

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ GPS ПРИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ИОНОСФЕРЫ

**Сыроватский Семён Владиславович**

Научный руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с. Падохин Артём Михайлович

Кафедра физики атмосферы МГУ им. М.В. Ломоносова

Москва

2020

## 1 ВВЕДЕНИЕ

## 2 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

## 3 МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

## 4 ЧАСТЬ I

Буря 25-26 августа 2018 года

Буря 21-22 июня 2015 года

Выводы

## 5 ЧАСТЬ II

Постановка эксперимента

Режим PPP

Выводы



Работа состоит из **двух** основных частей:

- ❶ Первая часть посвящена исследованию точности позиционирования GPS **во время геомагнитных бурь.**

Задача: исследовать влияние геомагнитных бурь в период 24-го цикла солнечной активности на качество позиционирования GPS в глобальном масштабе (в различных широтно-долготных областях).

- ❷ Вторая часть посвящена исследованию точности позиционирования GPS **во время работы нагревательного стенда СУРА.**

Задача: исследовать возможность влияния высокочастотного (ВЧ) радиоизлучения антропогенного характера на качество позиционирования GPS как вблизи области возмущения, так и на значительном расстоянии от неё.

**Precise Point Positioning (PPP)** – это метод абсолютного позиционирования, который использует кодовые или фазовые измерения сигнала в комбинации с точными эфемеридами спутников.

В работе используется двухчастотная кинематическая модель PPP на основе недифференцированных и некомбинированных измерений GPS (псевдодальности и фазы несущей), которая реализуется при помощи программного обеспечения с открытым исходным кодом GAMP [Zhou et al., 2018].

F. Zhou, D. Dong, W. Li, et al. GAMP: An open-source software of multi-GNSS precise point positioning using undifferenced and uncombined observations // [GPS Solutions](#). — 2018. Vol. 22.

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

$$R_r^s = \underbrace{\vec{u} \cdot \vec{x}}_{\text{Геометрическое расстояние}} + \underbrace{c(\delta_r - \delta^s)}_{\text{Смещения часов}} + \underbrace{F \times T_V}_{\text{Тропосферная задержка}} + \underbrace{\alpha_f I_{L1}}_{\text{Ионосферная задержка}} + \underbrace{c(d_r - d^s)}_{\text{Некалиброванные задержки}} + \underbrace{e_r^s}_{\text{Другие ошибки}}$$
$$\lambda \Phi_r^s = \overbrace{\vec{u} \cdot \vec{x}} + \overbrace{c(\delta_r - \delta^s)} + \overbrace{F \times T_V} - \overbrace{\alpha_f I_{L1}} + \overbrace{\lambda(N + b_r - b^s)} + \overbrace{e_r^s}$$

$R_r^s$  – псевдодальность по кодовым измерениям;

$\lambda \Phi_r^s$  – псевдодальность по фазовым измерениям;

$F$  – наклонный коэффициент;  $\alpha_f = \frac{f_{L1}^2}{f^2}$ ;

$r$  – индекс, обозначающий приёмник;

$s$  – индекс, обозначающий спутник.

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

obs (файлы наблюдений) + sp3 (точные эфемериды)



GAMP



$$x_0 = \text{median}(x)$$

$$y_0 = \text{median}(y)$$

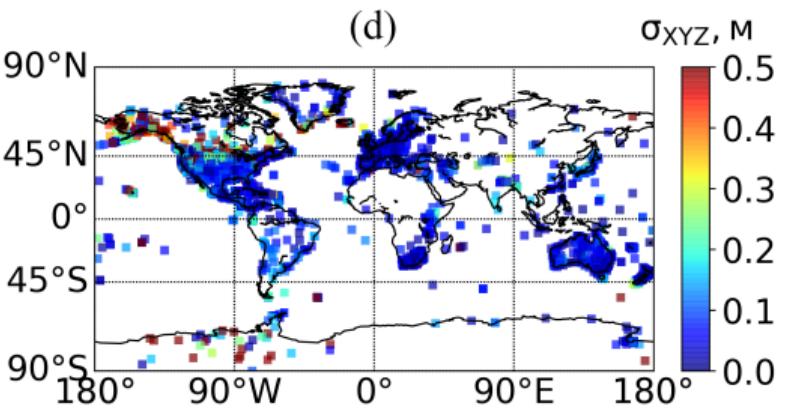
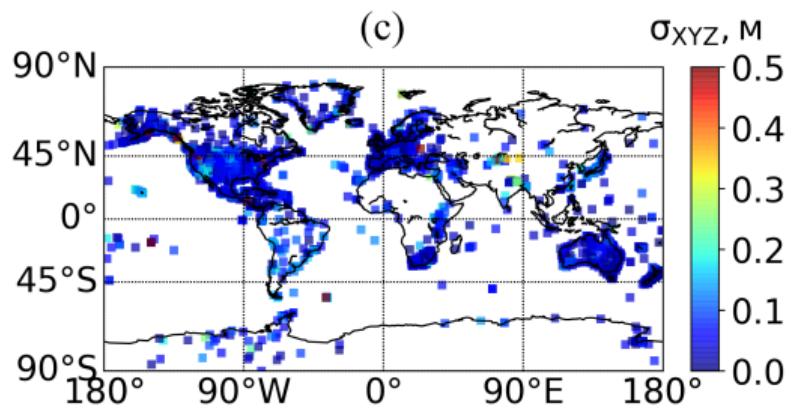
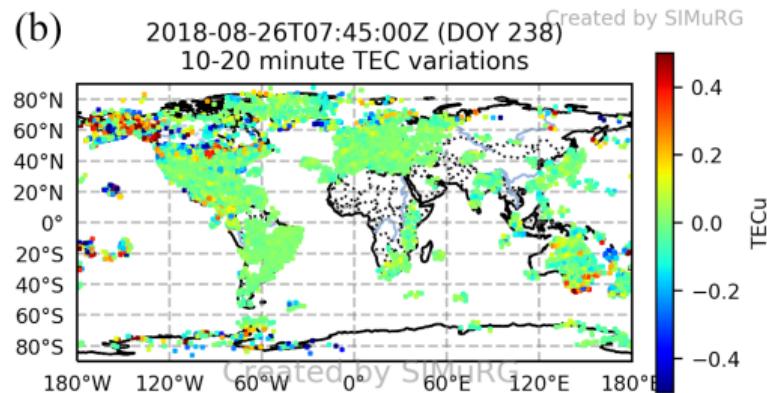
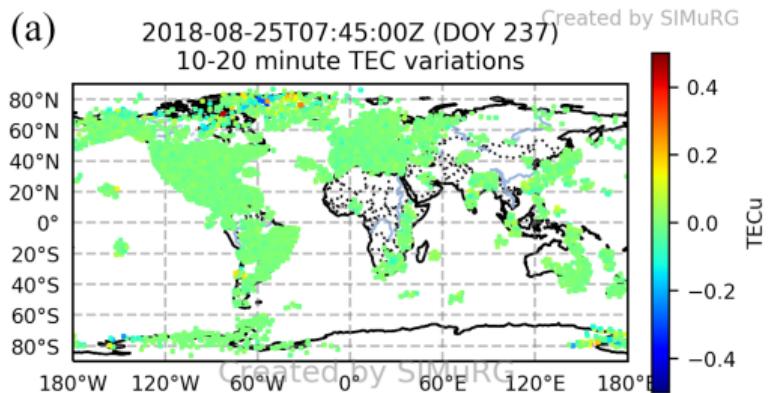
$$z_0 = \text{median}(z)$$



$$\sigma_{xyz} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$

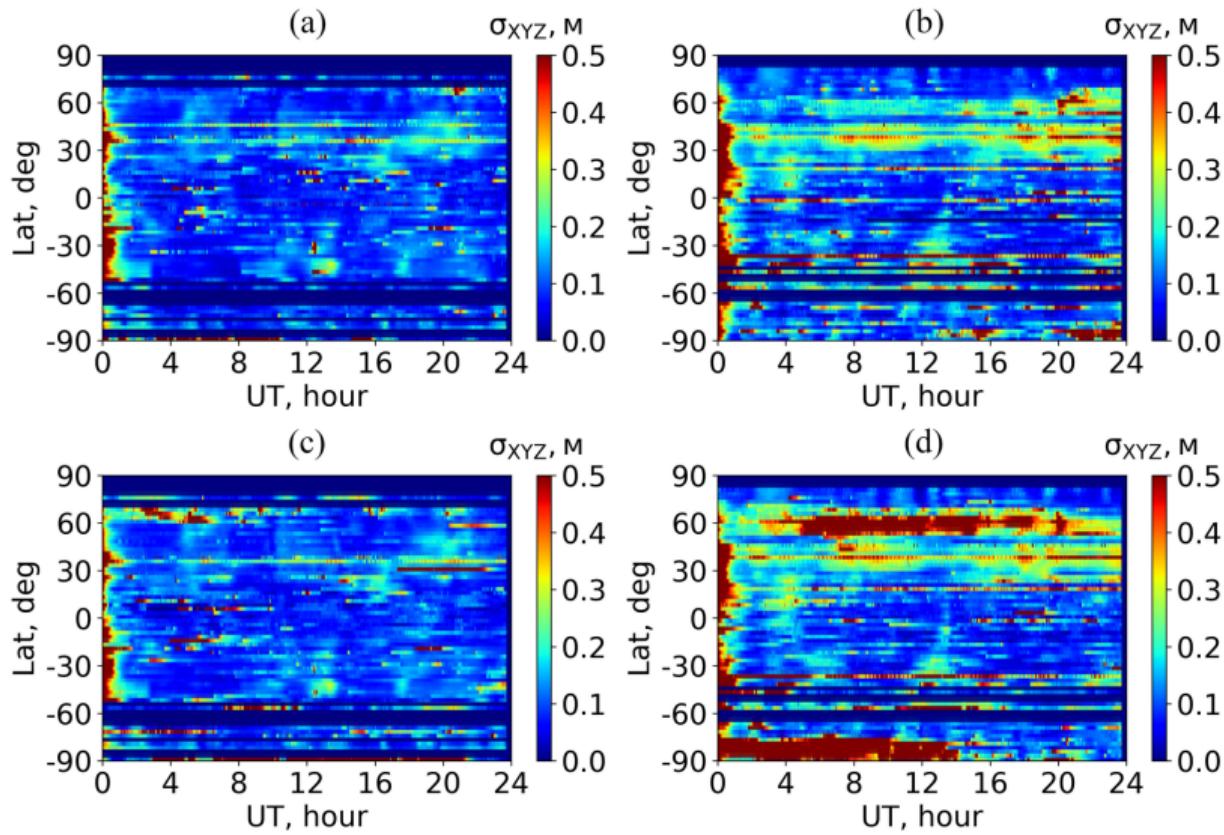
# ЧАСТЬ I

Буря 25-26 августа 2018 года



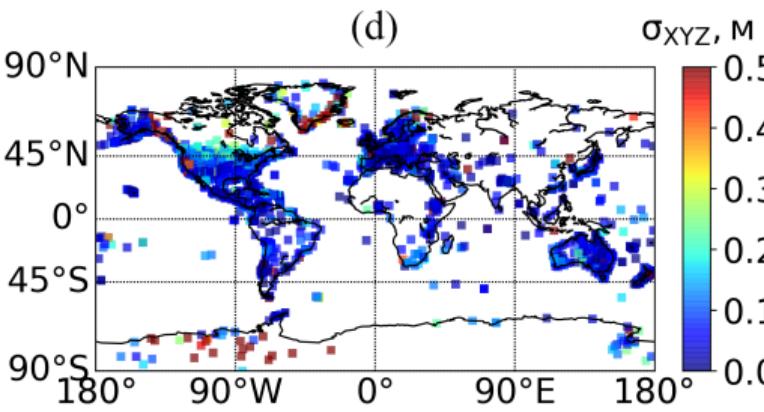
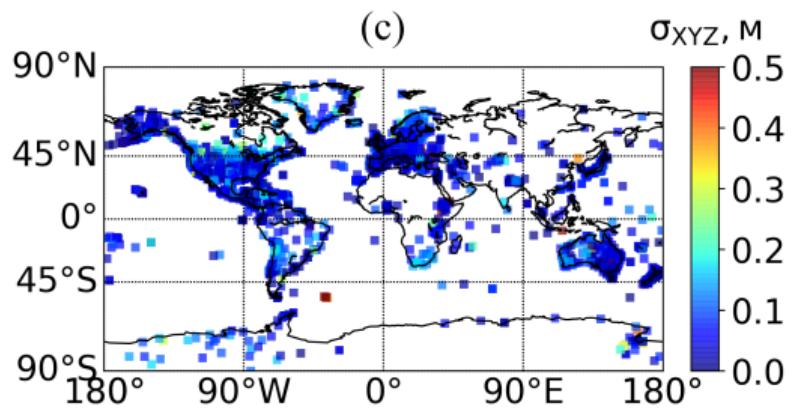
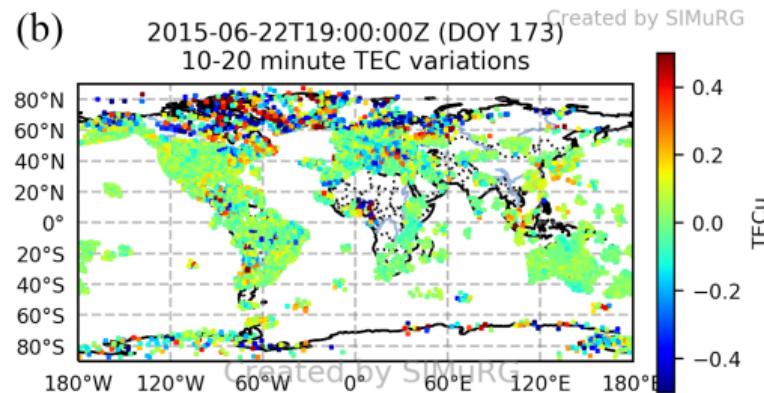
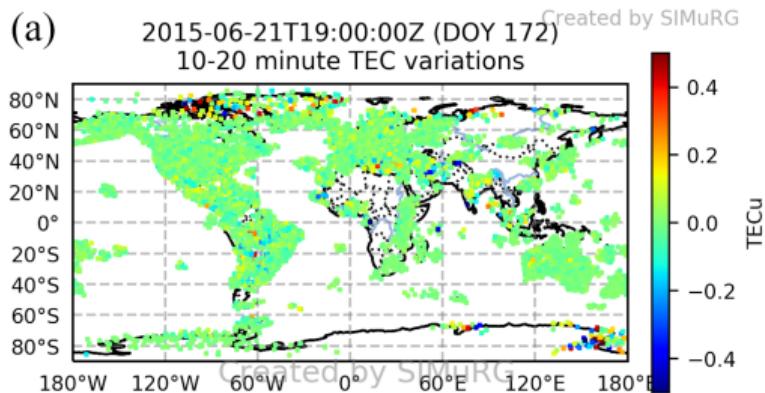
# ЧАСТЬ I

Буря 25-26 августа 2018 года



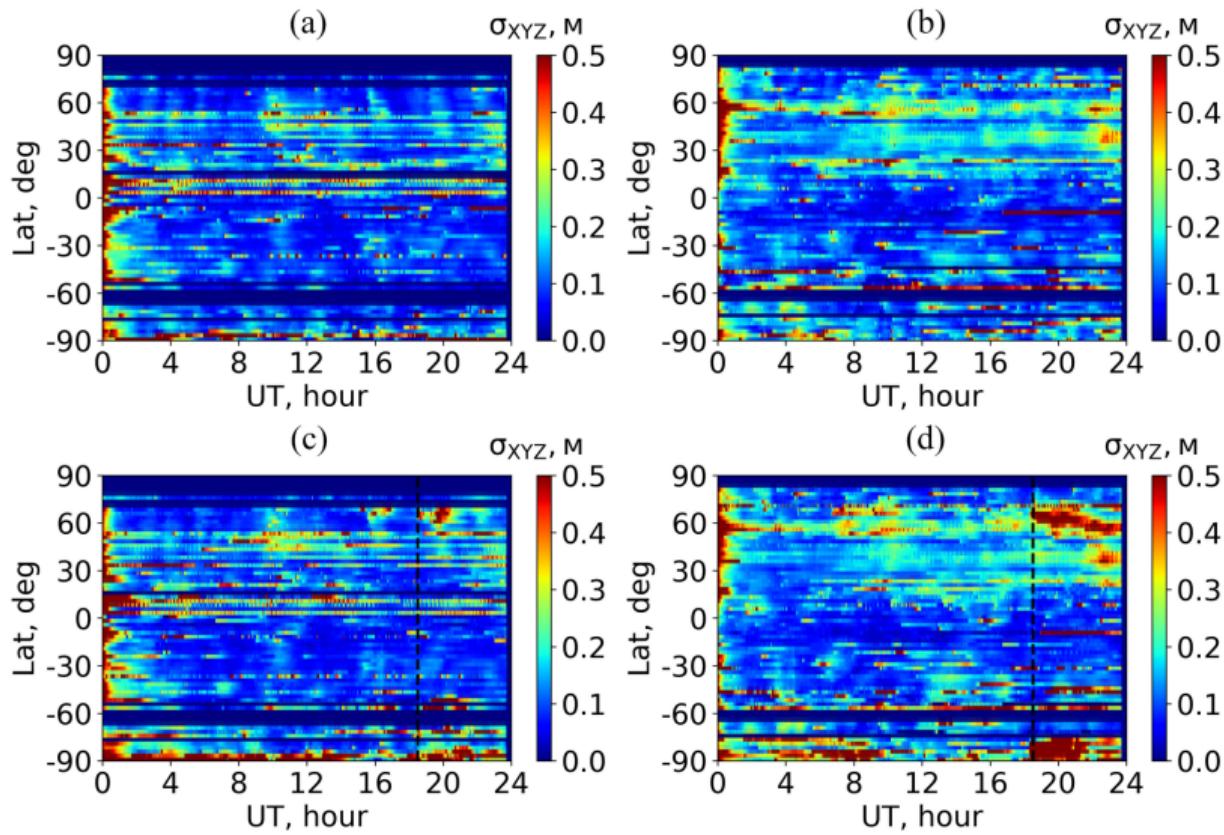
# ЧАСТЬ I

Буря 21-22 июня 2015 года



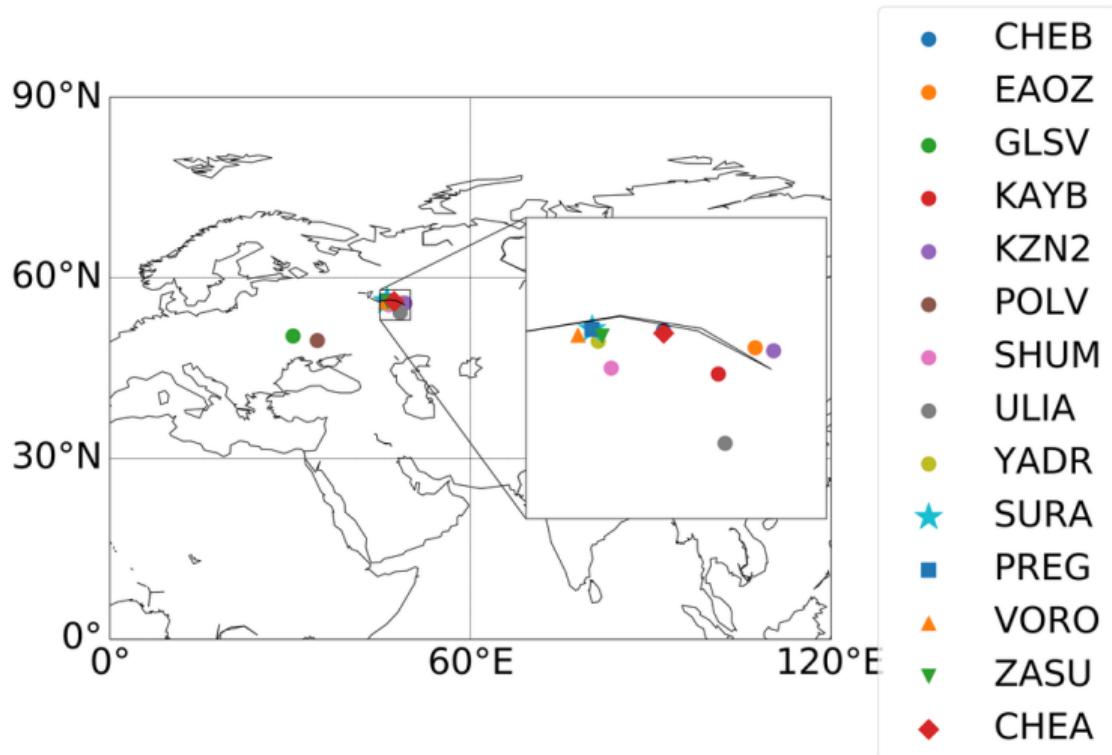
# ЧАСТЬ I

Буря 21-22 июня 2015 года



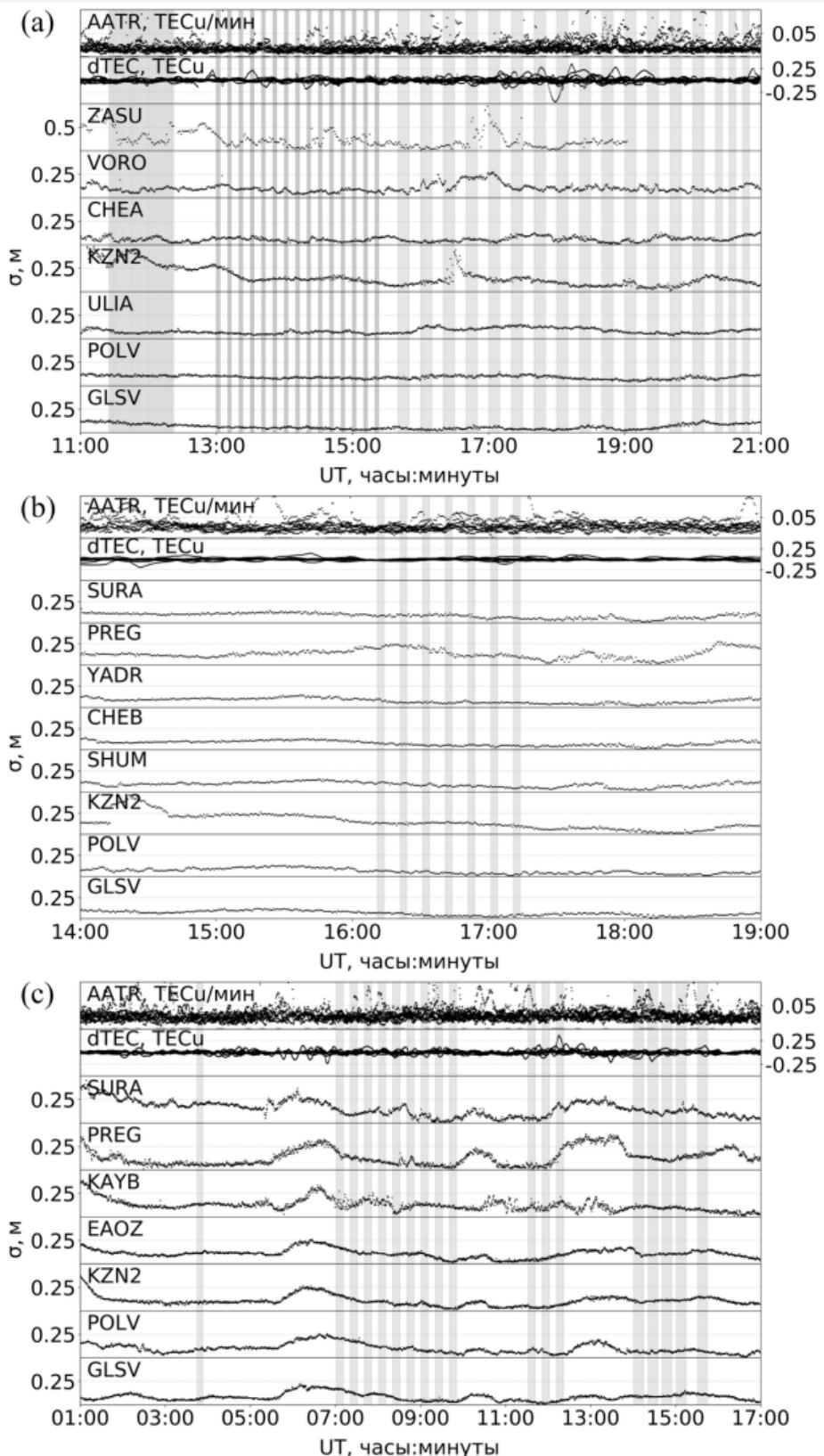
- ❶ Рассмотрены две геомагнитные бури в период 24-го цикла солнечной активности: за 25-26 августа 2018 года и 21-22 июня 2015 года.
- ❷ Установлено, что точность позиционирования PPP на средних и высоких широтах может снижаться в несколько (**до 5**) раз.
- ❸ Области снижения пространственно коррелируют с областями максимальных вариаций ТЕС (**авроральные регионы**).
- ❹ Зарегистрированные эффекты по величине **сравнимы** с эффектами от мощной солнечной радиовспышки класса X9.3 6 сентября 2018 года и по времени **продолжительнее**, чем эффекты во время более мощной бури в День святого Патрика (17 марта) 2015 года.

**СУРА** –  
экспериментальный  
радиокомплекс по  
воздействию ВЧ  
излучением на  
ионосферу. Расположен  
вблизи Нижнего  
Новгорода ( $56,15^{\circ}\text{N}$ ,  
 $46,1^{\circ}\text{E}$ ).



# ЧАСТЬ II

## Режим PPP



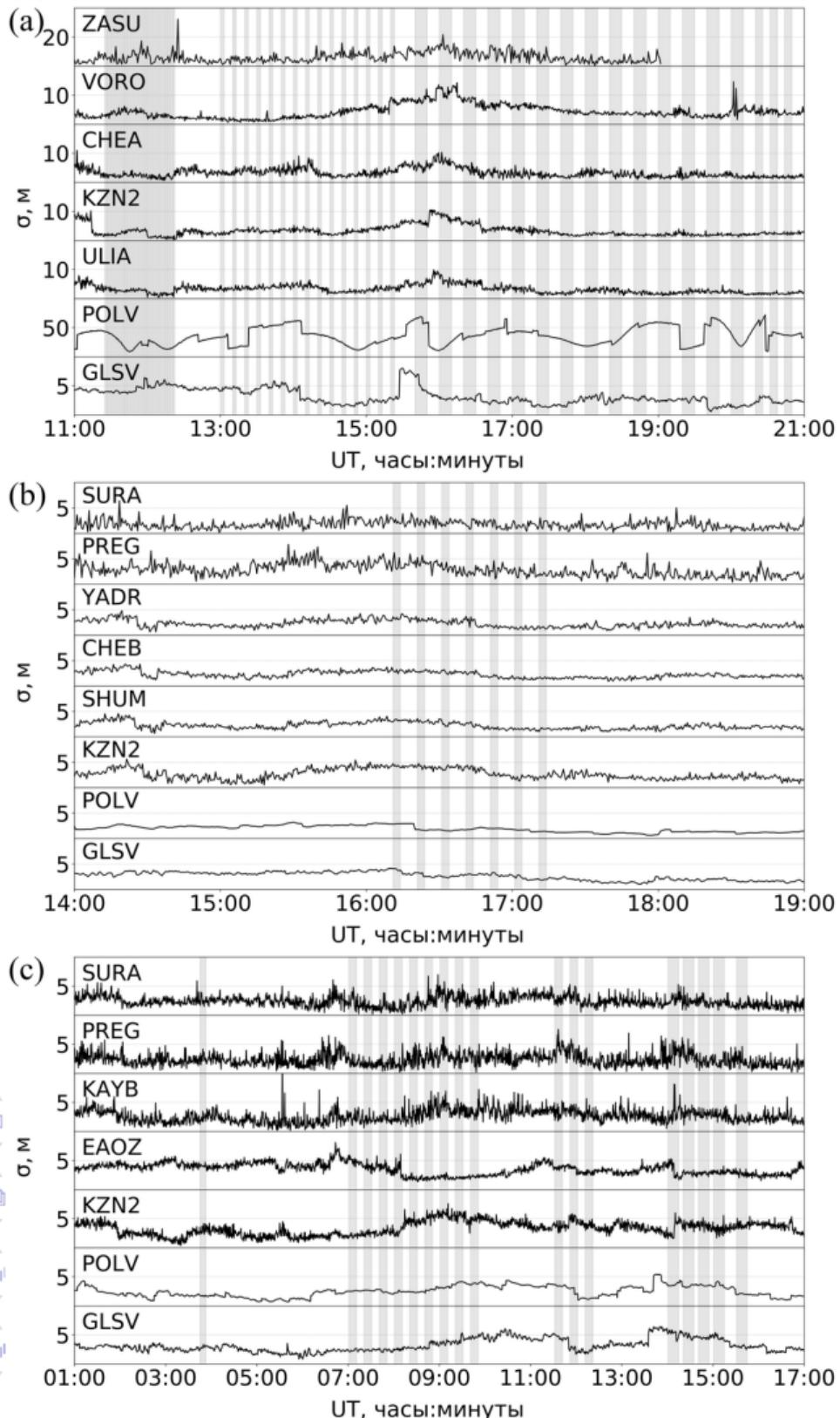
# ЧАСТЬ II

## Режим PPP

Станция	Среднее ± СКО ошибки во время нагрева, м	Среднее ± СКО ошибки во время пауз, м
23 августа 2010 года		
ZASU	$0,27 \pm 0,56$	$0,36 \pm 0,70$
VORO	$0,10 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,15$
CHEA	$0,06 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,29$
KZN2	$0,15 \pm 0,10$	$0,14 \pm 0,13$
ULIA	$0,08 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,12$
POLV	$0,09 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,21$
GLSV	$0,06 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,13$
19 сентября 2016 года		
SURA	$0,08 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,08$
PREG	$0,13 \pm 0,06$	$0,15 \pm 0,15$
YADR	$0,07 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,12$
CHEB	$0,07 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,09$
SHUM	$0,09 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,10$
KZN2	$0,39 \pm 0,43$	$0,21 \pm 0,29$
POLV	$0,05 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,09$
GLSV	$0,06 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,08$
20 сентября 2016 года		
SURA	$0,11 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,10$
PREG	$0,11 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,16$
KAYB	$0,11 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,20$
EAOZ	$0,11 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,12$
KZN2	$0,10 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,17$
POLV	$0,09 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,09$
GLSV	$0,09 \pm 0,04$	$0,08 \pm 0,04$

# ЧАСТЬ II

## Одночастотный режим по L1C коду



- ❶ Рассмотрены три экспериментальных дня на нагревательном стенде СУРА: за 23 августа 2010 года и 19-20 сентября 2016 года.
- ❷ Эффектов ухудшения точности позиционирования как в режиме PPP, так и в обычном одночастотном режиме **не обнаружено**. Возможные причины:
  - Область нагрева и амплитуда генерируемых ионосферных возмущений малы → количество лучей приёмник-спутник, проходящих через область нагрева, мало → статистический вес возможных ошибок при решении навигационной задачи мал → снижение итоговой полной ошибки.
  - Влияние искусственных ПИВ (перемещающихся ионосферных возмущений) на удалённых приёмных станциях замаскировано естественной изменчивостью среднеширотной ионосферы.