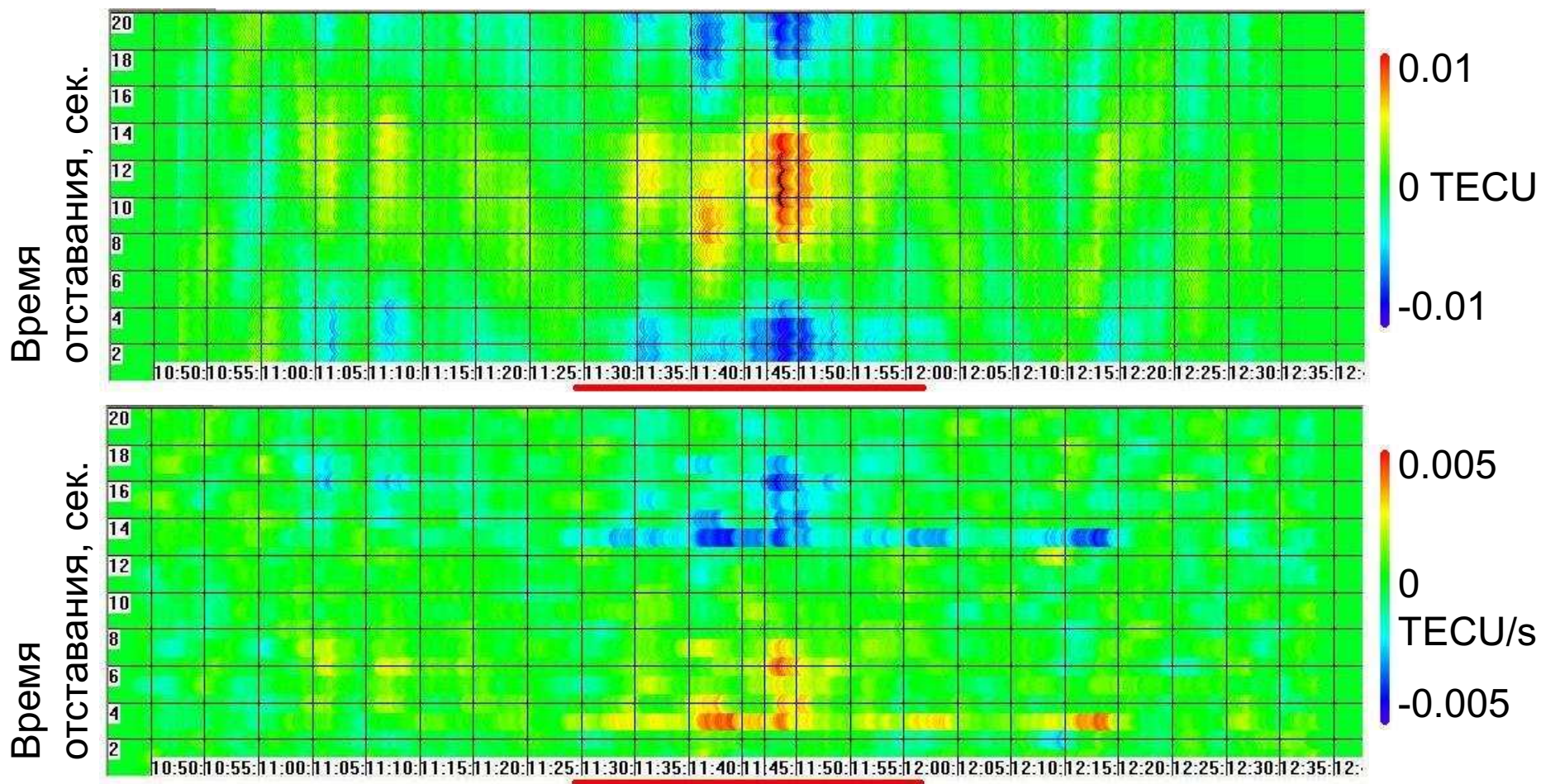


Вейвлет-преобразование TEC по спутнику GPS PRN # 20

и возвышение спутника в градусах (нижний рисунок).

Приёмник Javad Sigma (МГУ), 22 марта 2010. Нагрев +/- 10 сек (0.33мин) и смена частоты в 11:47

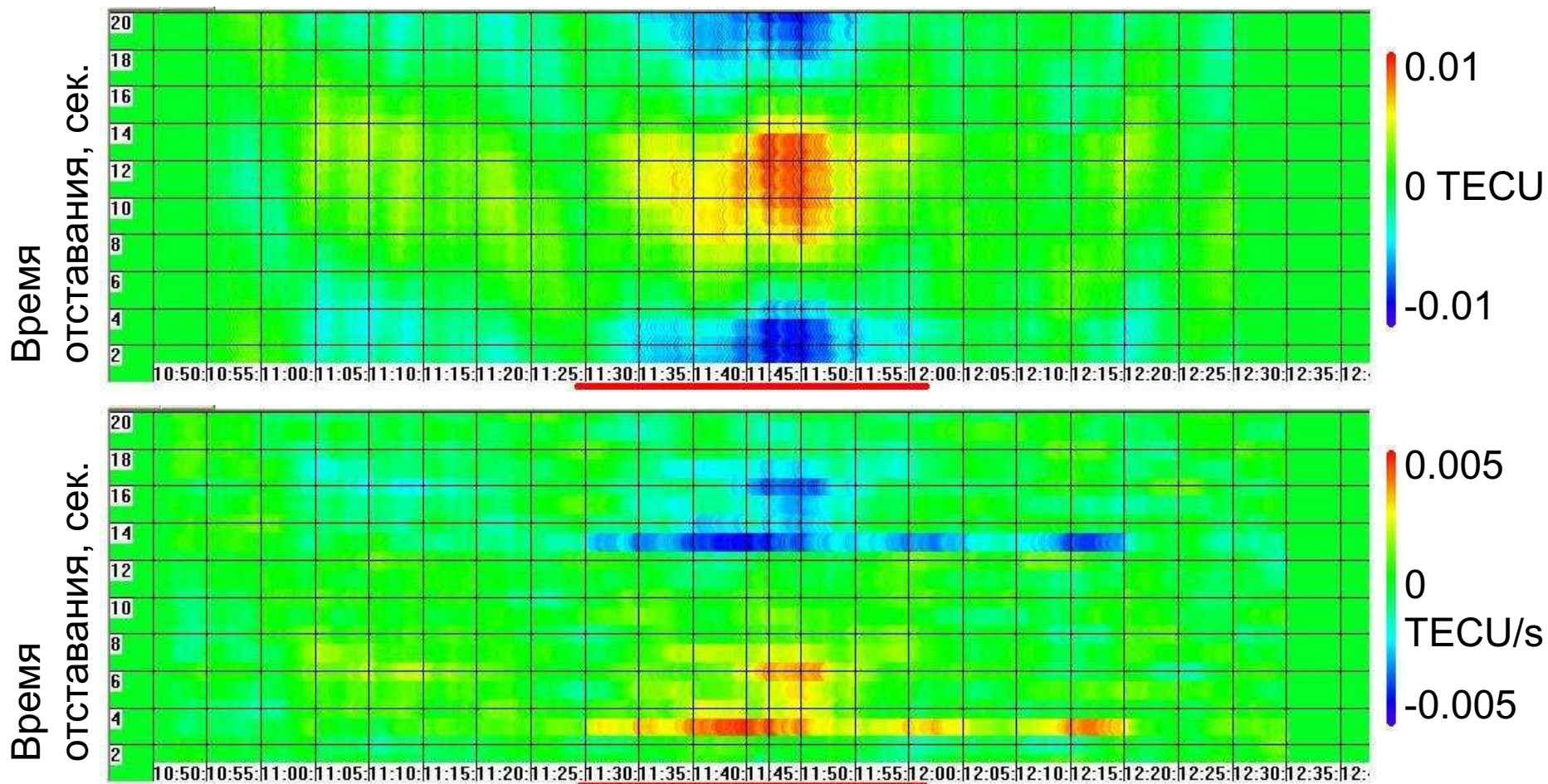
# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)



Корреляционный способ обработки ТЕС по спутнику GPS PRN # 20 (вверху для флуктуаций ТЕС, внизу для производной)

Нагрев +/- 10 сек и смена частоты в 11:47. Расчёт движущимся окном в **10** циклов нагрева. По вертикальной оси сдвиг ТЕС от включений нагревов (сек).

# Измерения на «Суре» (НИРФИ, МГУ)



Корреляционный способ обработки ТЕС по спутнику GPS PRN # 20 (вверху для флуктуаций ТЕС, внизу для производной)

Нагрев +/- 10 сек и смена частоты в 11:47. Расчёт движущимся окном в **20** циклов нагрева. По вертикальной оси сдвиг ТЕС от включений нагревов (сек).

# Результаты и выводы

- Проведены измерения естественных ионосферных неоднородностей по группировкам геостационарных спутников SBAS
- Развита способы выявления ионосферных эффектов воздействия мощного КВ-радиоизлучения с помощью вейвлет и корреляционного анализа данных GNSS

# К одночастотному методу

- «О диагностике ионосферы с использованием одночастотных приемников GPS», О.А.Горбачев, В.Б. Иванов, П.В. Рябков, БШФФ-2006, Секция А, Физика околоземного космического пространства, с. 159–163.