



Детектирование главного ионосферного провала по данным ГНСС и ионозондов

Черниговская М.А., Перевалова Н.П., Сетов А.Г.
Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск



*Двадцать вторая международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, 13.11.2024*

ВВЕДЕНИЕ

В цикле предыдущих исследований были проанализированы пространственно-временные возмущения в ионосфере над Евразией (и, в целом, над Северным полушарием), связанные с воздействием геомагнитной активности, во время нескольких экстремальных и сильных магнитных бурь 24 цикла солнечной активности на основе совместного анализа данных:

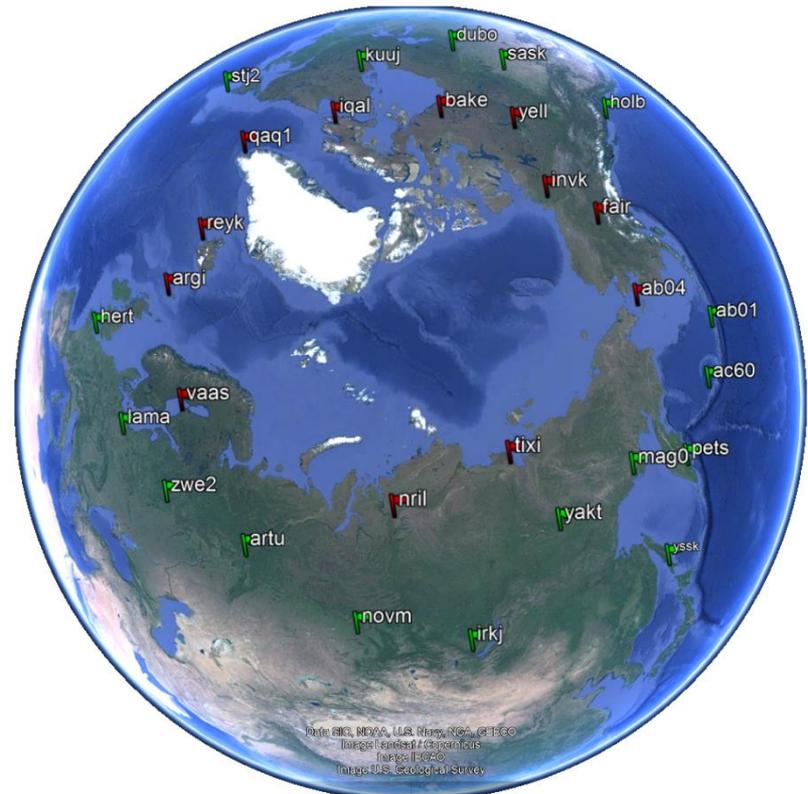
- евразийских средне- и высокоширотной цепей ионозондов
- глобальных средне- и высокоширотной цепей приемников GPS/ГЛОГАСС

Опубликовано в (Shpynev et al., JASTP, 2018; Chernigovskaya et al., ASR, 2021; Черниговская и др., СПДЗЗ, 2017, 2019-2024; Черниговская и др., СЗФ, 2022-2024).

Схемы расположения цепей ионозондов (а) и приемников GPS/ГЛОНАСС (б)



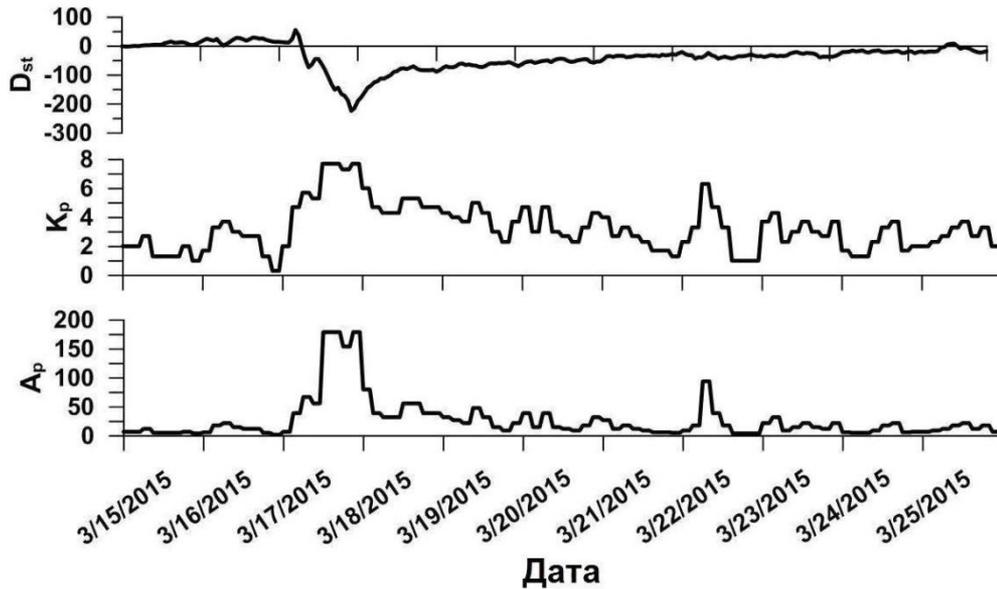
а



б

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование пространственно-временных вариаций электронной концентрации (конкретно, структурной крупномасштабной пространственной неоднородности ионизации – главного ионосферного провала (ГИП)) по данным средне- и высокоширотных цепей ионозондов и приемников GPS/ГЛОНАСС во время экстремальной геомагнитной бури 17-21 марта 2015 г.

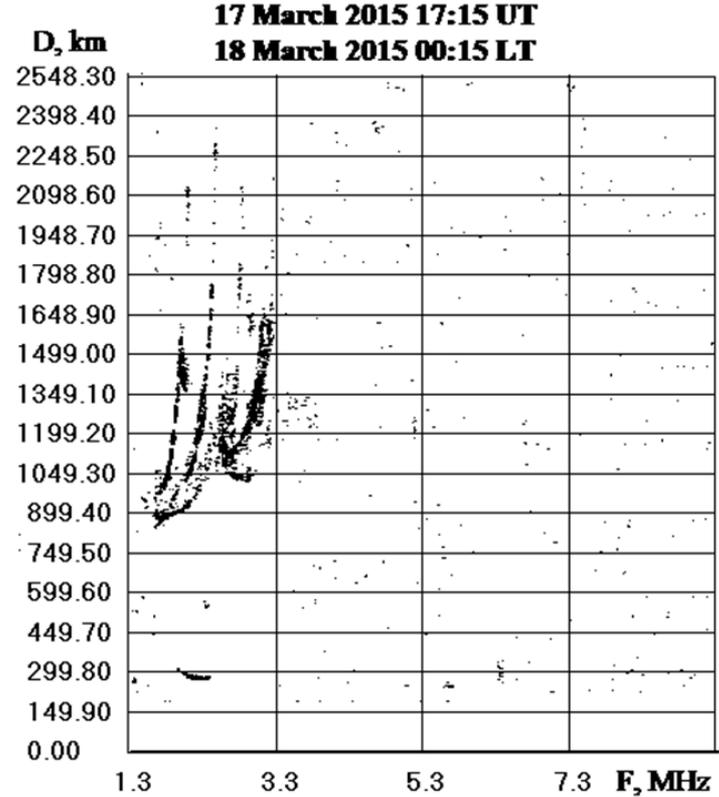
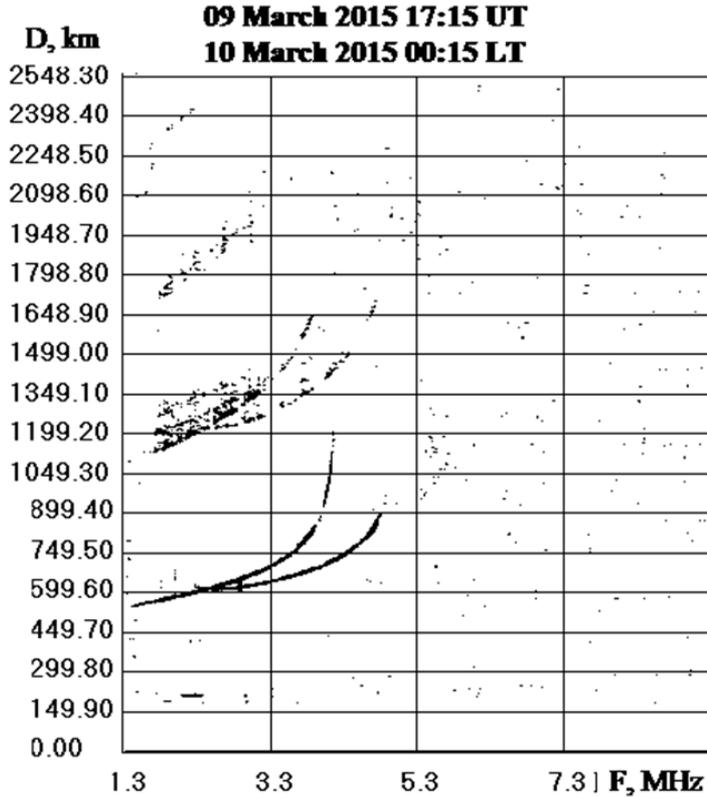


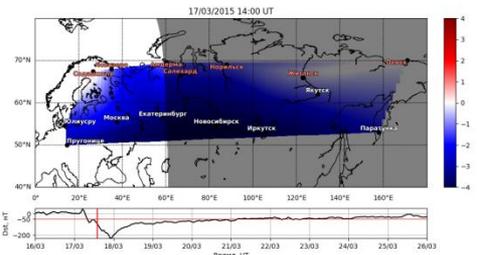
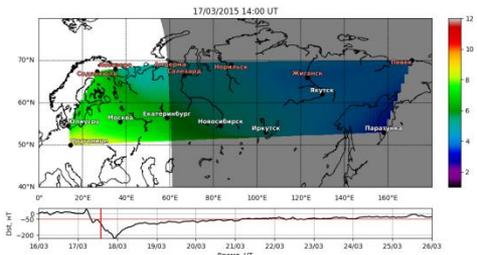
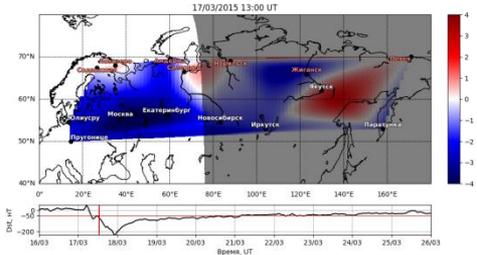
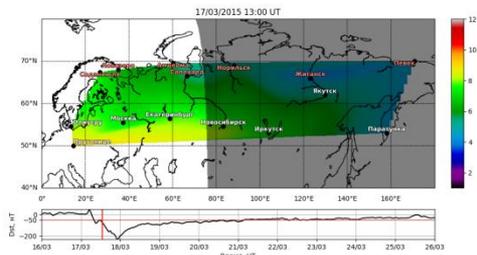
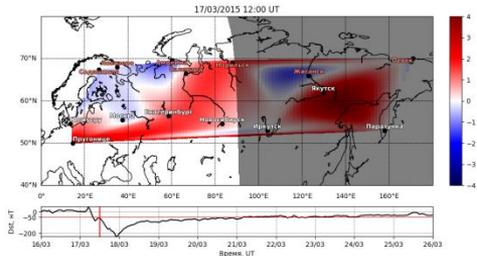
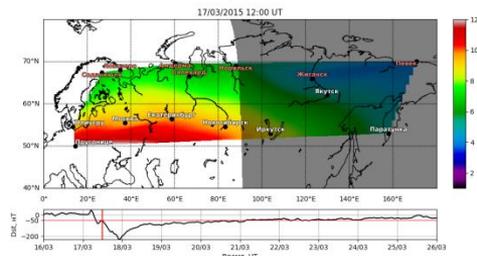
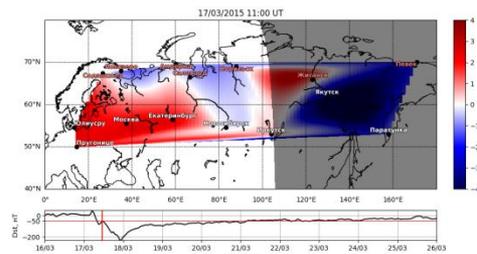
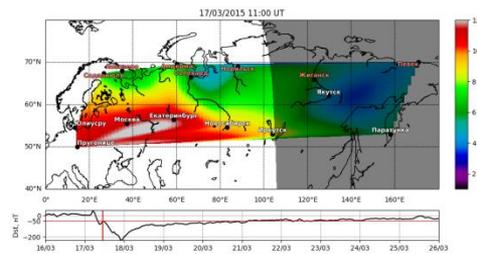
В максимуме бури (~23:00 UT 17.03.2015 г.) Dst-индекс понизился до -223 нТл

Кр-индекс возростал до 8–

Ар-индекс достиг 179.

Пример стандартной ионограммы и ионограммы аврорального типа





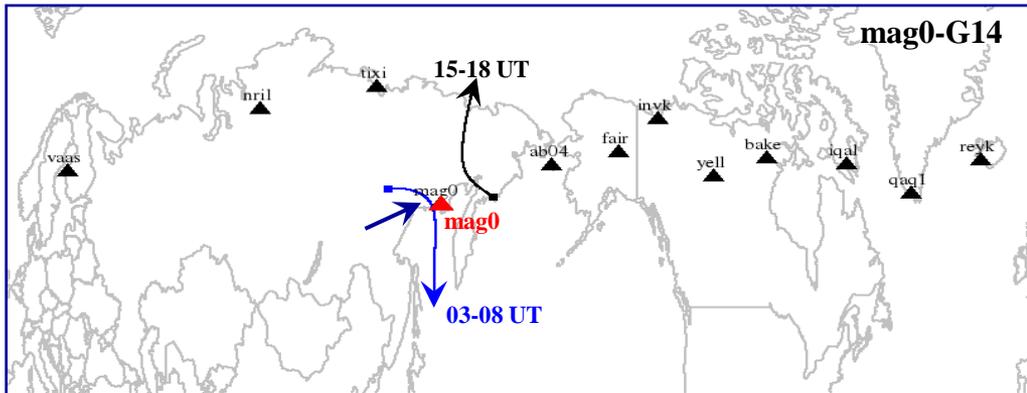
Карты пространственно-временных вариаций критической частоты foF2 и абсолютных отклонений foF2 по данным измерений на цепях евразийских ионозондов с 11 до 14 UT 17 марта 2015 г. на главной фазе бури

Благодарность коллегам из Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Новосибирска, Иркутска, Якутска и Паратунки, представляющих ИЗМИРАН, АНИИ, ИГФ УрО РАН, ИНГГ СО РАН, ИСЗФ СО РАН, ИКФИА СО РАН, ИКИР ДВО РАН, за НАУЧНУЮ КООПЕРАЦИЮ!!!!



ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Детектирование, локализация и анализ динамики ГИП по данным глобальных средне- и высокоширотной цепей приемников GPS/ГЛОНАСС в период геомагнитной бури 17-21 марта 2015 г.



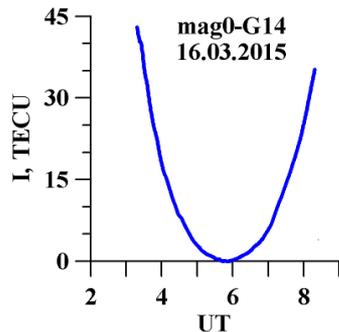
В первом приближении предполагается, что ПЭС формируется в ионосферной точке (ИТ) – точке пересечения луча "приемник-спутник" со слоем нулевой толщины, расположенным на высоте максимума F2-слоя ионосферы ($h_{\text{max сред}} = 300 \text{ км}$). Траектории луча ИТ на

карте отражают перемещение спутников ГНСС относительно приемника ГНСС.

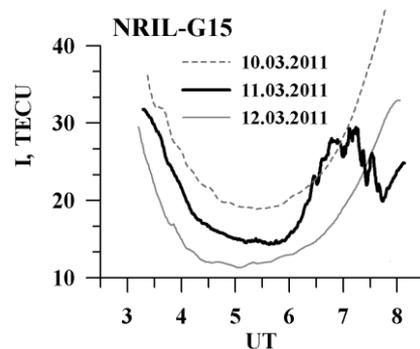
Для пространственной локализации вариаций наклонного ПЭС рассчитывались координаты ИТ (широта φ , долгота λ). В результате расчетов получены временные ряды $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, соответствующие рядам $I(t)$.

Характерный и аномальный временной ход наклонного ПЭС

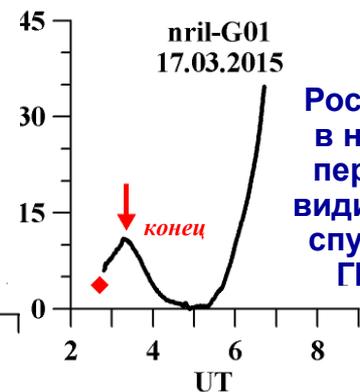
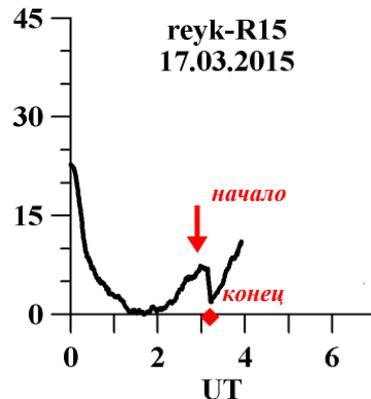
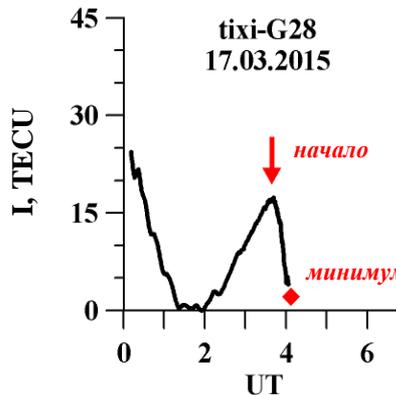
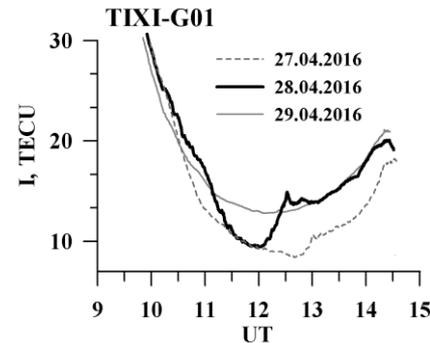
Вдоль траектории луча ИТ **характерной** является близкая к параболе форма временного хода наклонного ПЭС, что определяется изменением угла места спутника ГНСС. Минимальное значение ПЭС наблюдается при максимальном угле места луча "приемник-спутник"



Аномальный спад ПЭС



Аномальный рост ПЭС

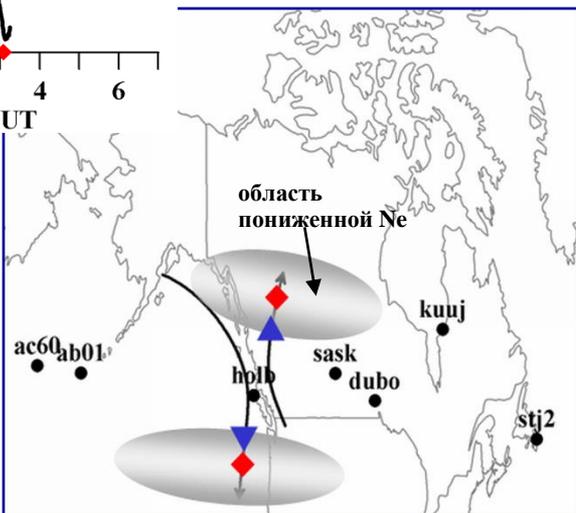


Рост ПЭС
в начале
периода
видимости
спутника
ГНСС

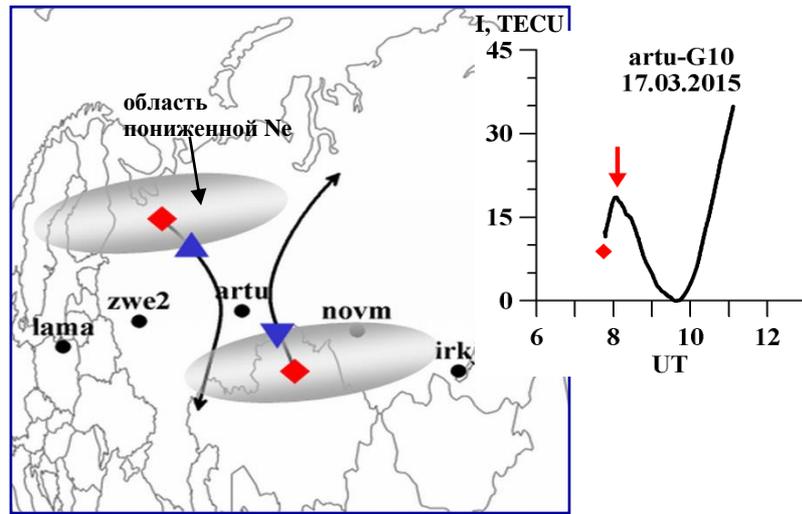
Интерпретация аномалий ПЭС с учетом траектории движения луча "приемник-спутник"



Начало аномального падения ПЭС можно интерпретировать как пересечение лучом полярной или экваториальной стенки области пониженной ионизации, если луч перемещался с севера на юг или с юга на север, соответственно.

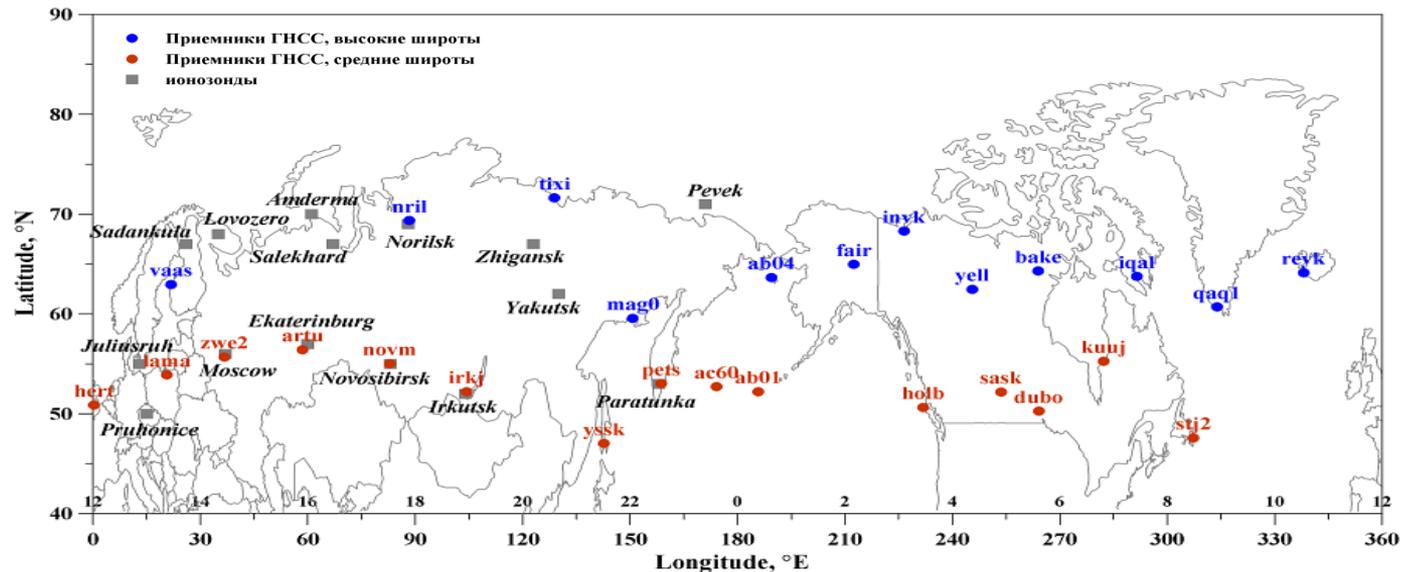


◆ - минимум ионизации ▲ - экваториальная стенка ▼ - полярная стенка



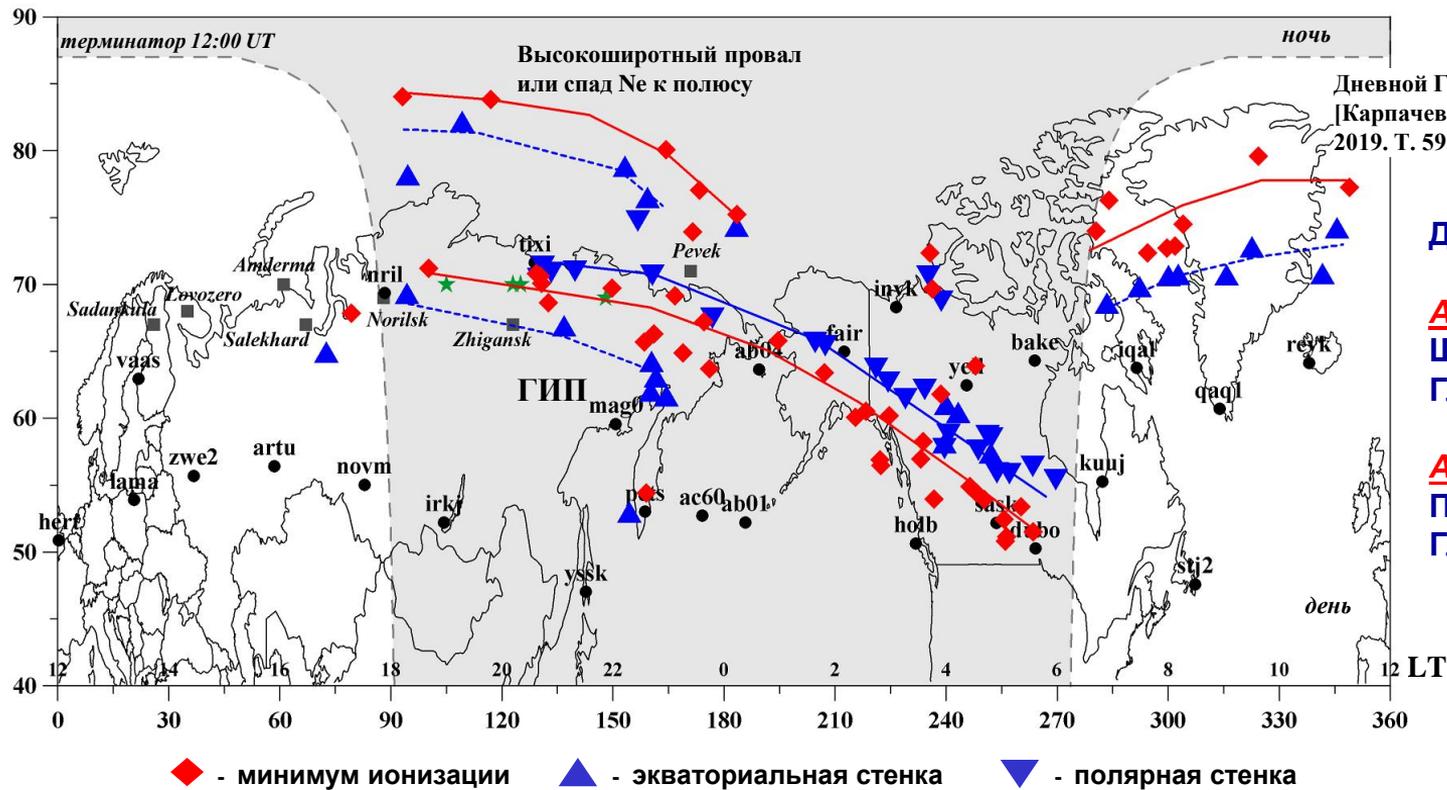
Конец аномального роста ПЭС соответствует пересечению лучом экваториальной или полярной стенки области пониженной ионизации, если луч перемещался с севера на юг или с юга на север.

Геометрия измерений 16-17 марта 2015 г.



На карту были нанесены характерные точки аномальных вариаций ПЭС от всех возможных приемников ГНСС с учетом типа зарегистрированной аномалии ПЭС (спад или рост), а также направления перемещения луча ИТ (на север или на юг). Т.о. была построена картина распределения областей пониженной концентрации для двух дней 16 и 17 марта 2015 г.

ГИП в 16 марта 2015 г. (10:00-14:00 UT) до начала бури



ГИП

Диапазон долгот: 95-267E

Азия:

Ширина: ~ 5.7°

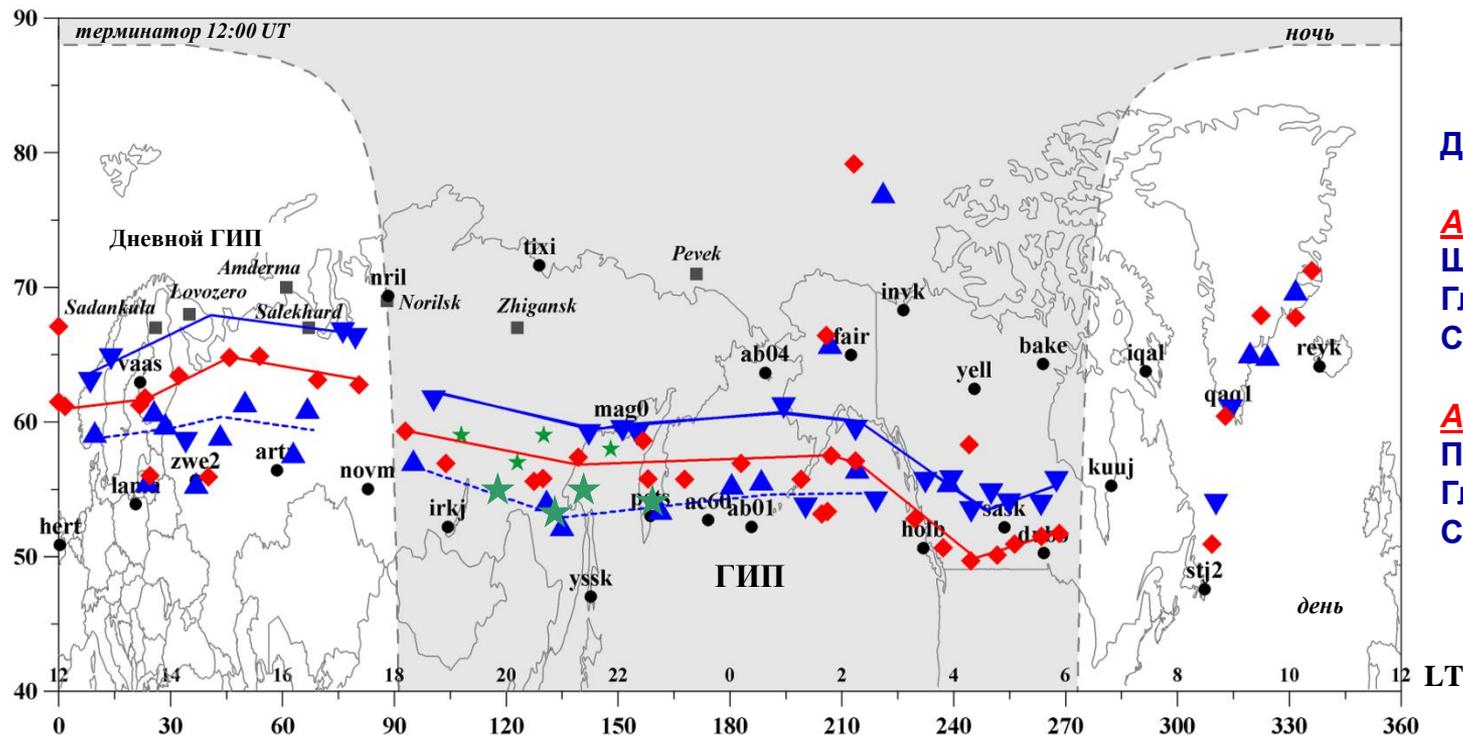
Глубина: ~ 5.2 TECU

Америка:

П/Ширина: ~ 2.5°

Глубина: ~ 6.2 TECU

ГИП 17 марта 2015 г. (10:00-14:00 UT), главная фаза



◆ - минимум ионизации ▲ - экваториальная стенка ▼ - полярная стенка

ГИП

Диапазон долгот: 93-267E

Азия:

Ширина: ~ 6.0°

Глубина: ~ 7.8 TECU

Смещение: ~ 11°

Америка:

П/Ширина: ~ 3.4°

Глубина: ~ 9.3 TECU

Смещение: ~ 5°-0.3°

ВЫВОДЫ

- По данным GPS/ГЛОНАСС исследовано поведение ГИП во время экстремальной геомагнитной бури 17-21 марта 2015 г. Для выделения ГИП проведен анализ аномальных отклонений в поведении ПЭС на лучах "приемник – спутник" в слобовозмущенный день 16 марта и на главной фазе бури 17 марта 2015 г. Выявлены ионосферные провалы на ночной и дневной сторонах. Показано, что классический ночной ГИП представляет собой самое крупное образование, охватывающее весь ночной сектор.
- Установлено, что в слобовозмущенный день 16 марта отчетливо выражено уменьшение широты ГИП с увеличением долготы: в американском секторе провал располагается на более низких широтах ($66-52^{\circ}\text{N}$), чем в азиатском ($71-68^{\circ}\text{N}$). В результате чего ГИП имеет достаточно большой наклон в направлении с северо-запада на юго-восток.
- На главной фазе геомагнитной бури 17 марта 2015 г. произошло заметное смещение ночного ГИП в более низкие широты, а также увеличение его глубины. Наибольшее смещение (около 11°) наблюдались в Азиатско-Тихоокеанском регионе, где ГИП сместился фактически до средних широт. В американском секторе смещение было минимальным: не более 5° над западным побережьем Канады и около 0.3° вблизи утреннего терминатора. Неравномерное смещение привело к тому, то на главной фазе бури расположение ГИП стало близко к широтному.



ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта
РНФ №23-27-00322



*Двадцать вторая международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, 13.11.2024*