



МИРЭА – Российский
технологический
университет



АО «НПК «Научно-
исследовательский институт
дальней радиосвязи»



Институт прикладной
геофизики им. ак.
Е. К. Федорова (ИПГ)

Обработка результатов эксперимента по совмещенному (вертикальному и наклонному) зондированию ионосферы на ионозондах серии "Парус-А"

Литвинов С.В. РТУ МИРЭА

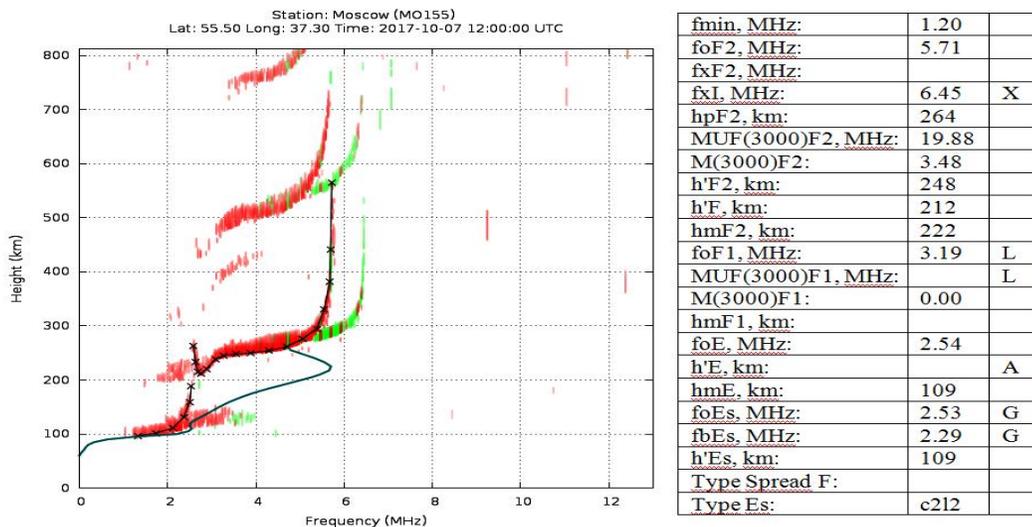
Глинкин И.А. АО «НПК «НИИДАР»

Паньшин Е.А. ФГБУ «ИПГ»

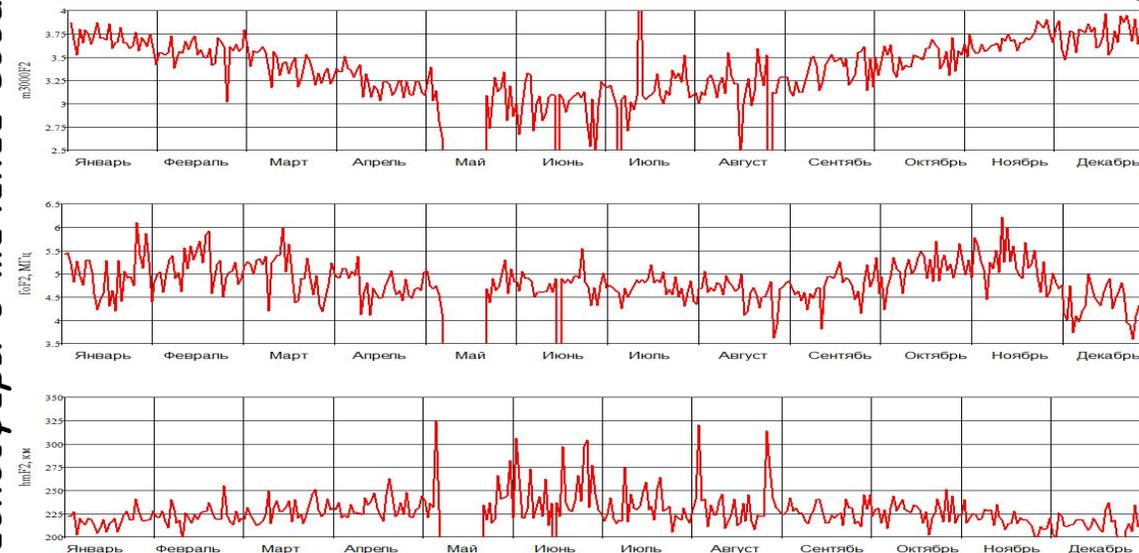
Скрипачев В.О. РТУ МИРЭА

Основные параметры ионосферы

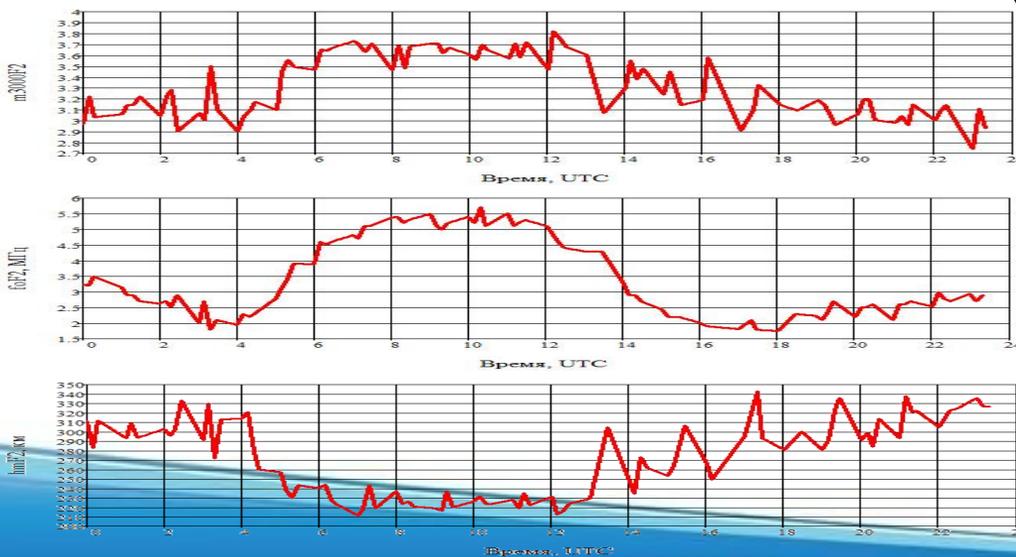
Типичная ионограмма



Изменение параметров ионосферы в течение года

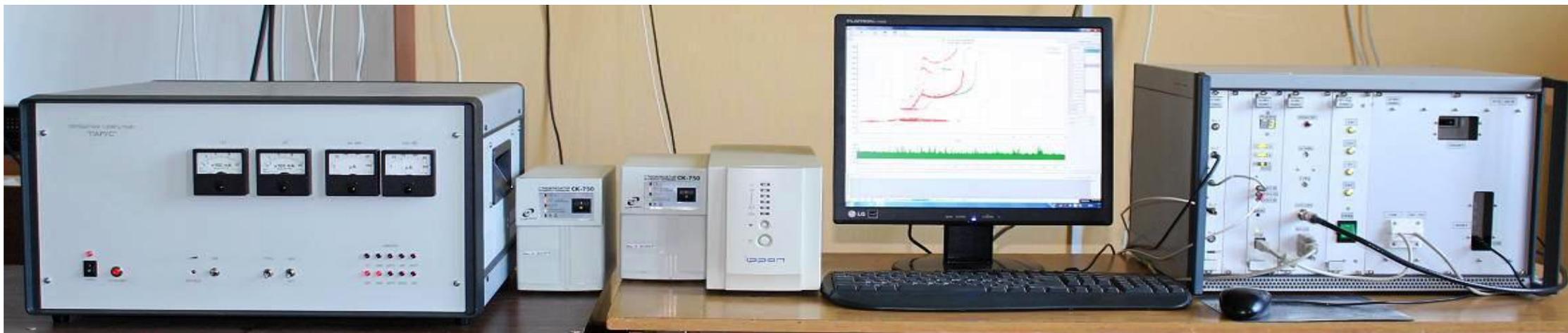


Изменение параметров ионосферы в течение суток

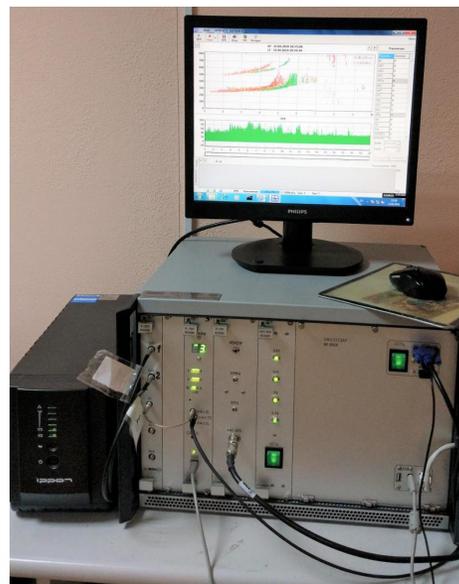
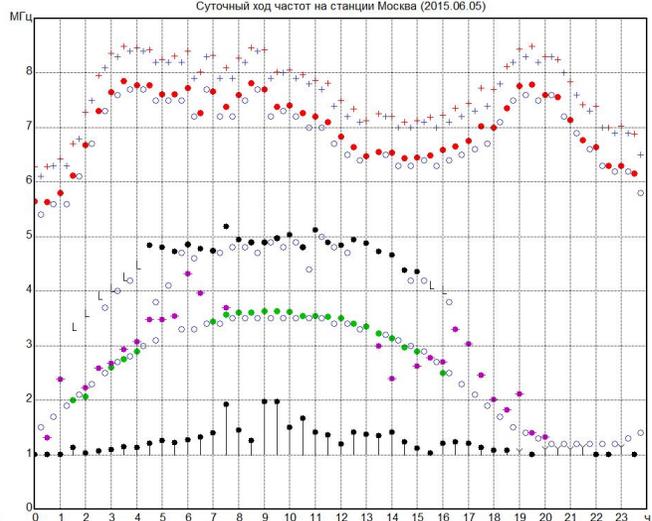


- $foF2$ – критическая частота O-компоненты, отраженной от самого высокого слоя – F2;
- $hmF2$ – минимальная действующая высота слоя F2;
- $M3000F2$ – коэффициент, показывающий отношение максимально применимой частоты (МПЧ), отражающейся от слоя F2 при наклонном падении на расстояние скачка, равное 3000 км, к критической частоте $foF2$.

Ионозонд «Парус-А» (ФГБУ «ИПГ»)



Суточный ход частот на станции Москва (2015.06.05)



Технические характеристики

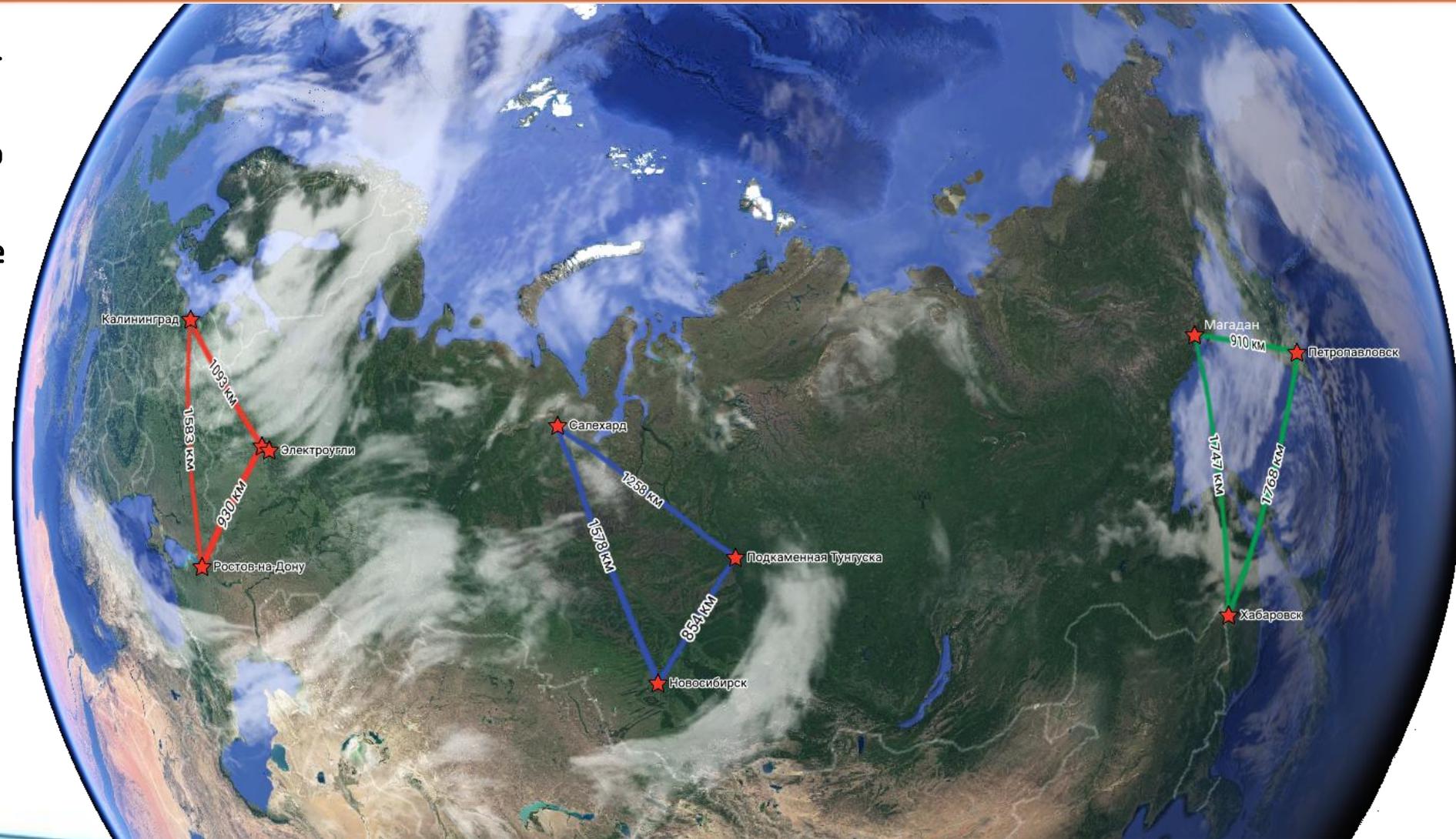
- 1 Диапазон частот - 1...20 МГц
- 2 Импульсная мощность - 10000 Вт
- 3 Длительность излучаемого сигнала - 10...200 мкс
- 4 Частоты повторения - 50...100 Гц
- 5 Минимальный шаг перестройки по частоте - 1 Гц



Внесен в Госреестр средств измерений под №51425-12

Расположение ионозондов «Парус-А»

Совмещенное зондирование – одновременное проведение вертикального и наклонного зондирования ионосферы. Для работы в таком режиме ионозонды синхронизируются по сигналам Системы единого времени (СЕВ).



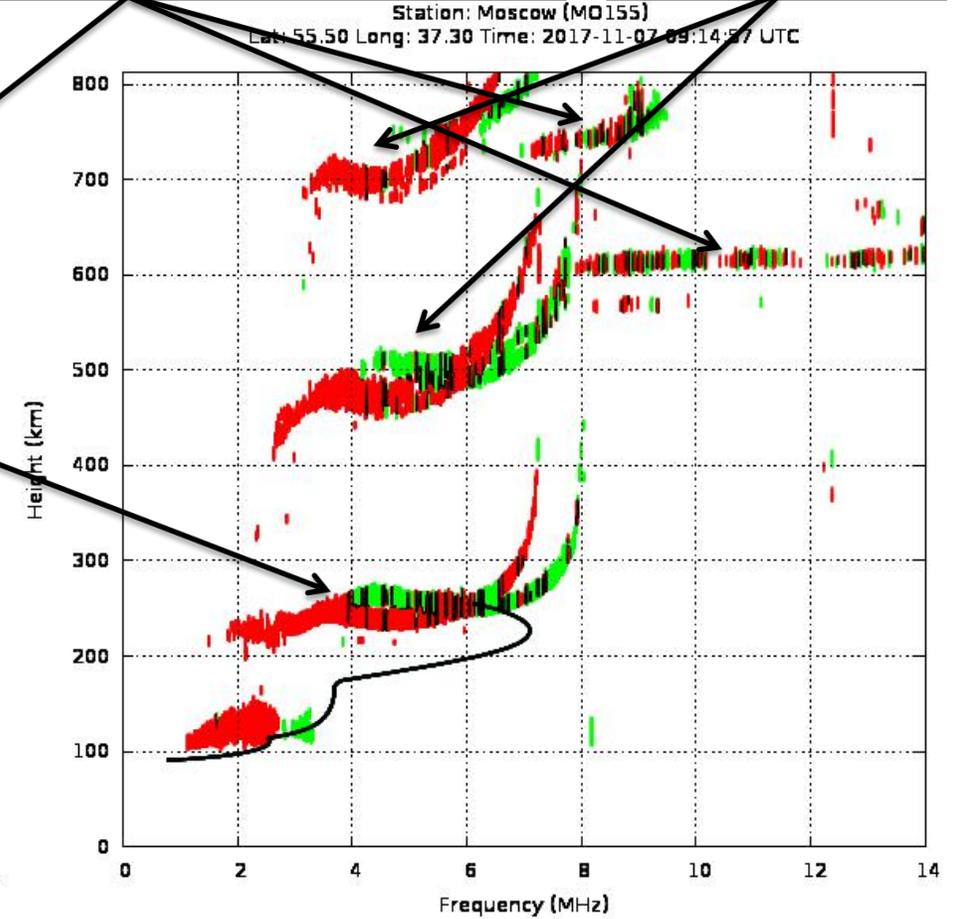
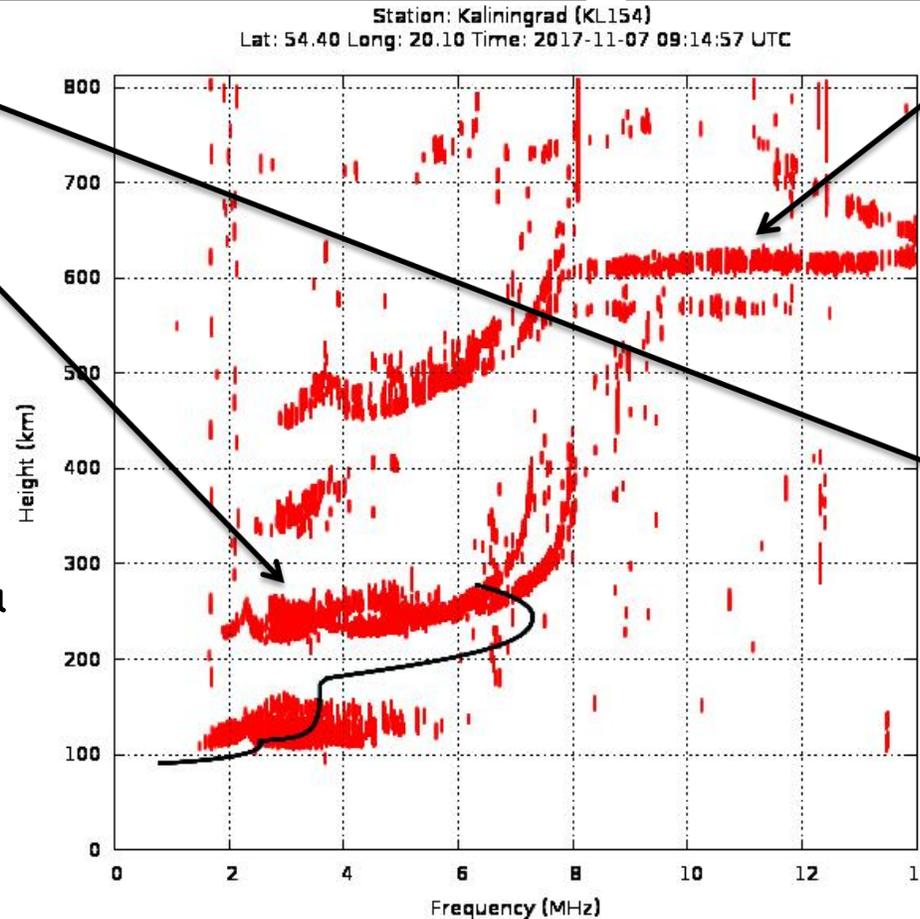
Результат совмещенного зондирования

Следы вертикального зондирования

Следы наклонного зондирования

Кратники

Пояснение ионограмм.
Кратники - следы изи
переотражения сигнала от
земли, т.е. сигнал прошел
путь «передатчик ионозонда
→ ионосфера → земля →
ионосфера → приемник
ионозонда»

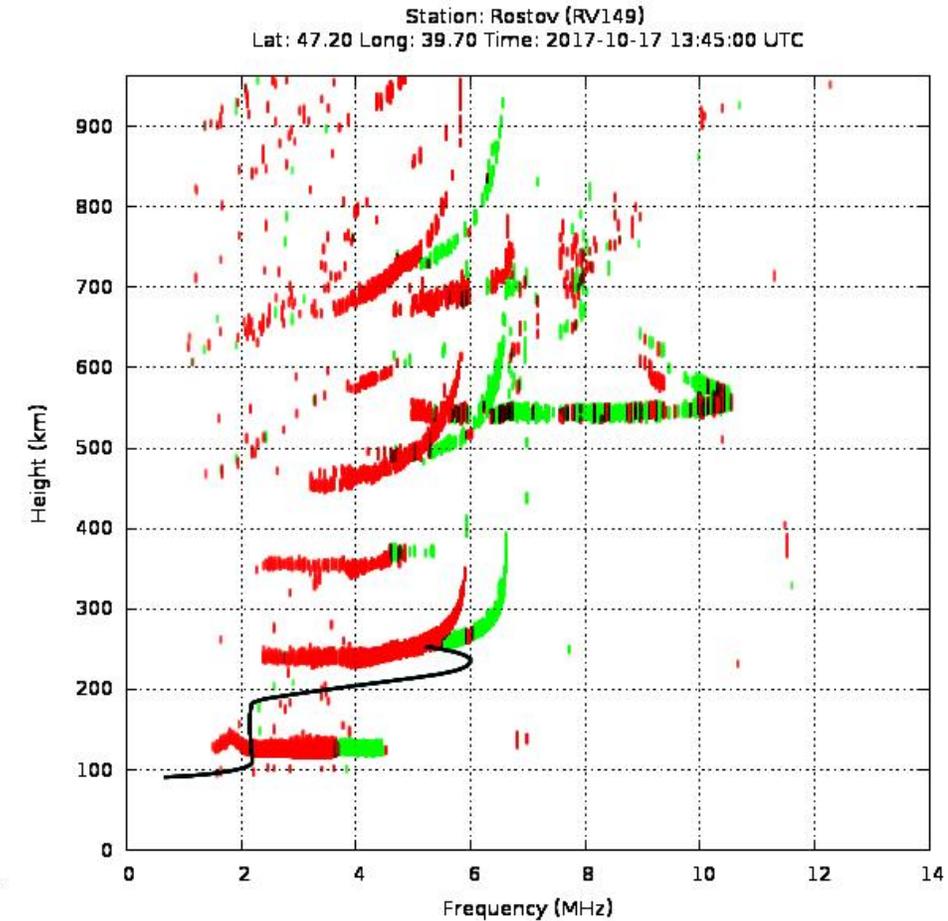
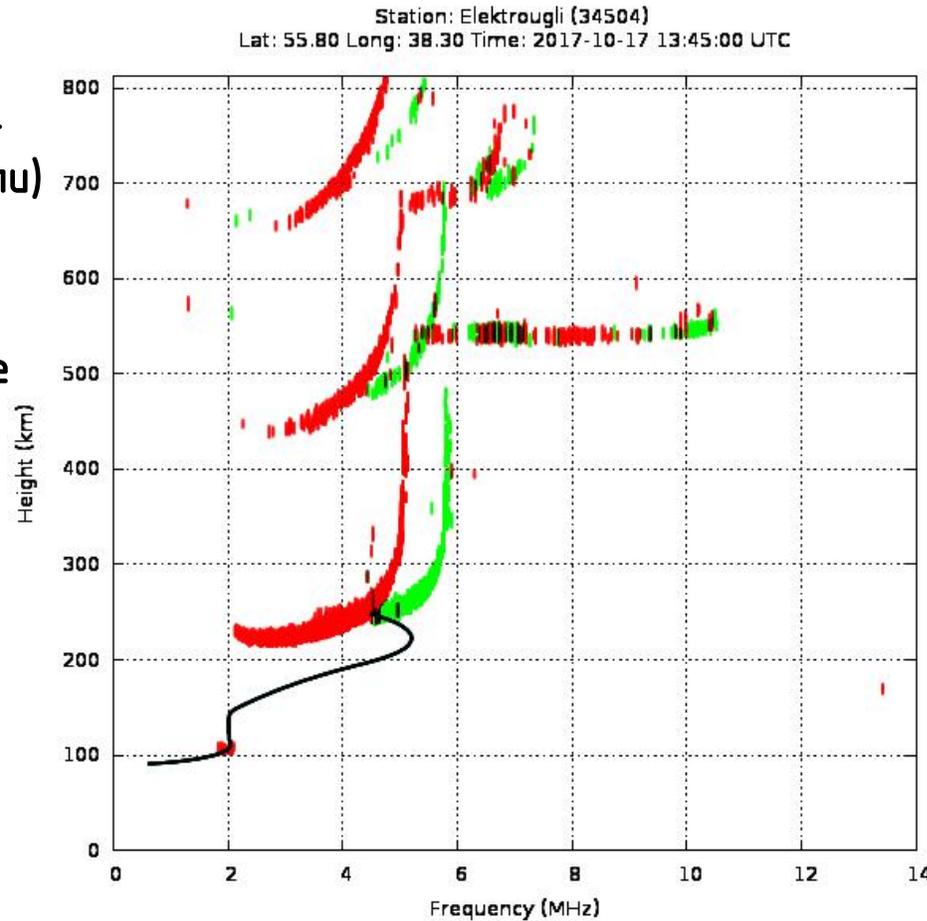


Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Калининград
- Москва 07.11.2017 в 09.15 UT.

Ионограмма совмещенного зондирования

Типичная ионограмма
совмещенного зондирования на
трассе Москва (ст. Электроугли)
- Ростов-на-Дону.

Следы НЗ совпадают по высоте
(задержке приема сигнала)
и по критическим частотам.

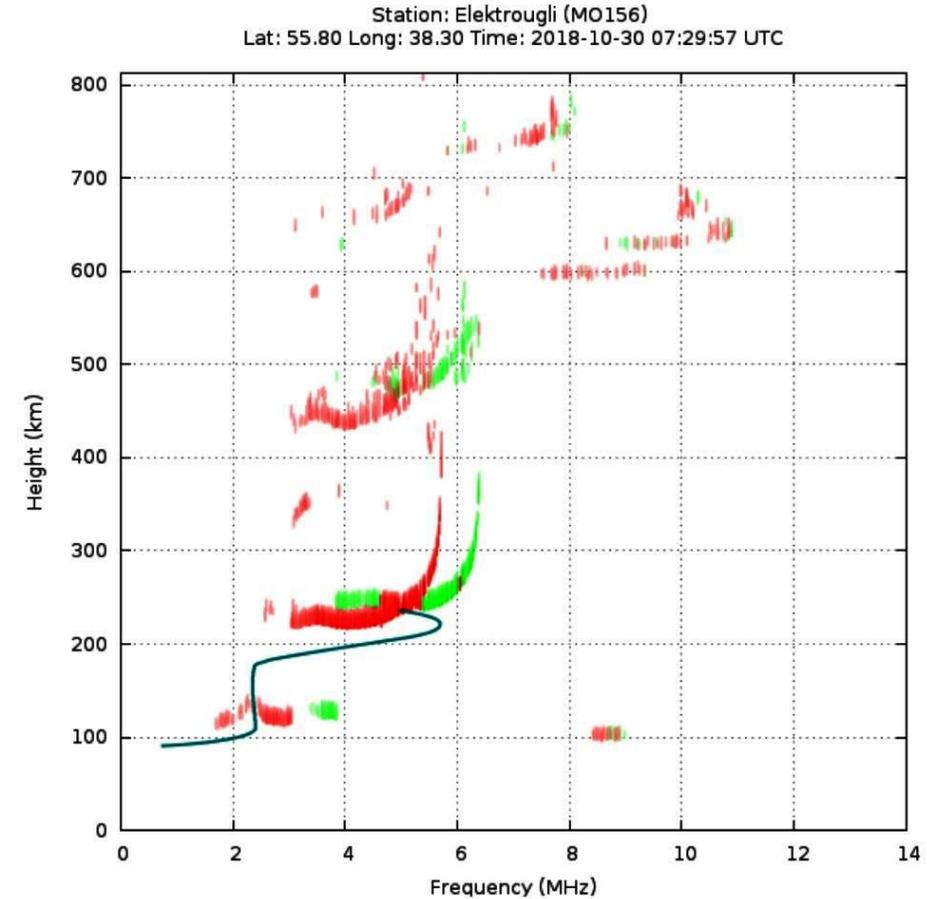
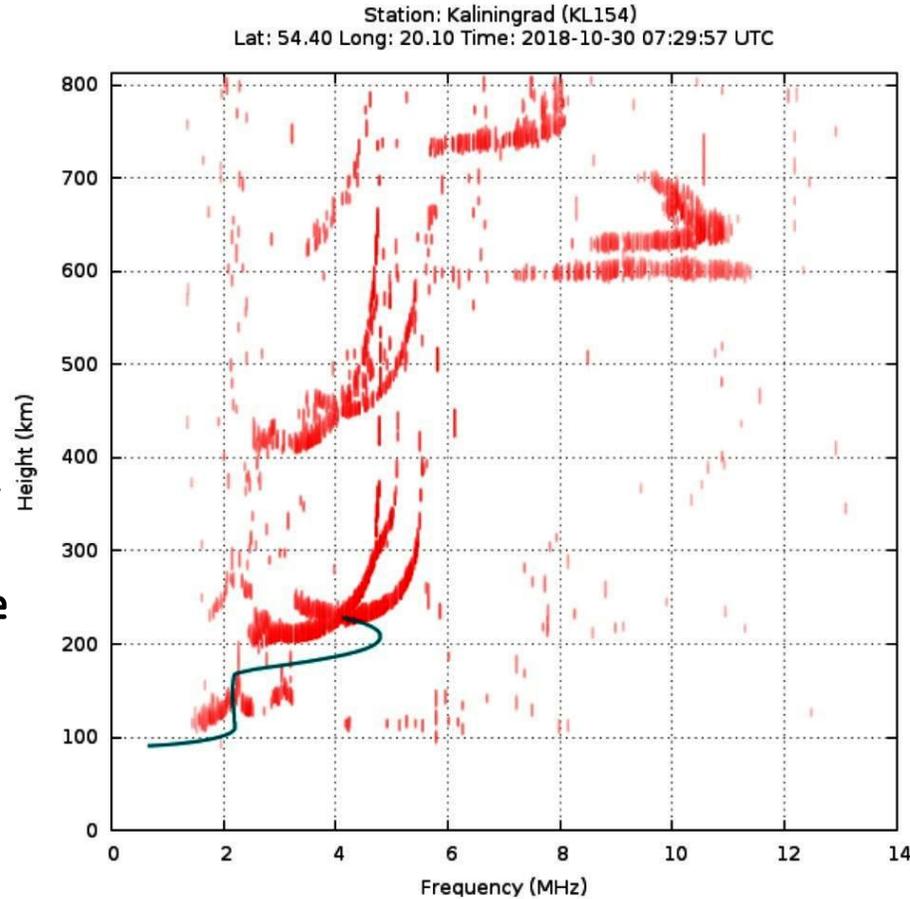


Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Электроугли
- Ростов-на-Дону 17.10.2017 в 13.45 UT.

Ионограмма совмещенного зондирования

Типичная ионограмма совмещенного зондирования на трассе Москва (ст. Электроугли) – Калининград. На станции Калининград используется антенна без деления на обыкновенную/необыкновенную составляющие.

Следы НЗ совпадают по высоте (задержке приема сигнала) и по критическим частотам. Видны следы сигнала с переотражением (на высоте ~750 км).

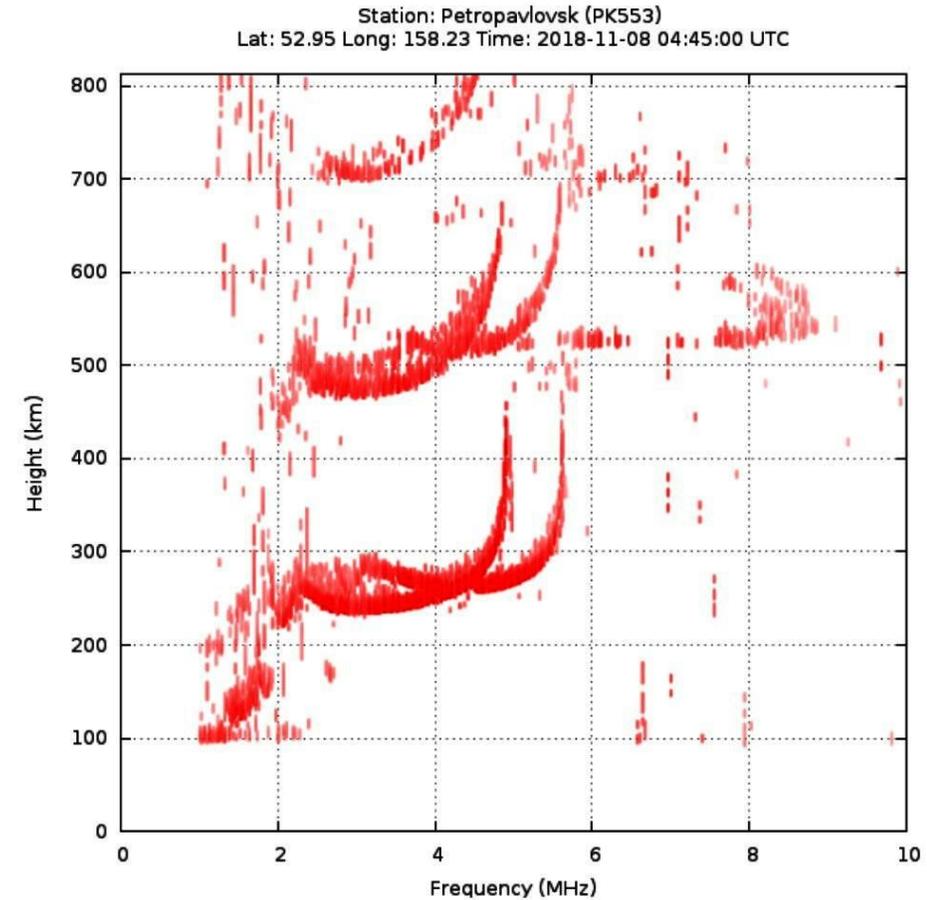
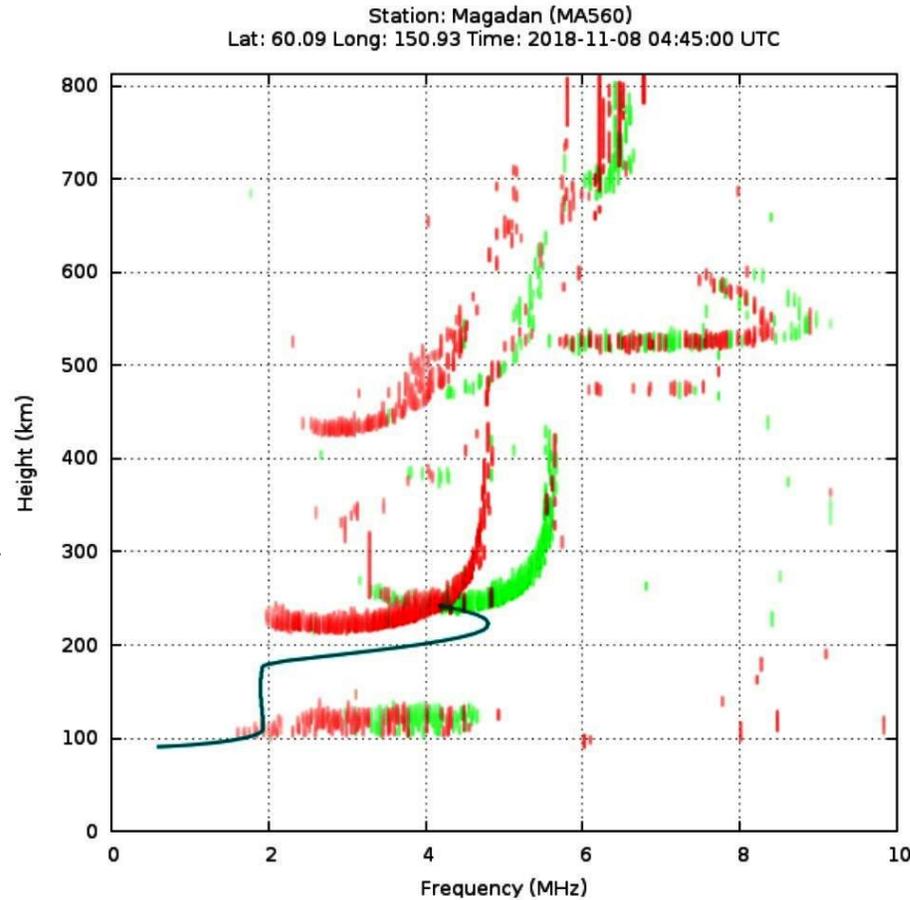


Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Калининград – Электроугли 30.10.2018 в 07.30 UT.

Ионограмма совмещенного зондирования

Ионограмма совмещенного зондирования на трассе Магадан - Петропавловск-Камчатский. На станции Петропавловск-Камчатский используется антенна без разделения на обыкновенную/необыкновенную составляющие.

Следы НЗ совпадают по высоте (задержке приема сигнала) и по критическим частотам.

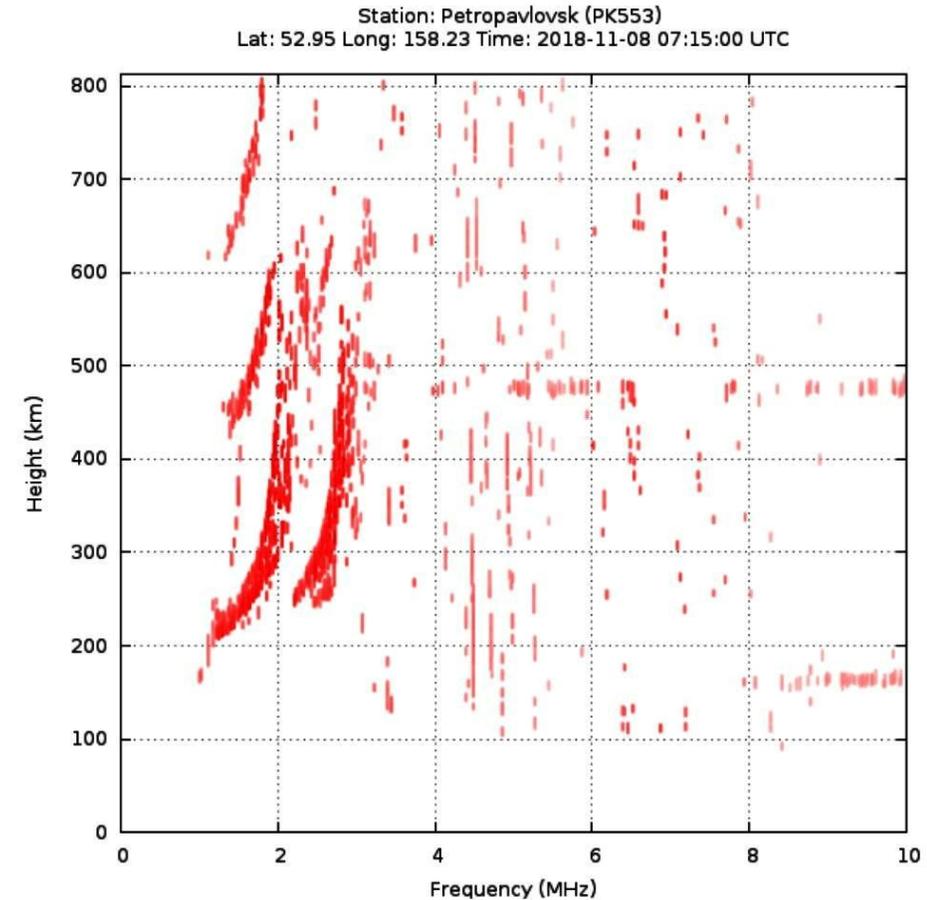
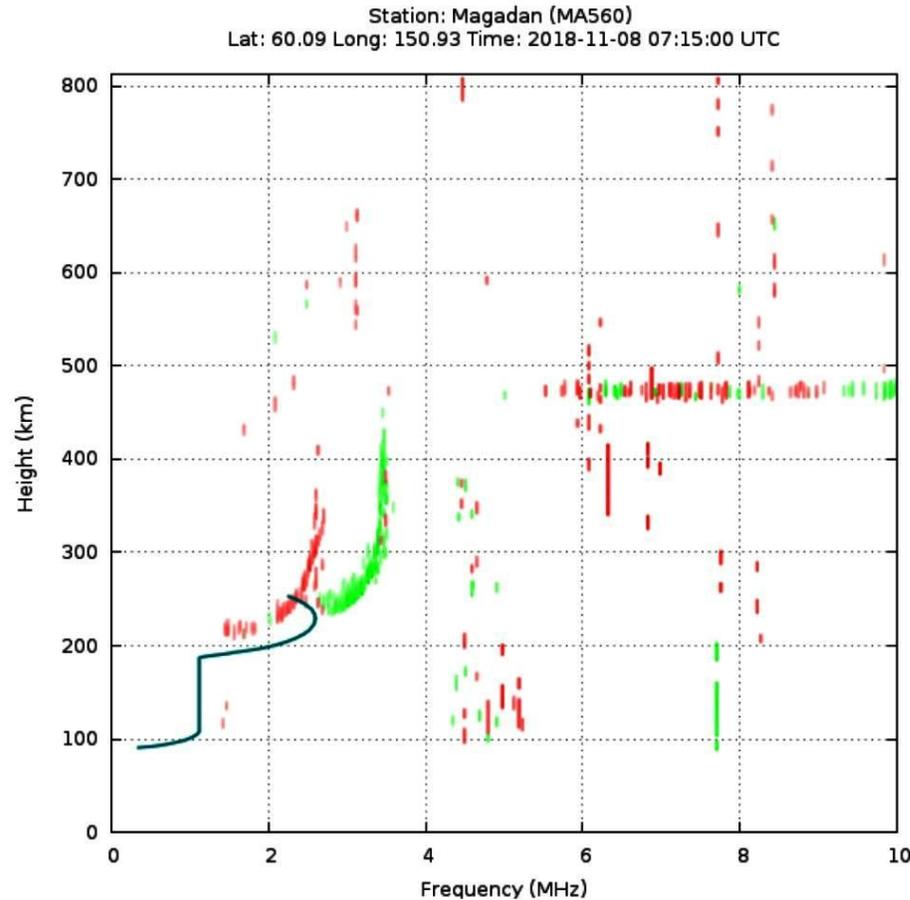


Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Магадан - Петропавловск-Камчатский 08.11.2018 в 04.45 UT.

Ионограмма совмещенного зондирования

Ионограмма совмещенного зондирования на трассе Магадан - Петропавловск-Камчатский.

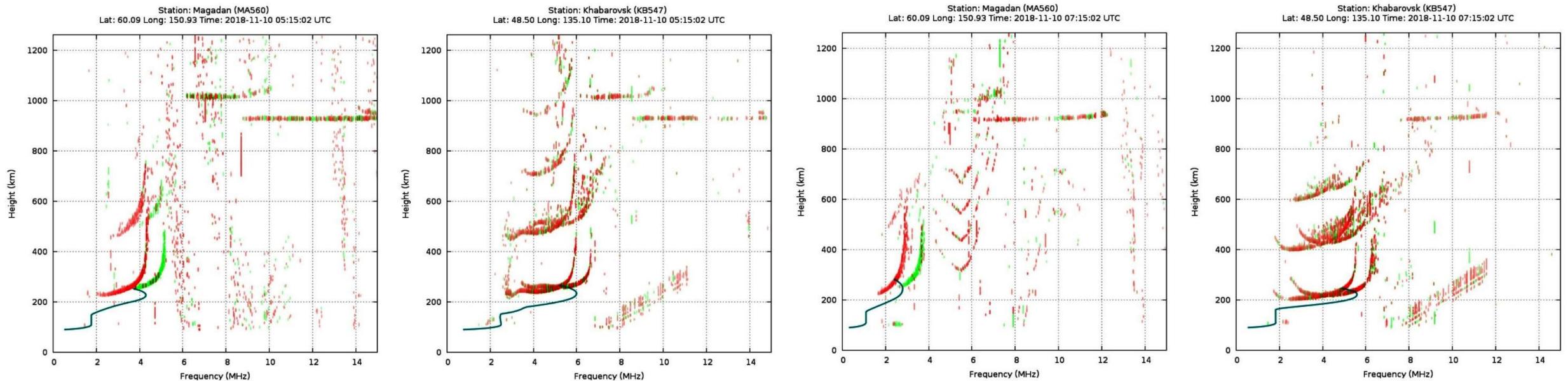
При спаде солнечной активности активное наклонное зондирование сохраняется еще на протяжении нескольких часов.



Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Магадан - Петропавловск-Камчатский 08.11.2018 в 07.15 UT.

Ионограмма совмещенного зондирования

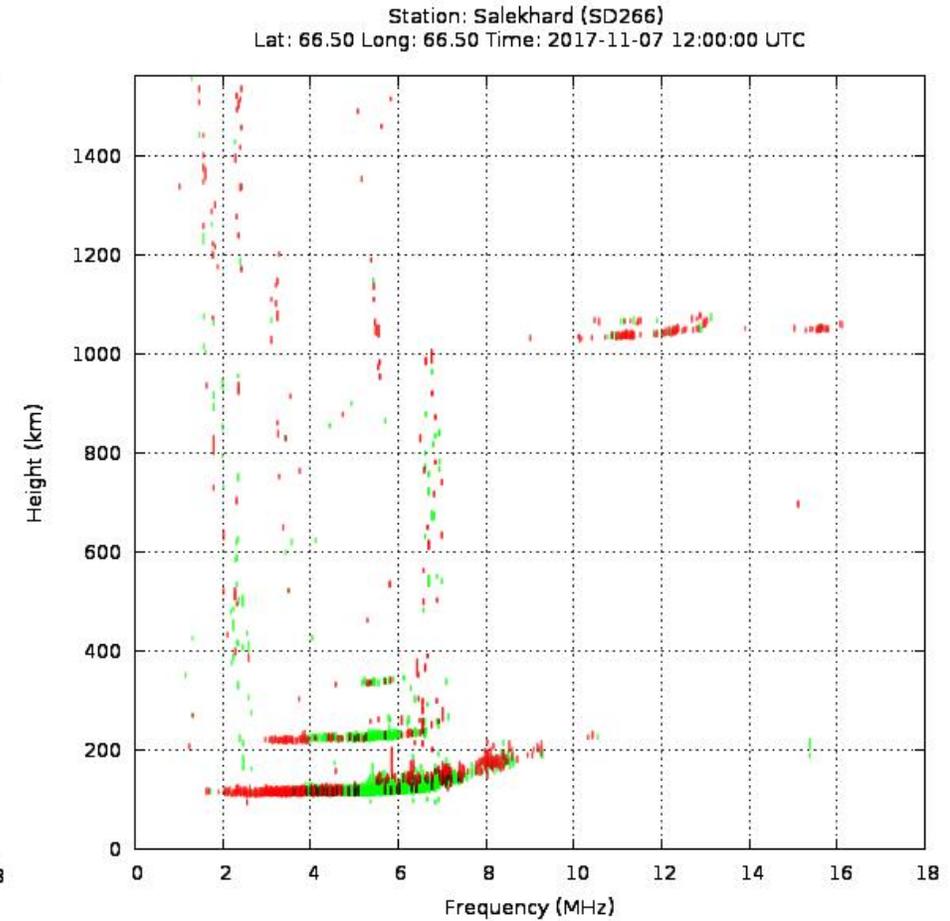
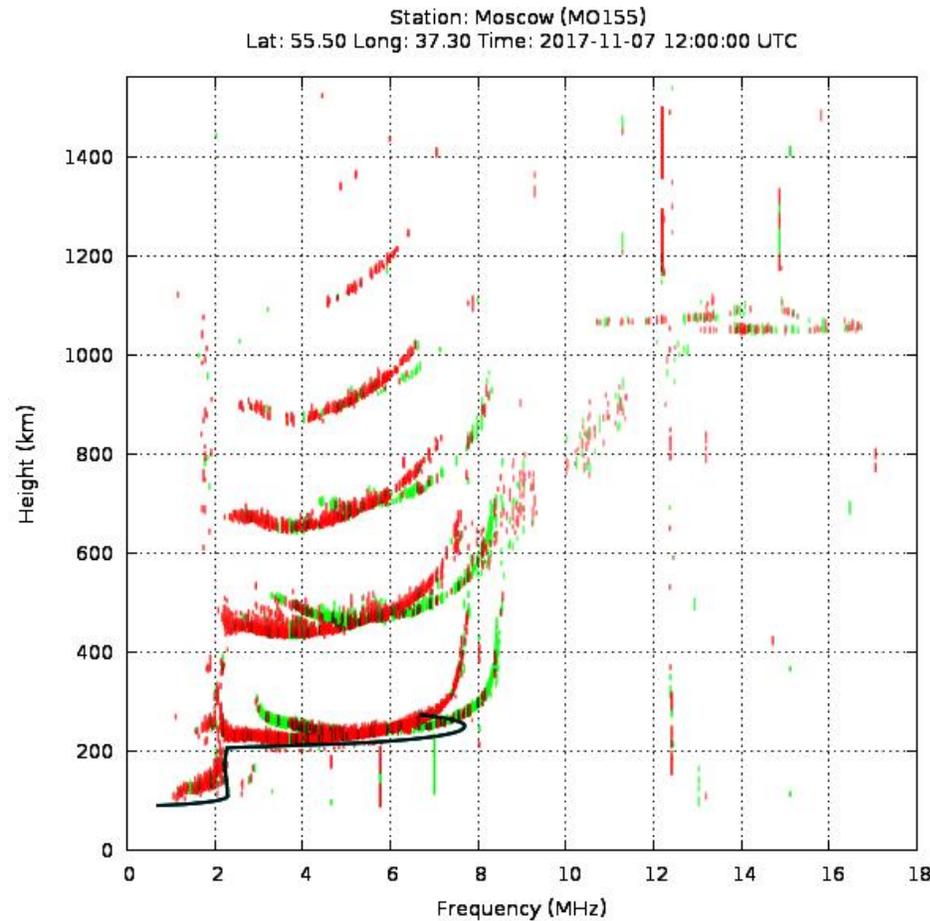
Проведение суточных прогонов в режиме совмещенного зондирования. В результате набралась статистика для оценки изменения высотно-частотной характеристика за продолжительный период времени.



Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Магадан – Хабаровск 10.11.2018 в 05.15 UT и в 07.15 UT.

Ионограмма совмещенного зондирования

Ионограмма совмещенного зондирования на трассе Москва – Салехард. Расстояние почти 2000 км! Даже при нестабильной высокоширотной ионосфере стабильно регистрируются сигналы НЗ.

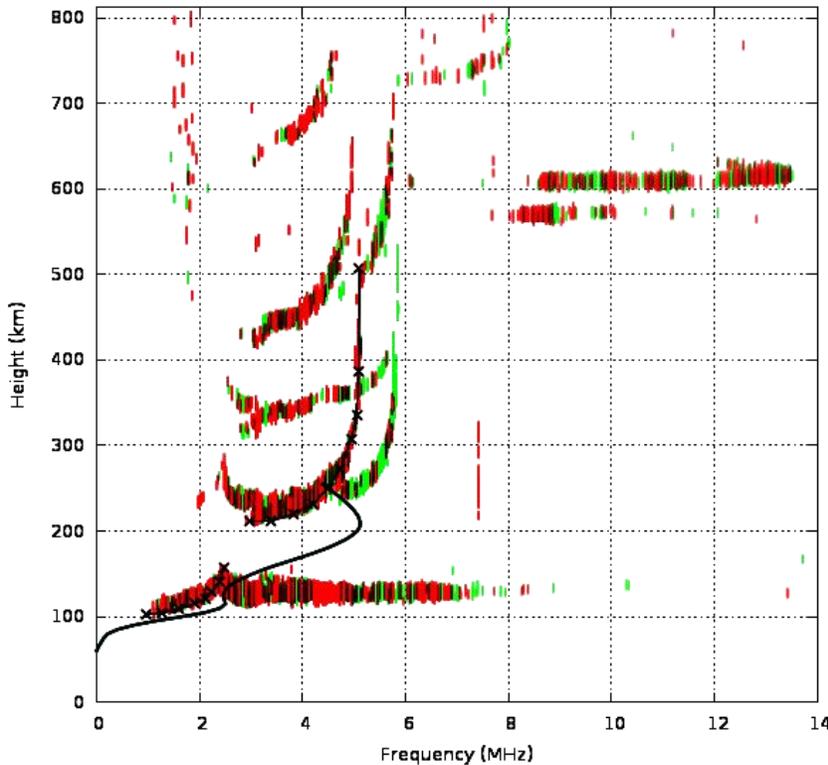


Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Москва – Салехард 07.11.2017 в 12.00 UT.

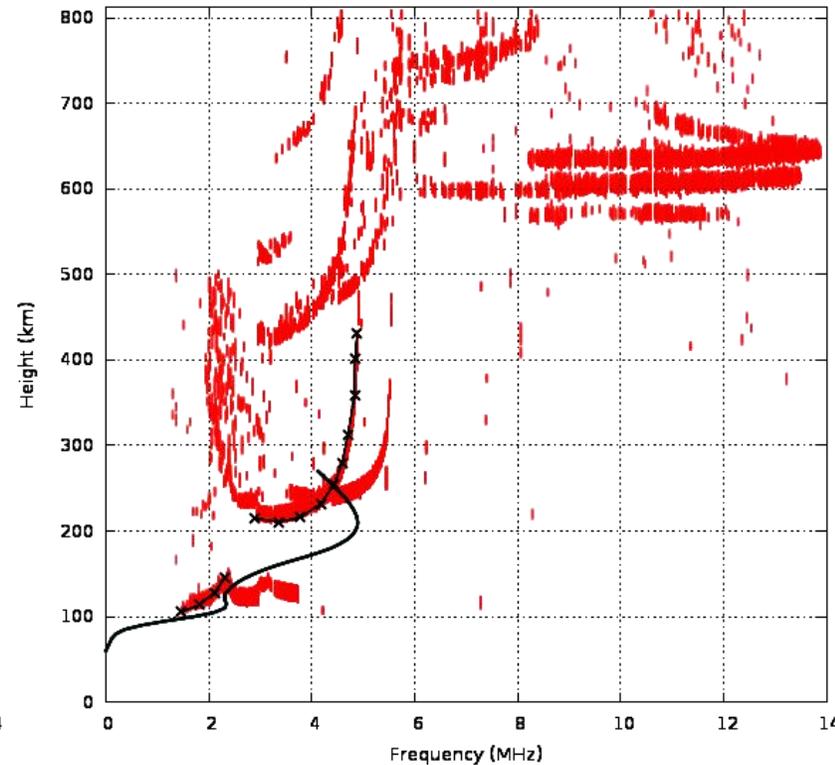
Ионограмма совмещенного зондирования

Синхронизация работы трех ионозондов! На ионозонде в г. Калининград (в центре) регистрируются следы НЗ двух московских ионозондов. Их можно различить по характерным высотам.

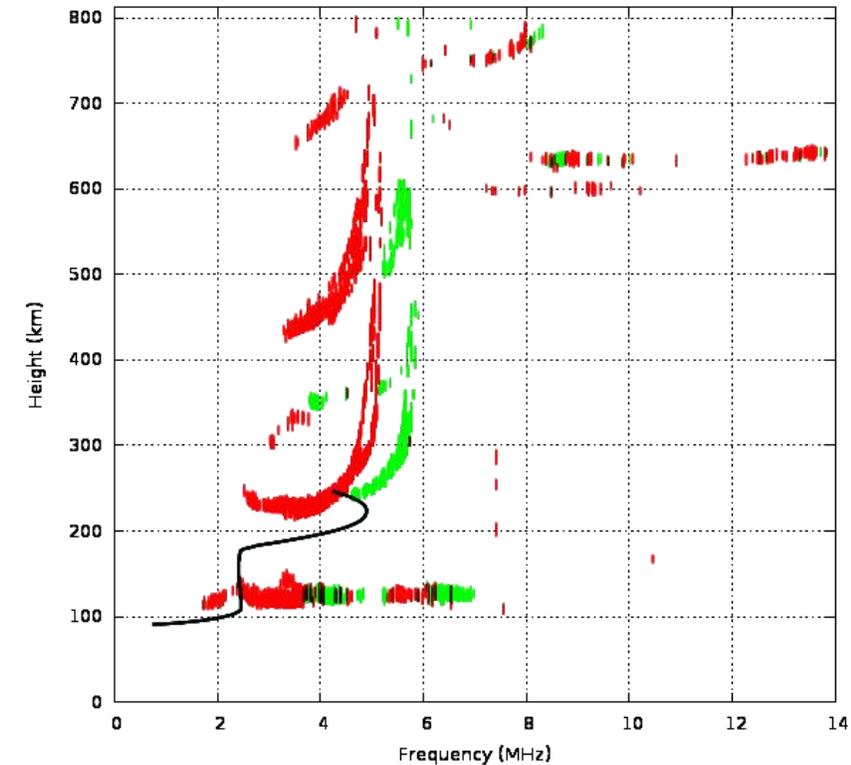
Station: Moscow (MA155)
Lat: 55.50 Long: 37.30 Time: 2018-10-30 07:59:57 UTC



Station: Kaliningrad (KL154)
Lat: 54.40 Long: 20.10 Time: 2018-10-30 07:59:57 UTC



Station: Elektrougli (MO156)
Lat: 55.80 Long: 38.30 Time: 2018-10-30 07:59:57 UTC



Данные комплексного зондирования ионосферы, полученные ионозондами на ст. ИЗМИРАН-Троицк (слева), ст. ИЗМИРАН-Калининград (в центре, поляризационный прием), и ст. Электроугли (справа) 30 октября 2018 г 07:59 UT

Заключение

Высокоточная привязка шкалы времени ионозонда к шкале СВ позволила синхронизировать ионозонды «Парус-А». Проведенная серия экспериментов показала возможность наклонного зондирования ионосферы на трассах до 2000 км одновременно с вертикальным зондированием на ионозонде «Парус-А». Суточный прогон ионозондов в режиме комплексного зондирования показал, что такой режим не является помехой для отделения следов вертикального зондирования от наклонного для ручной обработки.

Дальнейшим развитием работ видится проверка всех возможных трасс наклонного зондирования на существующих ионозондах «Парус-А», экспериментальные работы по дистанционной поверке ионозондов, составление теоретической и экспериментальной базы для разработки нового поколения ионосферных станций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022г.



Контактные данные:

Литвинов Святослав Викторович

e-mail: litvinov_s@mirea.ru