

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ GPS ПРИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ИОНОСФЕРЫ

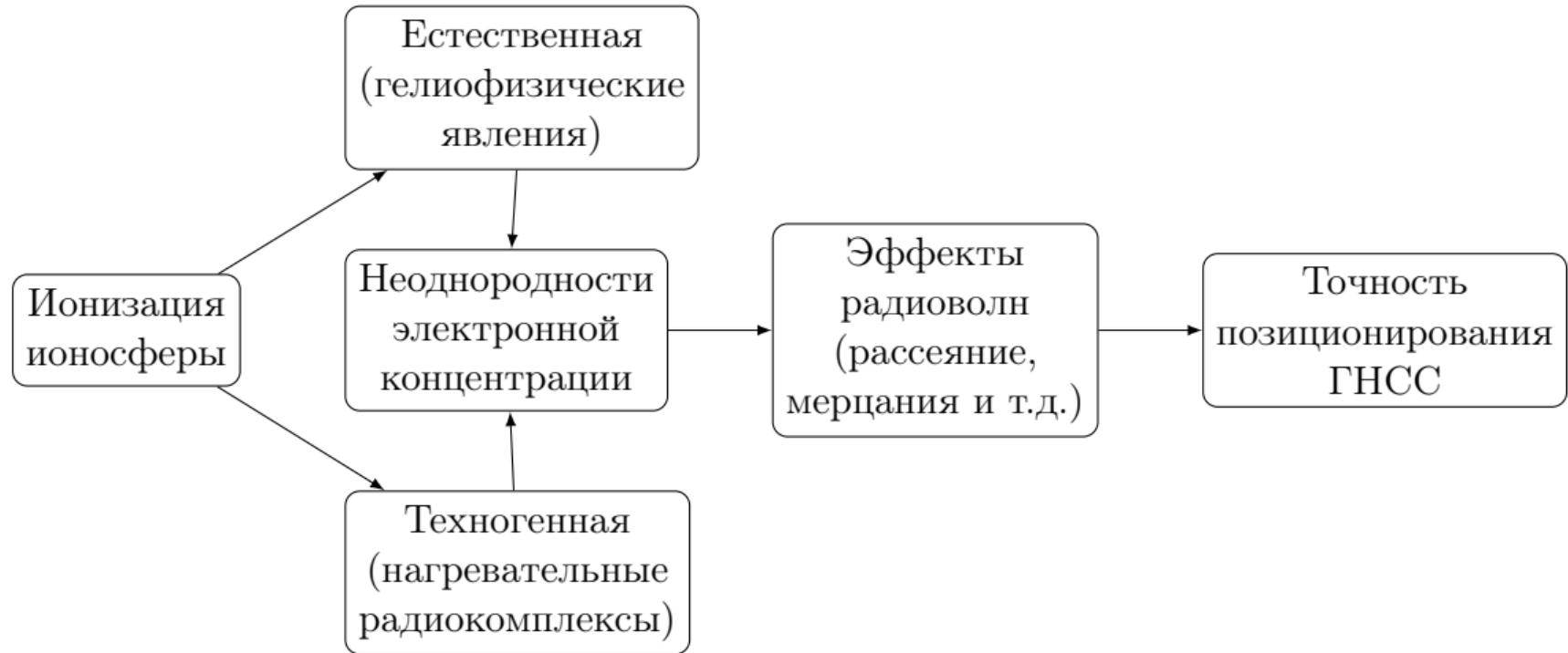
Сыроватский Семён Владиславович

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

Кафедра физики атмосферы МГУ им. М.В. Ломоносова

Москва

2020



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.

obs (файлы наблюдений) + sp3 (точные эфемериды)

GAMP

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

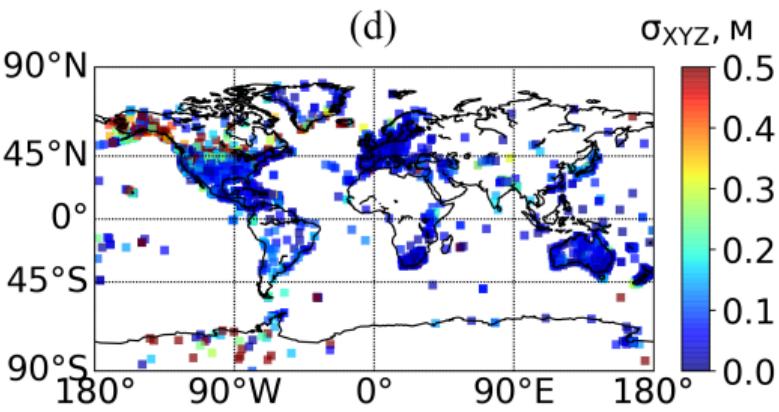
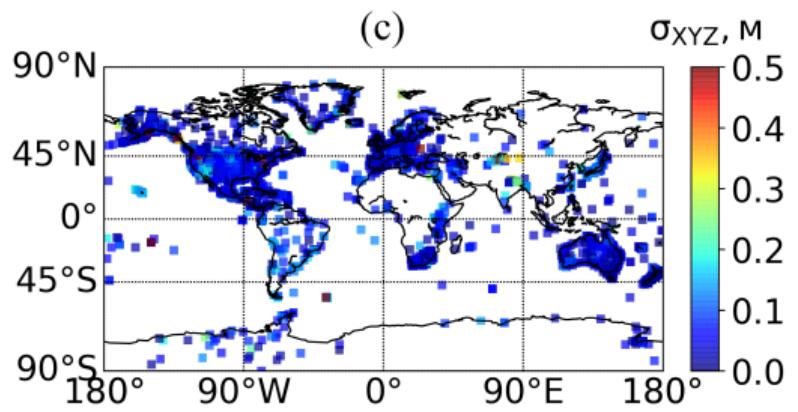
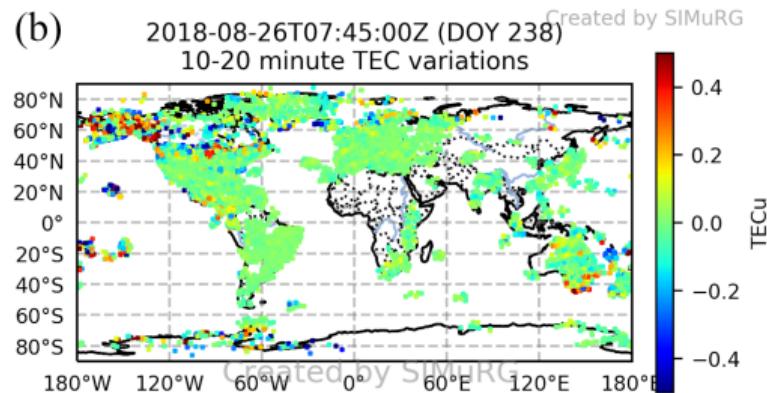
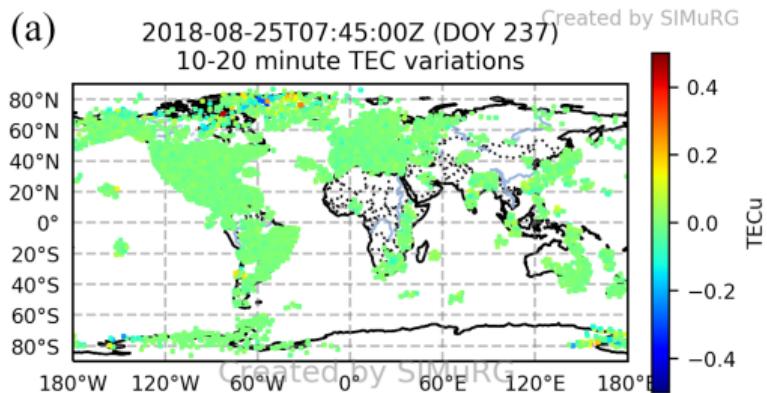
$$y_0 = \text{median}(y)$$

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

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

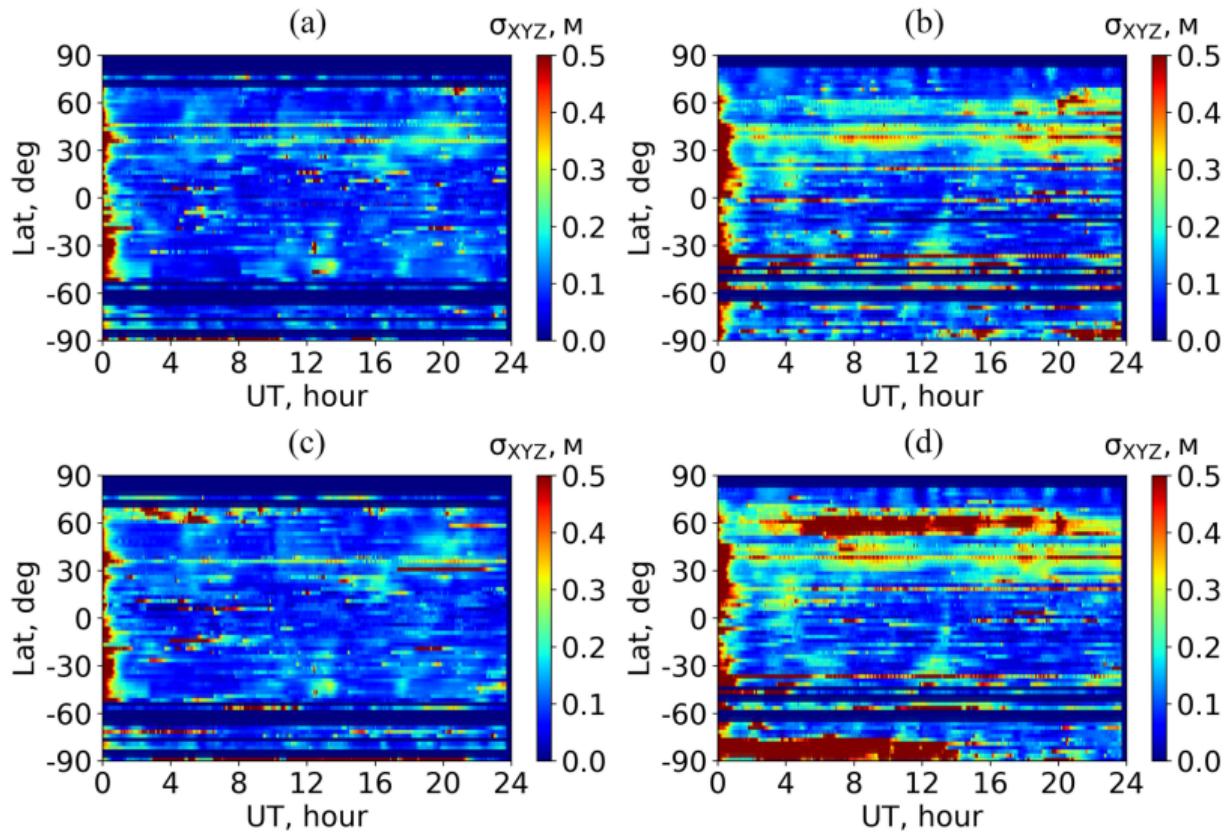
ЧАСТЬ I

Буря 25-26 августа 2018 года



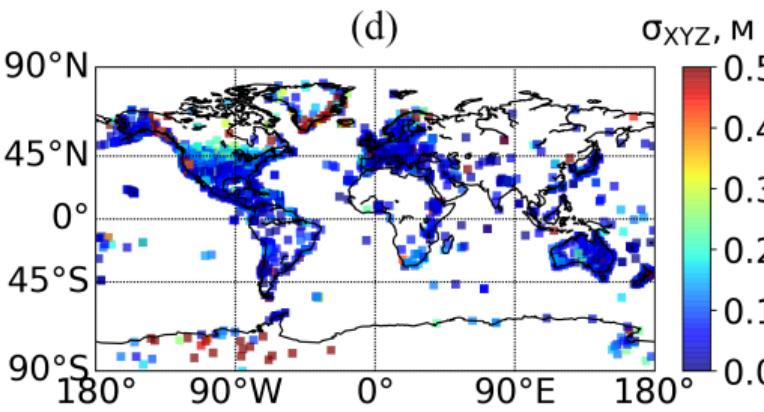
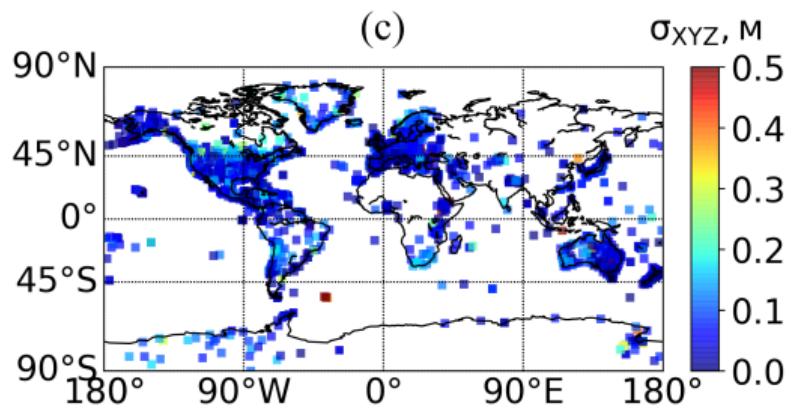
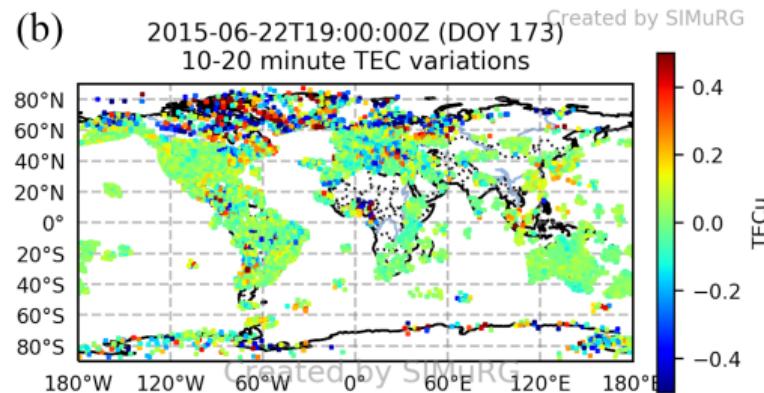
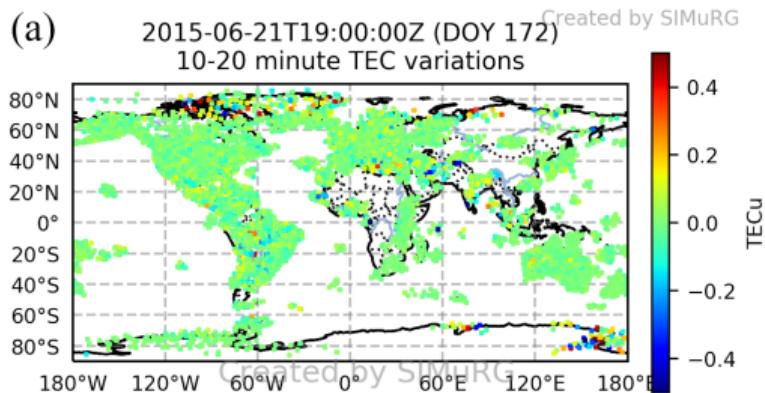
ЧАСТЬ I

Буря 25-26 августа 2018 года



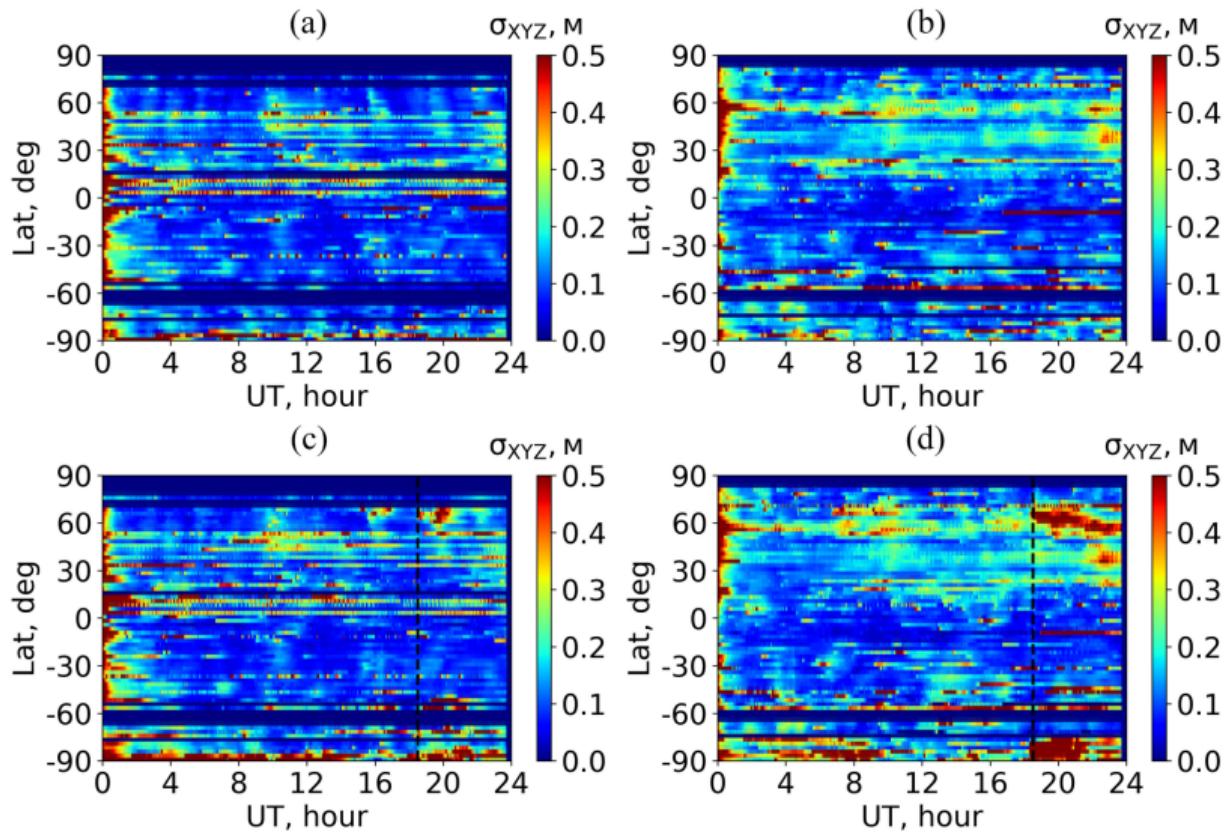
ЧАСТЬ I

Буря 21-22 июня 2015 года



ЧАСТЬ I

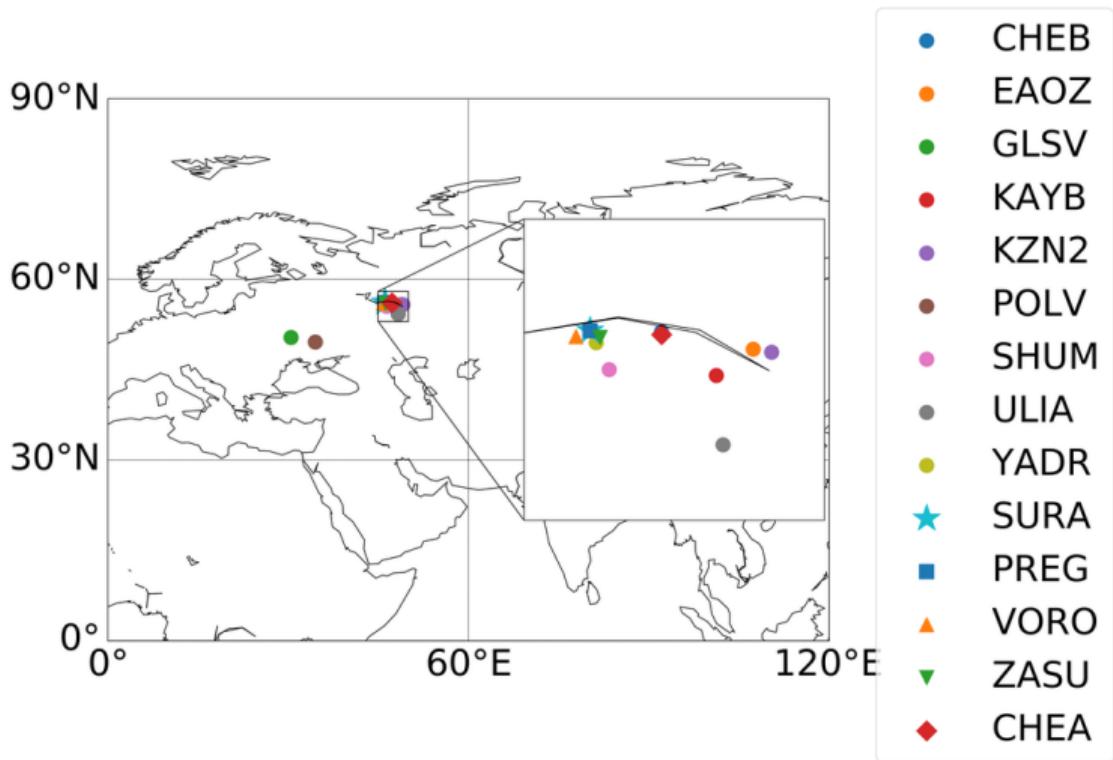
Буря 21-22 июня 2015 года



- 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.

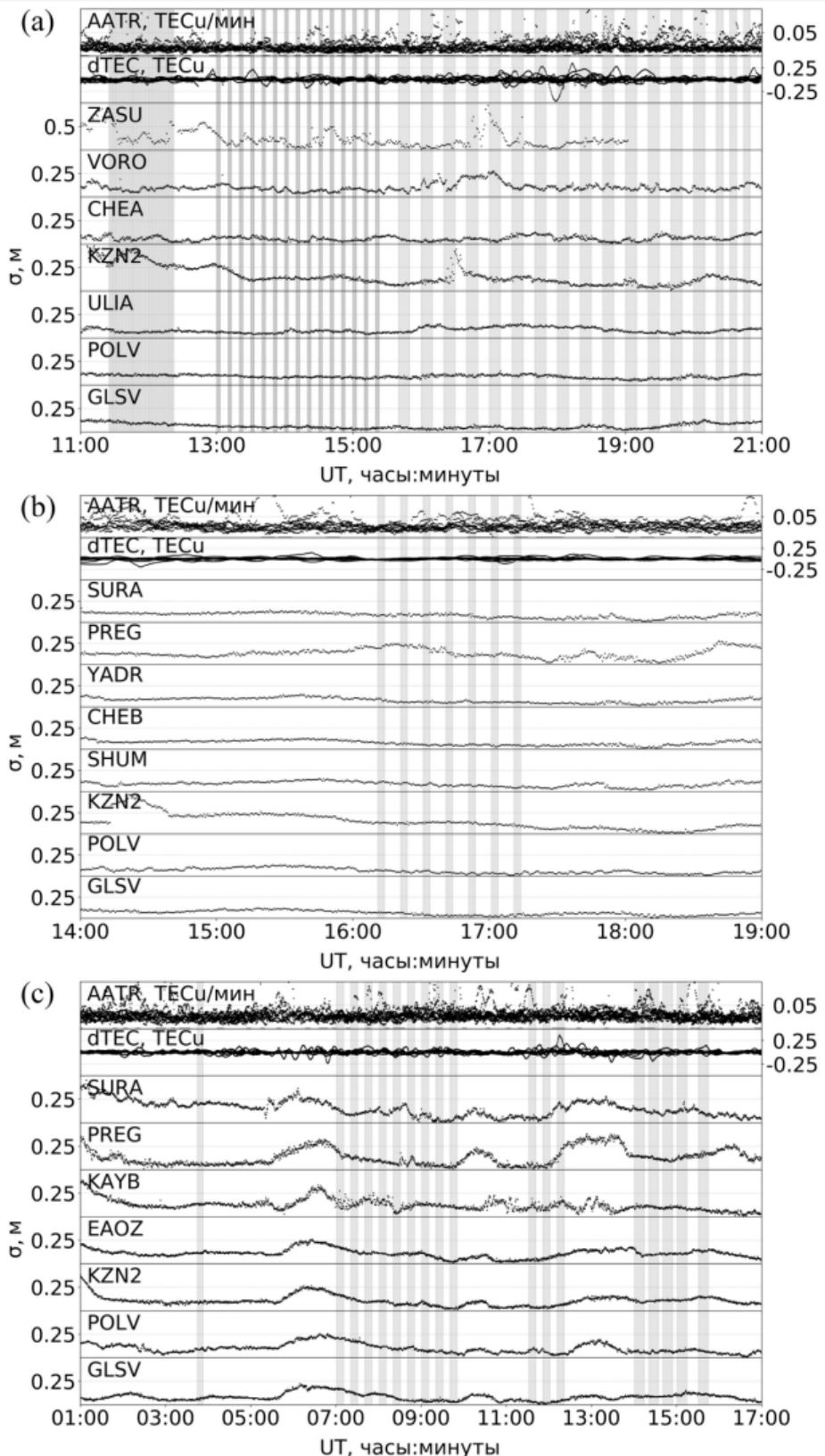
* Yu. Yasyukevich, R. Vasilyev, K. Ratovsky, A. Setov, M. Globa, S. Syrovatskii, A. Yasyukevich, A. Kiselev, A. Vesnin. Small-Scale Ionospheric Irregularities of Auroral Origin at Mid-Latitudes during the 22 June 2015 Magnetic Storm and Their Effect on GPS Positioning // *Remote Sensing*. — 2020. — Vol. 12, no. 10.

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



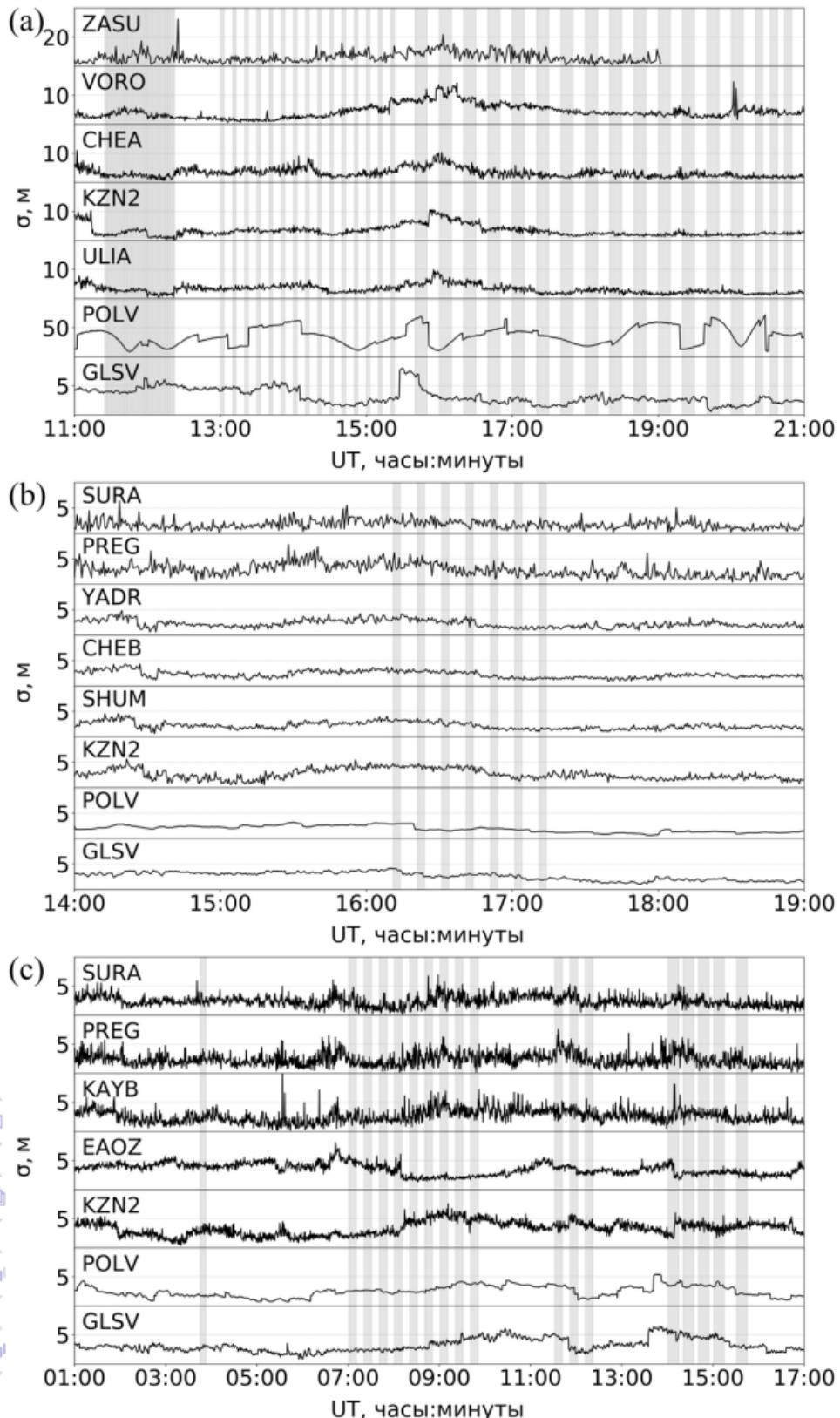
ЧАСТЬ II

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



- ① Рассмотрены три экспериментальных дня на нагревательном стенде СУРА: за 23 августа 2010 года и 19-20 сентября 2016 года.
- ② 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.

* Ю.В. Ярюкевич, С.В. Сыроватский, А.М. Падохин, В.Л. Фролов, А.М. Веснин, Д.А. Затолокин, Г.А.

Курбатов, Р.В. Загретдинов, А.В. Першин, А.С. Ярюкевич. Точность позиционирования GPS в различных режимах при активном воздействии на ионосферу мощным КВ-излучением нагревного стенда СУРА // Известия вузов.