

Пространственная структура возмущенной
мощным радиоизлучением области ионосферы на
основе анализа данных искусственного свечения в
линии 630 нм и двумерных карт полного
электронного содержания

Д.А. Когогин¹, И.А. Насыров¹, Максимов Денис
Сергеевич¹, А.В. Шиндин², С.М. Грач², Е.Н. Сергеев², Р.В.
Загретдинов¹

1) КФУ, г. Казань,

2) ННГУ, г. Нижний Новгород

Введение

- Ионосферные неоднородности электронной концентрации искусственного и естественного характера можно эффективно изучать при помощи многочастотного радиозондирования сигналами навигационных спутников основных действующих ГНСС систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou).
- В экспериментах по воздействию на ионосферу мощным коротковолновым радиоизлучением указанный метод используется с середины 2000-х гг.

Введение

- Так как навигационные спутники относятся к среднеорбитальным, они движутся по небосводу достаточно медленно (линейная скорость перемещения составляет примерно 1,75 км/мин (на высоте $h = 200$ км), подионосферная точка остается в пределах рассматриваемой возмущенной области от 25 до 35 мин, что позволяет получить информацию о пространственных и временных характеристиках неоднородностей электронной концентрации

Введение

- С другой стороны, структуру возмущенной области можно исследовать при помощи измерения искусственного оптического свечения ионосферы в красной линии атомарного кислорода, линии ($\lambda = 630 \text{ нм}$) связанного с переходом электронов с уровня $O(^1D)$ в основное состояние $O(^3P)$. Изображения возмущенной области ионосферы в линии 630 нм, зарегистрированные с помощью ПЗС-камер с соответствующими светофильтрами, указывают на существование крупномасштабной структуры пятен свечения с угловыми размерами порядка $1-10^\circ$ (что соответствует размерам $\sim 5-50 \text{ км}$ на высотах 250-280 км над поверхностью Земли).

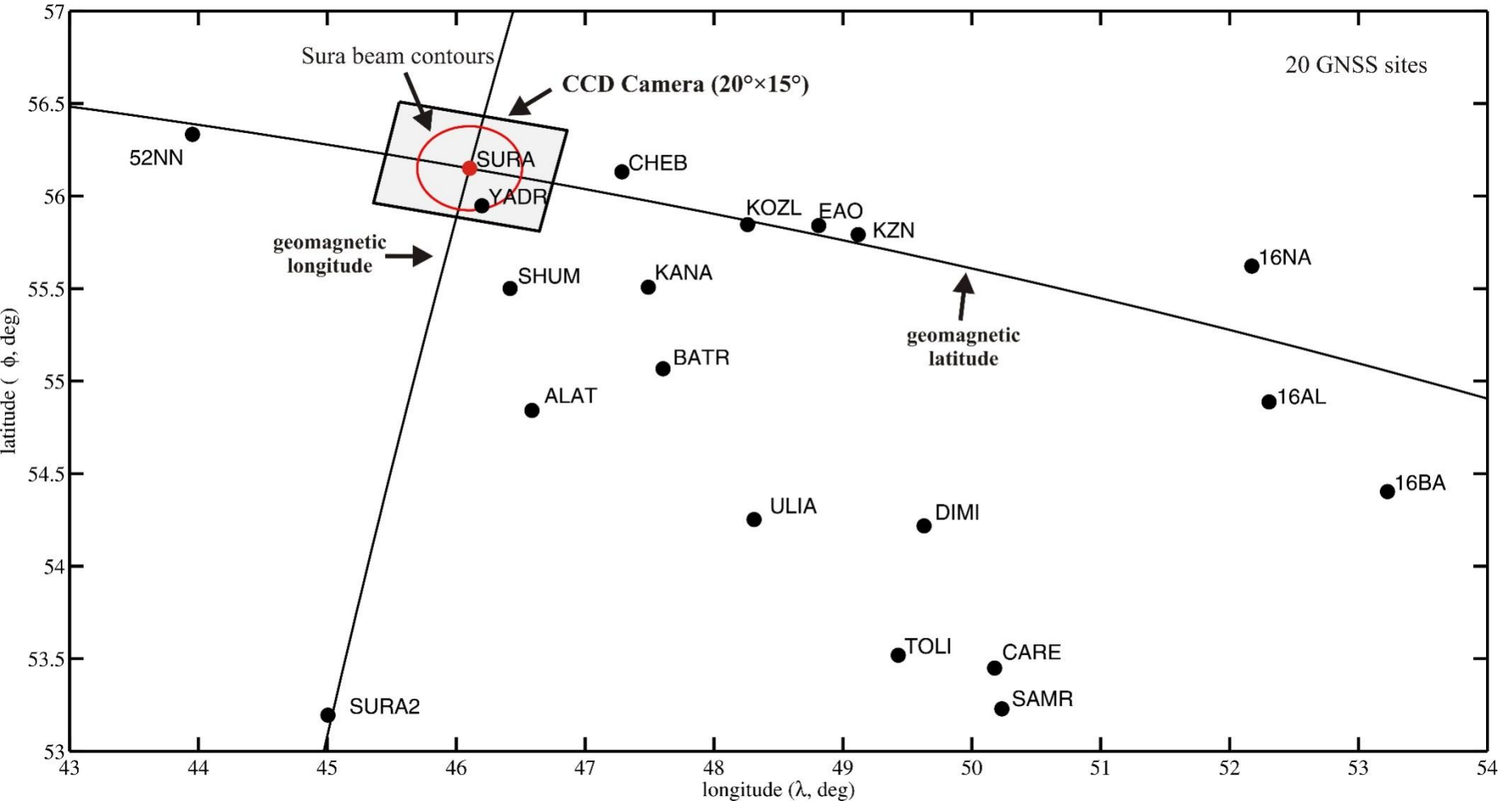
Мотивация

- Неоднородности в возмущенной области, определяемые с помощью измерений ПЭС и пятна свечения, получаемые с использованием ПЗС-камер имеют близкие масштабы.
- Интересно, в таком случае, провести исследования пространственного поведения неоднородностей ПЭС при пролете навигационных спутников и сравнить их с яркостью свечения возмущенной области ионосферы
- Проведенные измерения дают возможность провести прямое сопоставление между вариациями искусственного оптического свечения и ПЭС, стимулированных мощным радиоизлучением стенда «Сура» и получить пространственную картину изменения электронной плотности.

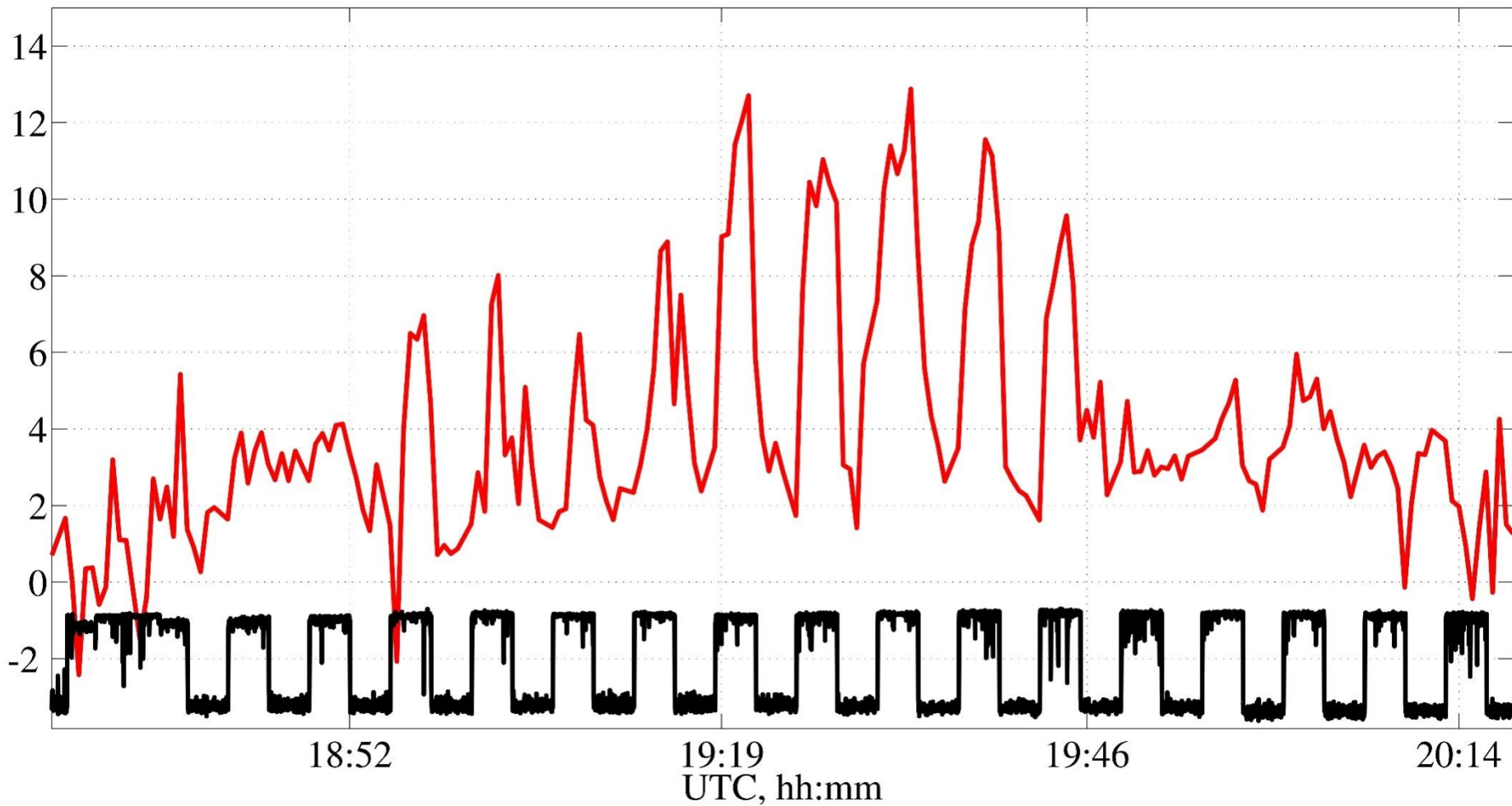
Мотивация

- В последнее десятилетие в европейской части РФ активно расширяется сеть базовых станций, оснащенных многочастотными многосистемными ГНСС приемниками. Использование большого числа близкорасположенных ГНСС-станций позволяет строить подробные ПЭС карты, с высоким пространственным разрешением. В данной работе такие исследования были осуществлены для области в радиусе 400 км стенда «Сура».

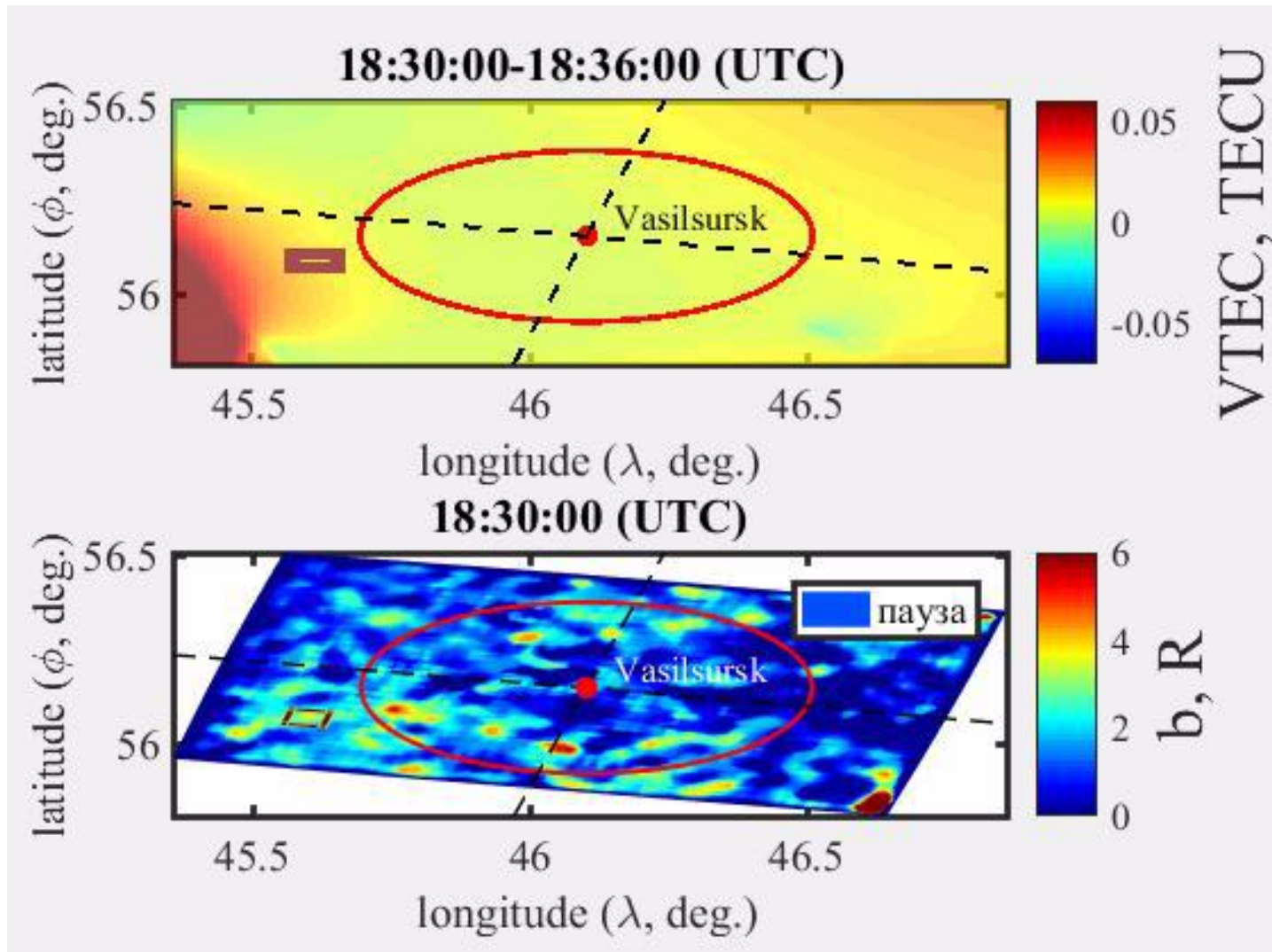
Схема постановки эксперимента



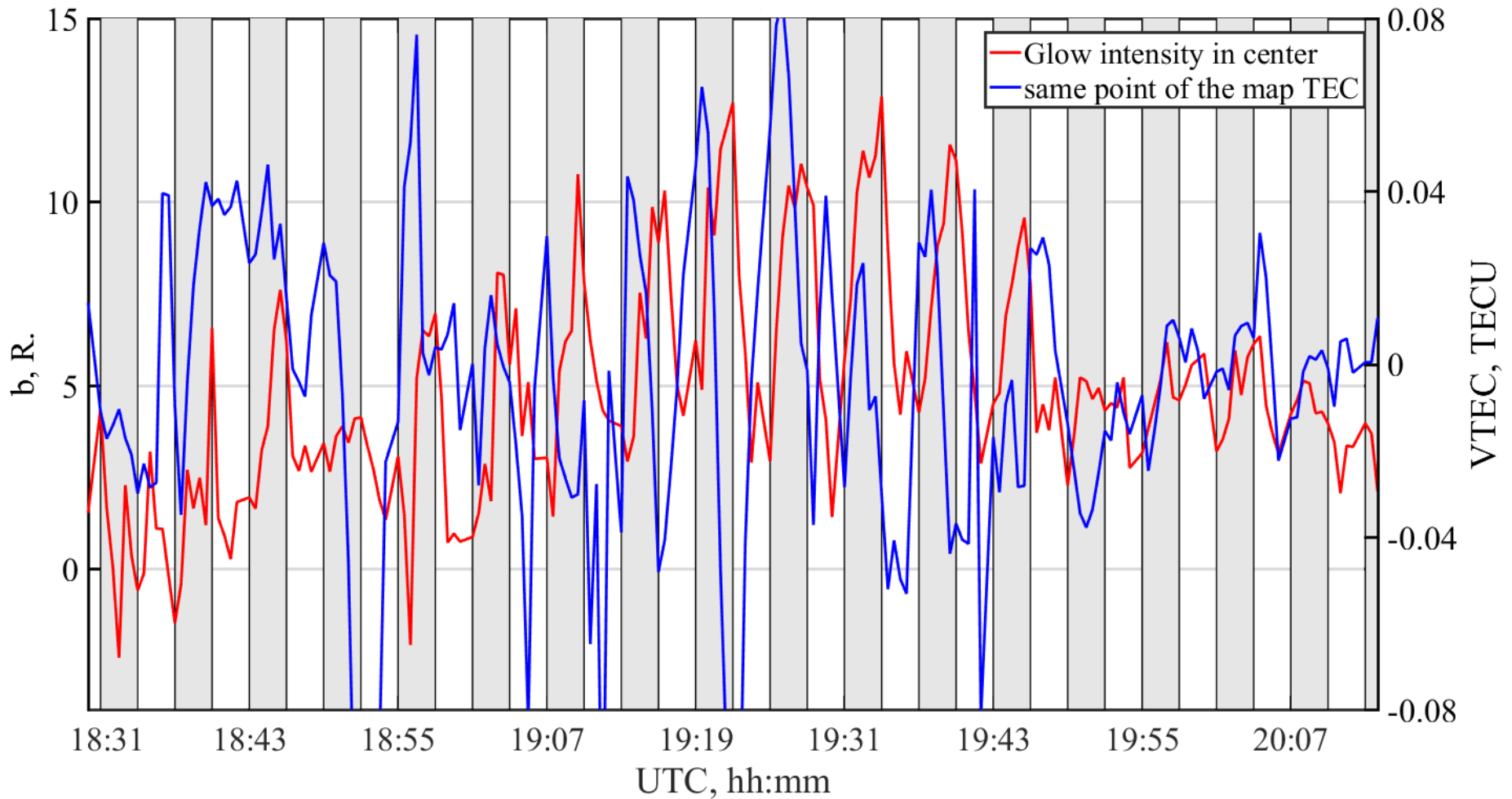
Искусственное оптическое свечение в линии 630 нм 29 августа 2016 года



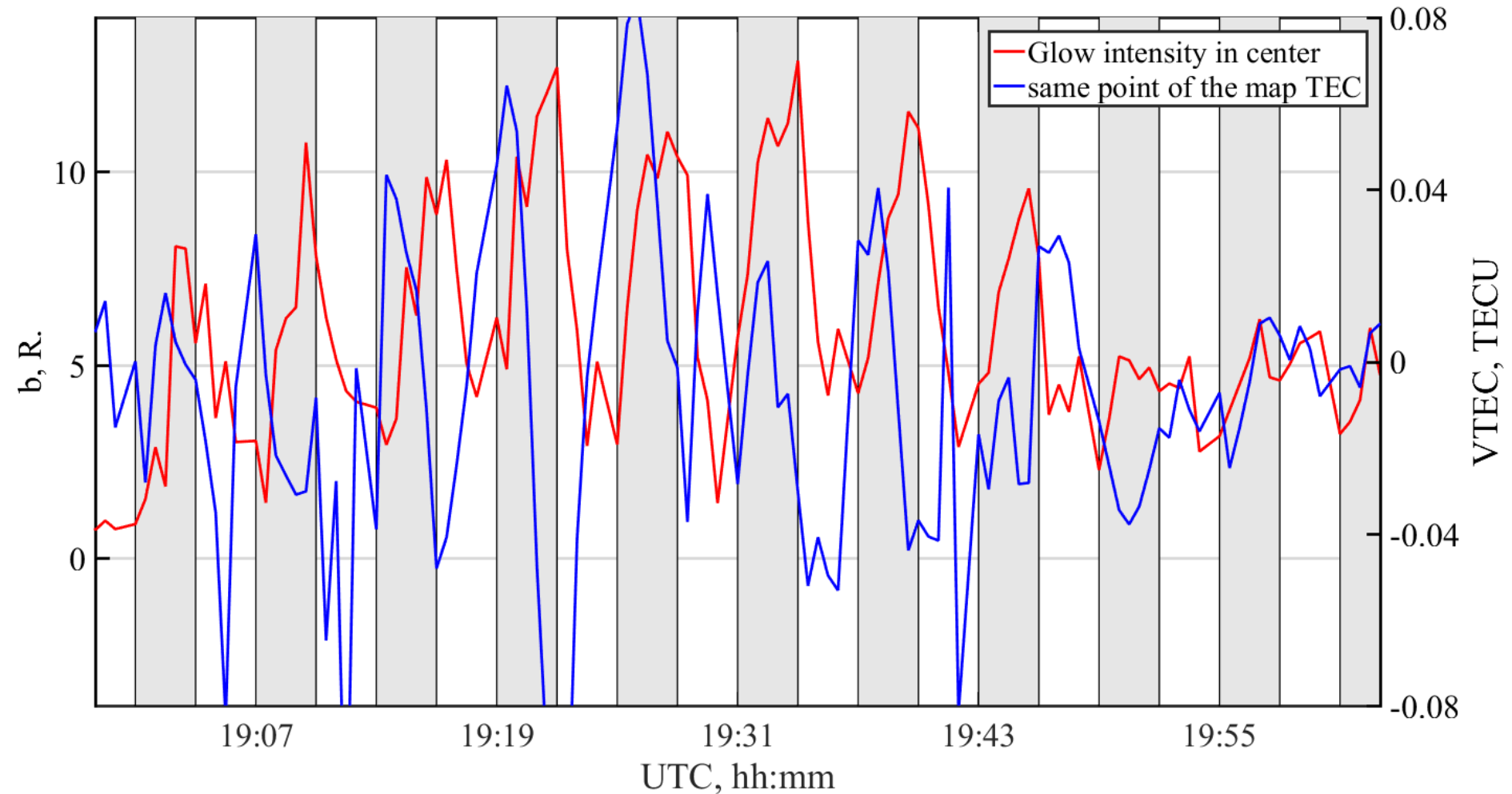
Сопоставление ПЭС карт и изображений искусственного свечения ионосферы в линии 630 нм в эксперименте 29 августа 2016 г. (в пределах угла зрения ПЭС камеры $20 \times 15^\circ$)



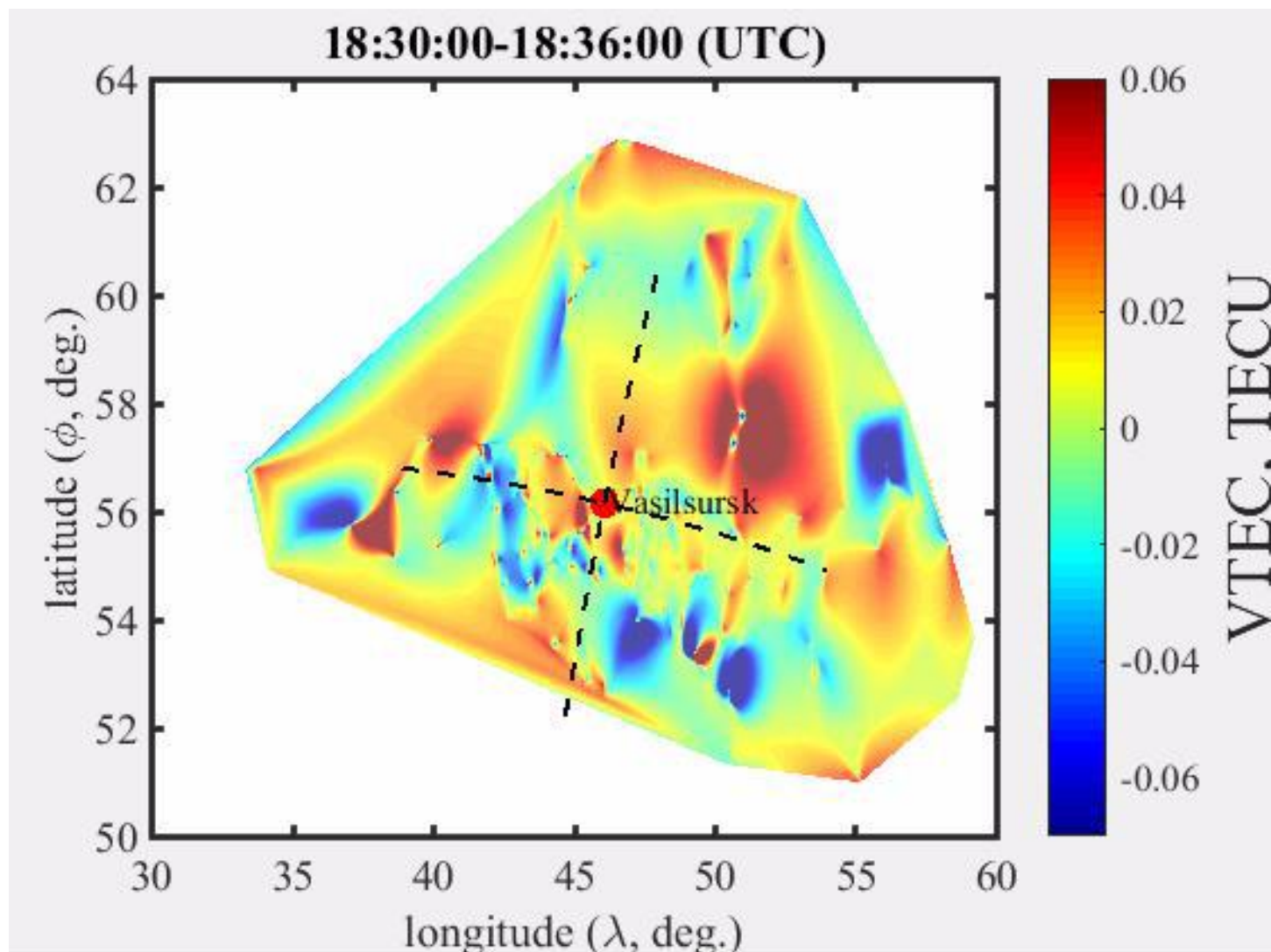
Временной ход изменения вариаций ПЭС и искусственного свечения в линии 630 нм в эксперименте 29 августа 2016 г.



Временной ход изменения вариаций ПЭС и искусственного свечения в линии 630 нм в эксперименте 29 августа 2016 г.



Пространственно-временная динамика вариаций ПЭС для широкой области 29 августа 2016 года



Заключение

- Построены ПЭС карты для широкой области пространства (в радиусе 400 км от стенда СУРА)
- Проведен сравнительный анализ вариаций ПЭС и искусственного оптического свечения в эксперименте на стенде Сура 29 августа 2016 года
- Проведено прямое сопоставление между изображениями искусственного оптического свечения и картами ПЭС
- Получена динамическая пространственно-временная картина изменения ПЭС в той области ионосферы, где происходит генерация плазменных волн, способных ускорить электроны до потенциала возбуждения оптических уровней

Заключение

Это исследование дополняет, ранее выполненные [1,2] на стенде «Сура» одновременные измерения наклонного ПЭС и интенсивности искусственного свечения в линии 630 нм на луче зрения «навигационный спутник – GPS приёмник», пересекающего поле зрения ПЭС камеры, в момент работы мощных передатчиков стенда, в которых было установлено, что свечение генерируется в области пониженной электронной концентрации, и именно в этой области популяция энергичных электронов, ускоренных плазменными волнами до потенциала возбуждения оптических уровней, оказывается более интенсивной.

1. Mutual allocation of the artificial airglow patches and large-scale irregularities in the HF-pumped ionosphere / S. M. Grach, I. A. Nasyrov, D. A. Kogogin et al. // Geophysical Research Letters. — 2018. — Vol. 45, no. 12. — P. 12,749–12,756.
2. On the connection between the spatial behavior of the total electron content of the ionosphere on the GPS signal path and the ionospheric artificial airglow in the 630 nm line / S. M. Grach, I. A. Nasyrov, D. A. Kogogin et al. // Radiophysics and Quantum Electronics. — 2018. — Vol. 61, no. 3. — P. 161–175.

Благодарности

- Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (обработка ГНСС данных и визуализация результатов – проект №19–72–00072, предварительный анализ, проведение экспериментов и обработка изображений ночного неба – проект №14–12–00706). Совместный анализ пятен искусственного оптического свечения и двумерных карт полного электронного содержания выполнен при финансовой поддержке Казанского (Приволжского) федерального университета.

Спасибо за внимание

meinica_macs@mail.ru

denis.kogogin@gmail.com

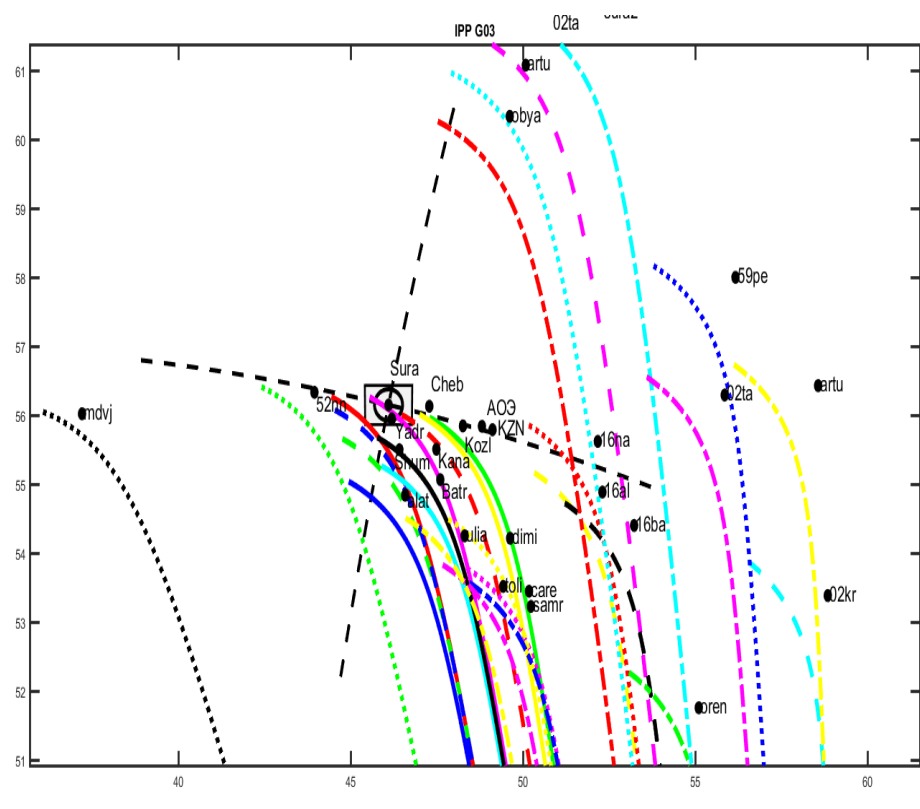
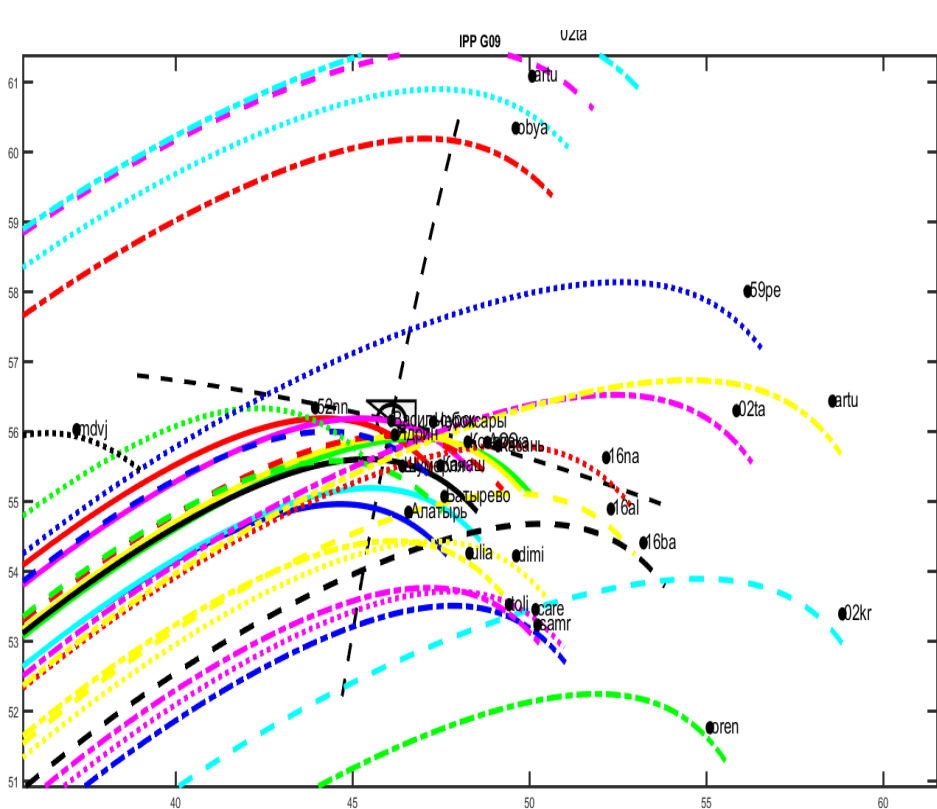


Казанский федеральный
У Н И В Е Р С И Т Е Т

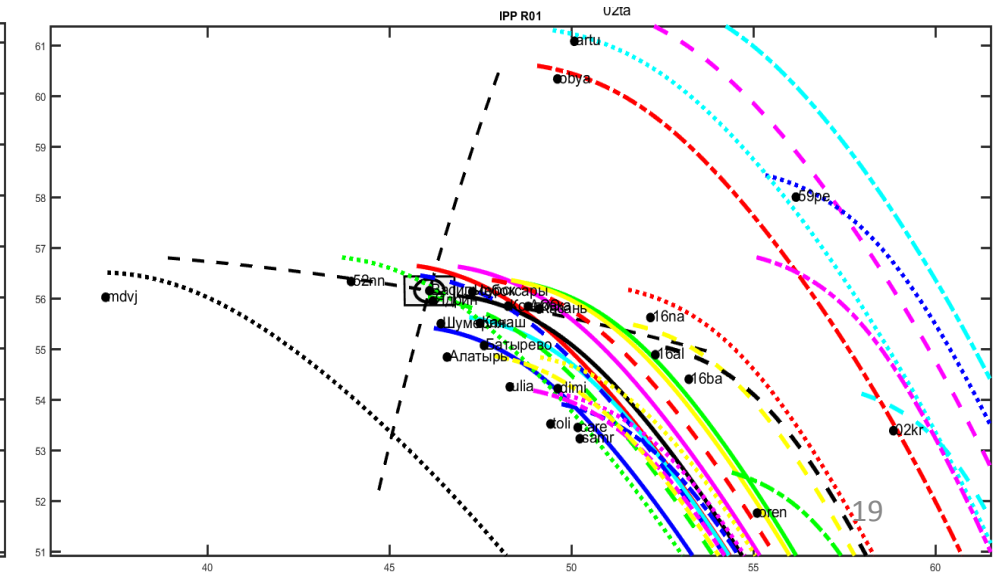
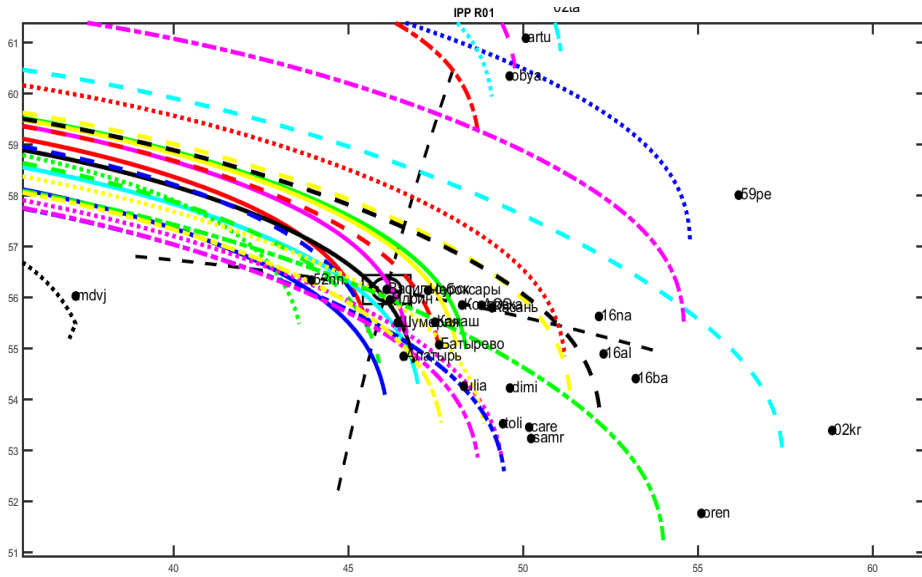
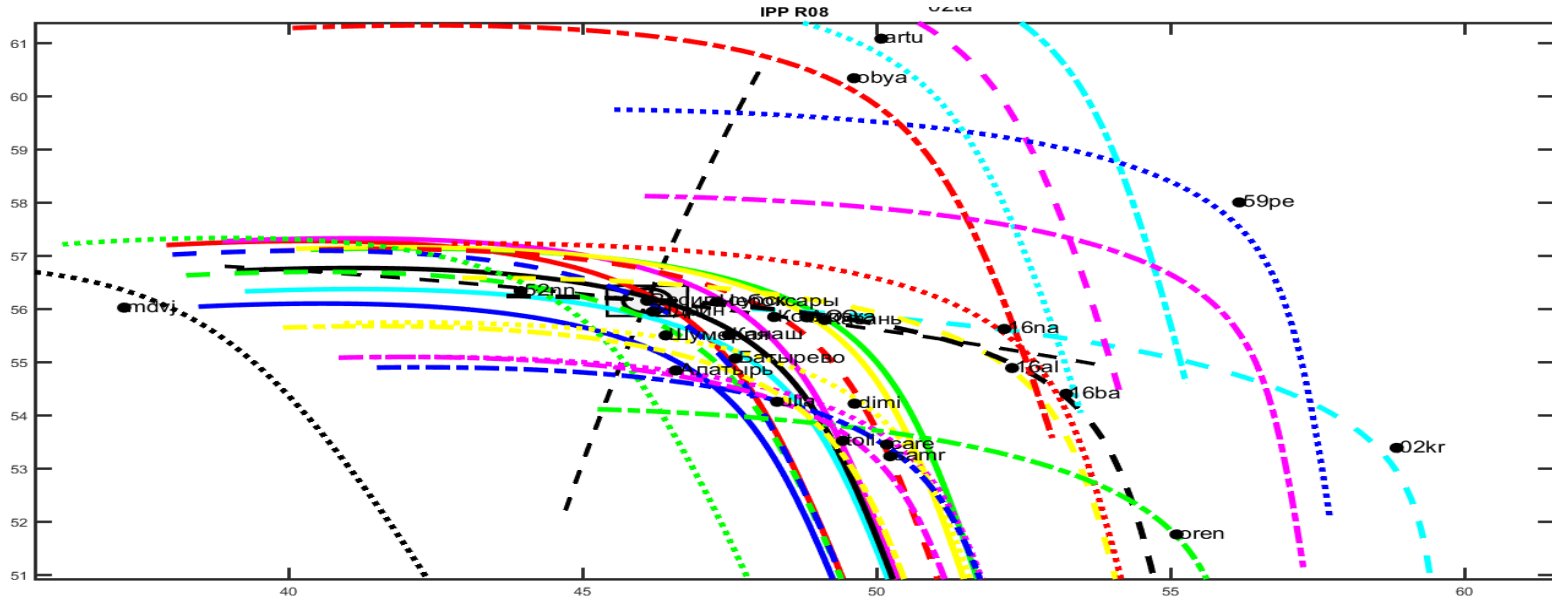


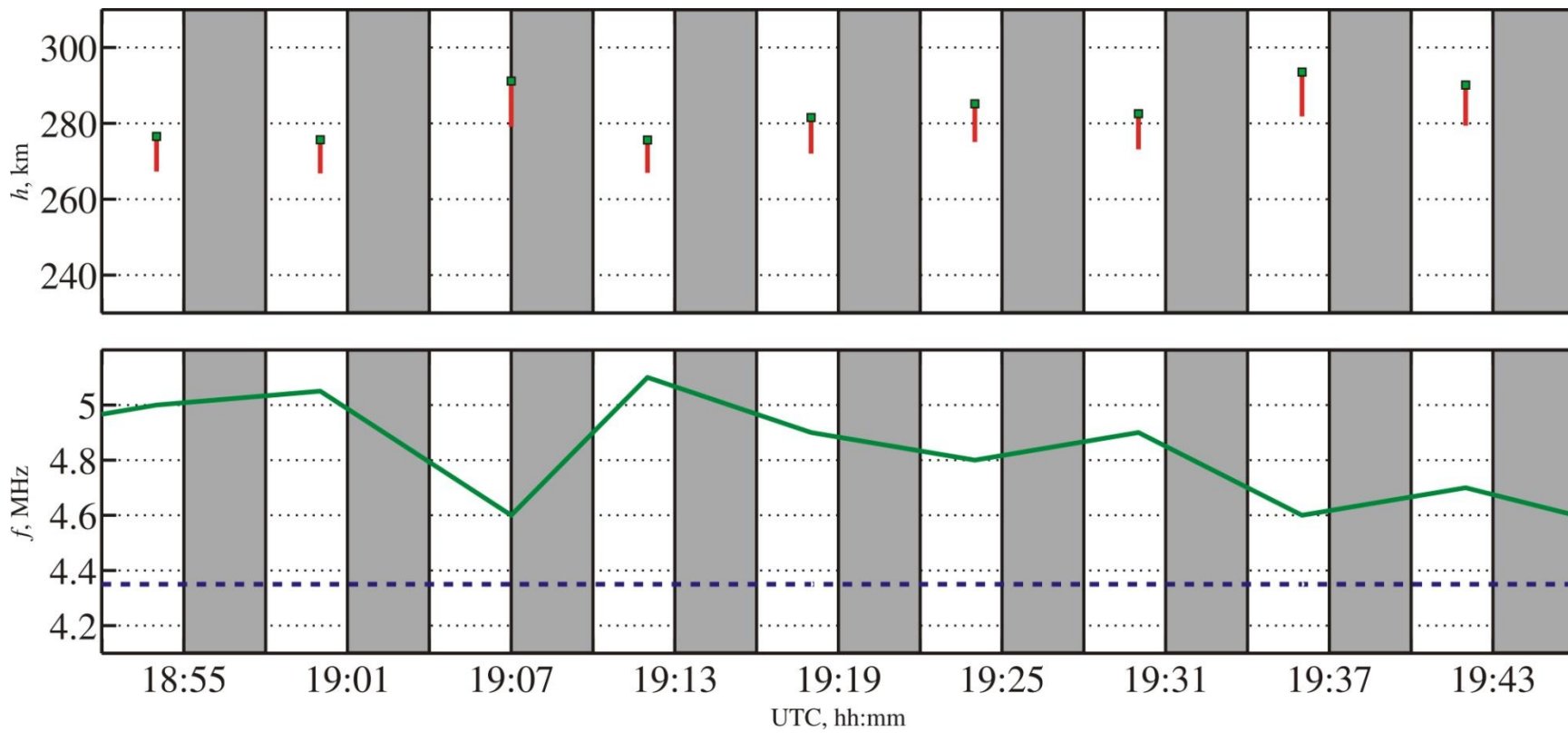
УНИВЕРСИТЕТ
ЛОБАЧЕВСКОГО

Траектории подионосферных точек для спутников G03 и G09

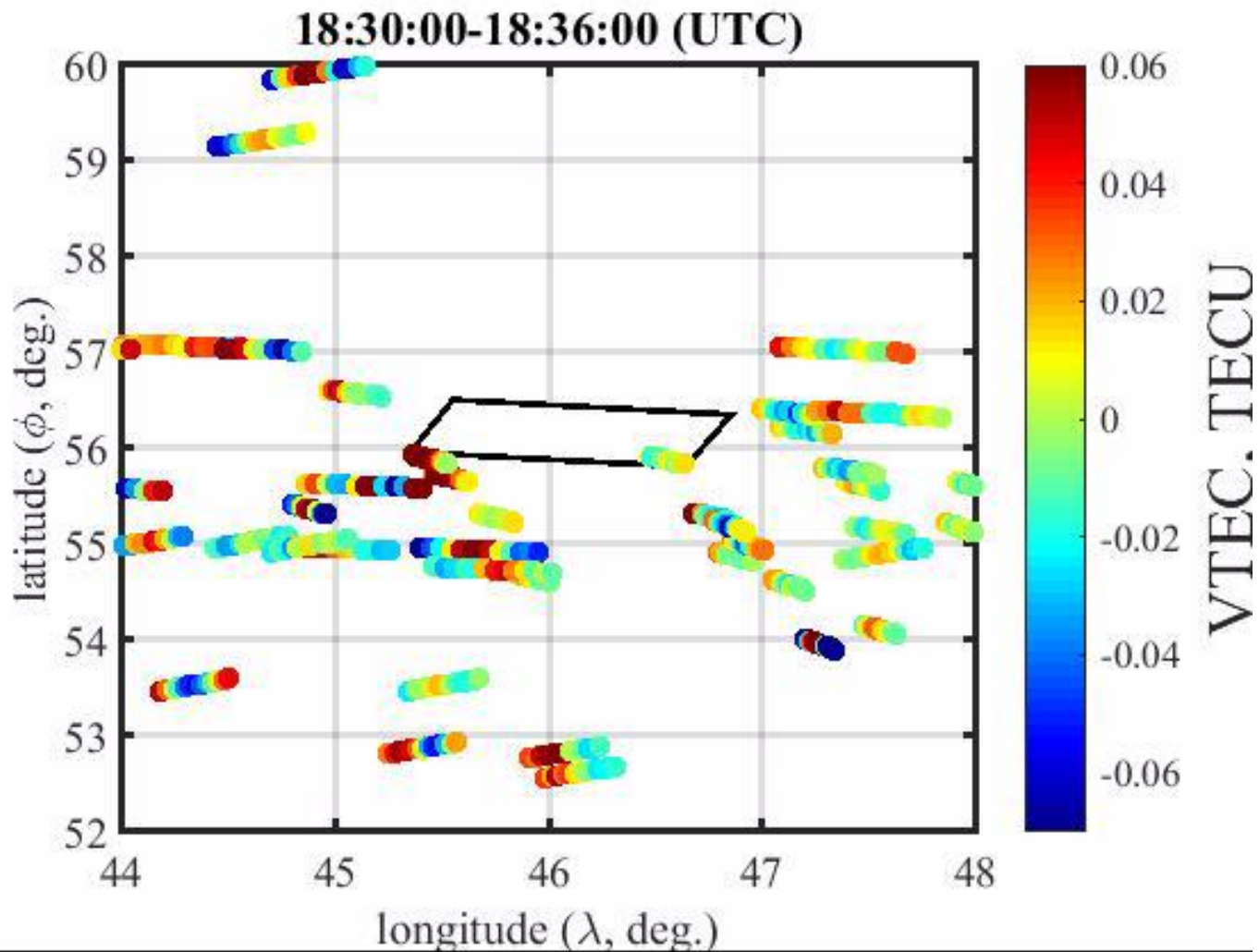


Траектории подионосферных точек для спутников R08, R01, R07





Вычисленные подионосферные точки в области ДН ст. Сура



Методика

- Определили доступные нам ГНСС станции (29 штук)
- Определили спутники, проходящие в интересующее нас время в области исследования (G03, G09, G22, G22, R01, R07, R08)
- Считали для каждой станции файлы RINEX с интересующими спутниками
- Рассчитали для каждой пары спутник-станция подионосферные точки
- Произвели расчет ПЭС для каждой такой пары
- Удалили тренд вычитанием полинома шестой степени и последующим вычитанием ряда, вычисленного скользящим средним
- Учли данные ПЭС только для тех случаев, когда угол склонения между спутником и станцией был больше 30 градусов
- Провели интерполяцию данных ПЭС для 6-тиминутных интервалов времени
- Построили карты вариации ПЭС