



ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИОНОЗОНДА «ПАРУС-А» ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА

С.В. Литвинов, Е.А. Панышин, Ю.М. Качановский, А.В. Алексева

Приводится краткое описание ионозонда «Парус-А», применяемого на ионосферной сети ФГБУ «ИПГ». Демонстрируется схема размещения их на территории России. Показывается способность этого ионозонда проводить наклонное радиозондирование ионосферы. Демонстрируются результаты экспериментального наклонного зондирования по различным трассам. Анализируются полученные данные применительно к использованию в системе загоризонтного обнаружения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИОНОСФЕРА, ИОНОЗОНД, НАКЛОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, РАДИОЛОКАЦИЯ.

1. ВВЕДЕНИЕ

С времени открытия радио А.С. Поповым, А. Кеннелли и О. Хевисайд исследованиям ионосферы всегда уделялось много внимания. С развитием таких радиотехнических систем как системы радионавигации, радиосвязи и загоризонтной радиолокации интерес к этим исследованиям только повысился, по той простой причине, что все они используют ионосферу в качестве радиоканала, в котором происходит распространение радиоволн. Более того, можно сказать, что от характеристик радиотехнической аппаратуры и ее функциональных возможностей по измерению и вычислению параметров ионосферы, зависит эффективность работы выше перечисленных систем.

Так, например, работа радиолокационных станций загоризонтного обнаружения (ЗО), использующая пространственное распространение радиоволн, зависит от состояния ионосферы, поскольку в таких РЛС используется эффект отражения радиоволн от ионосферы. Для выбора оптимальной частоты излучения РЛС ЗО необходимо иметь актуальную информацию о параметрах ионосферы, так-как она непрерывно изменяется как в течение года, так и в течение суток.

Для эффективной работы РЛС ЗО важно иметь полученные в реальном масштабе времени характеристики трассы распространения радиоволн, а также данные о занятости частотного диапазона. Важно также, чтобы параметры внешней среды оптимальным образом согласовались с параметрами РЛС. Для определения текущего состояния параметров ионосферы, таких как высотно-частотная характеристика (ионограмма) и профиль электронной концентрации ионосферы, применяются станции вертикального зондирования (ионозонды). В России созданы такие ионозонды, которые возможно успешно применять для выполнения этих задач, например ионозод «Парус-А». [1]

Авторам была предоставлена возможность провести эксперимент по наклонному зондированию ионосферы с использованием ионозондов «Парус-А» установленных на государственной наблюдательной сети Росгидромета. Изначально данный тип ионозондов не был предназначен для проведения наклонного зондирования. Следует также отметить, что используемые при радиозондировании антенны имеют диаграмму направленности «вверх», что накладывает определенные ограничения при выполнении наклонного зондирования.

Литвинов Святослав Викторович – ведущий инженер ФГБУ «ИПГ», e-mail: slitvinov@niidar.ru.

Панышин Евгений Александрович – заведующий лабораторией измерительной техники и обеспечения единства измерений гелиогеофизических наблюдений ФГБУ «ИПГ», e-mail: pansevgenij@yandex.ru.

Качановский Юрий Михайлович – главный метролог, в.н.с. ФГБУ «ИПГ», e-mail: kach-yra@mail.ru.

Алексева Александра Валерьевна – н.с., ФГБУ «ИПГ», e-mail: aleks.seva@gmail.com.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОЗОНДА «ПАРУС-А»

Общий вид ионозонда «Парус-А», типичная ионограмма, полученная им и суточный ход частот показаны на рисунке 1 [2].

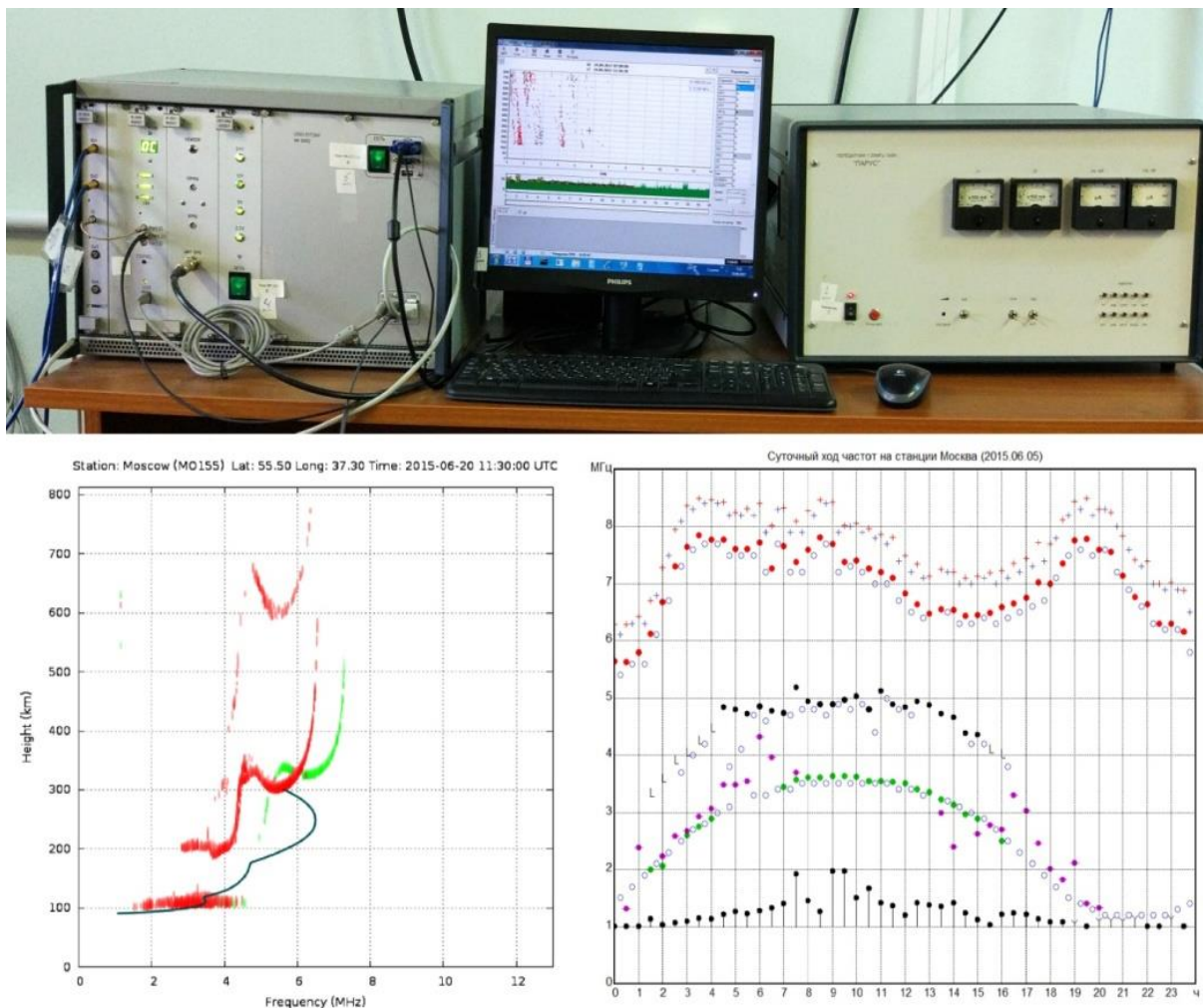


Рис. 1. Общий вид ионозонда «Парус-А», типичная ионограмма и суточный ход частот

Метрологические характеристики, полученные в результате испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики ионозондов «Парус-А».

Метрологические характеристики	Диапазон
Диапазон измерений времени задержки радиоимпульса с частотой заполнения от 1 МГц до 20 МГц, мс	0,5 - 10
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений времени задержки радиоимпульса с частотой заполнения от 1 МГц до 20 МГц, мкс	± 12
Диапазон воспроизводимых частот заполнения радиоимпульса, МГц	1 - 20
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты заполнения радиоимпульса, кГц	± 5
Порог чувствительности РПУ ионозонда, мкВ, не более	0,35
Пределы допускаемой погрешности установки секундных импульсов относительно шкалы времени аппаратуры GPS, мкс	± 1

С данными характеристиками ионозонды утвержденного типа выпускались в течении 5 лет, в соответствии со свидетельством на утвержденный тип, выданный Росстандартом (номер в Госреестре СИ 51425-12) [3].

Заложенный на этапе разработки потенциал позволил его реализовать. Следует также отметить, что используемые антенны имеют диаграмму направленности «вверх», что также не улучшает общую картину. При наклонном зондировании сигнал приходит под углами близкими к нулю, а, следовательно, заметно ослабленными.

3. КОМПЛЕКСНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ

Заложенный на этапе разработки ионозонда «Парус-А» потенциал, позволил его использовать в режиме наклонного зондирования.

Высокоточная привязка шкалы времени ионозонда к шкале СЕВ позволяет нескольким ионозондам, находящимся на дальности до 2000 км осуществлять наклонное зондирование ионосферы. При этом, поскольку собственный передатчик не отключается, следы наклонного зондирования накладываются на следы вертикального отражения (так называемое комплексное зондирование). Пример комплексного зондирования представлен на рис. 2.

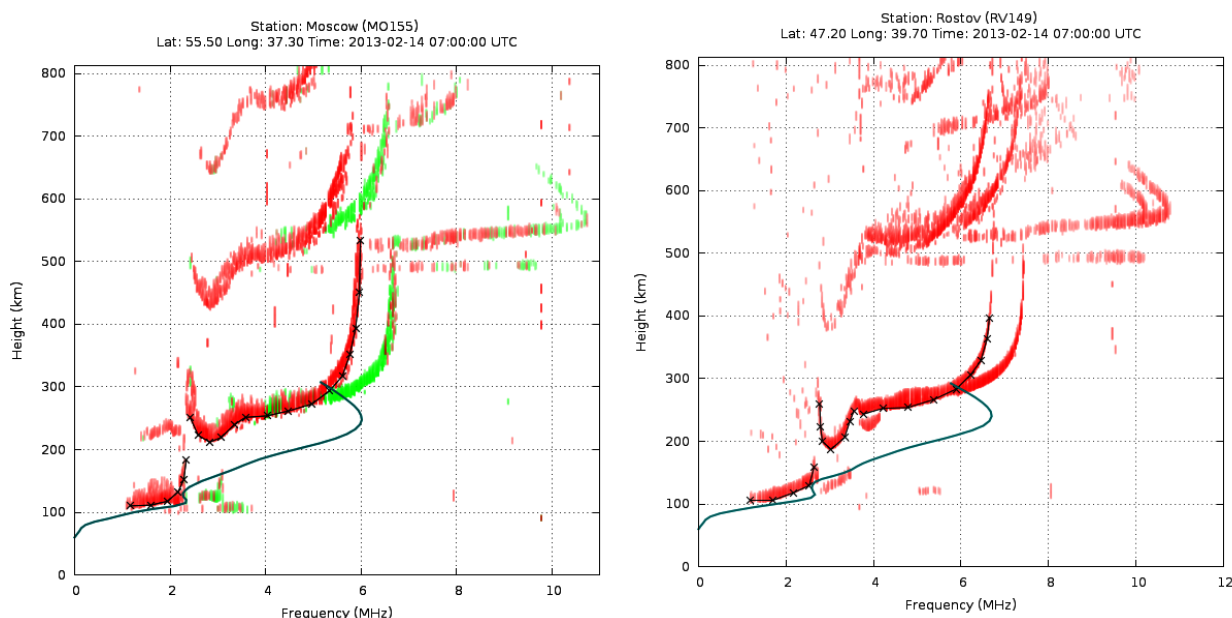


Рис. 2. Данные комплексного (вертикального и наклонного) радиозондирования ионосферы, полученные ионозондами на ст. ИЗМИРАН (слева, поляризационный прием) и Ростов-на-Дону (справа, совмещенная линейная антенна) 14 февраля 2013 г 07:00 UT

На рисунке 2 кроме ионограммы вертикального зондирования, присутствуют кратные отражения сигнала (кратники). Такие отражения получаются, когда импульсы проходят от 2 до 3 раз (а иногда и больше) между станцией и ионосферой. Также ионозонд регистрирует кроме обыкновенной составляющей (красная – слева) также и необыкновенную (поляризованную) составляющую (зеленая). Необыкновенная компонента повторяет очертания обыкновенной компоненты. Сдвиг по частоте обусловлен влиянием геомагнитного поля [4].

Наиболее интересными на рисунке являются следы начинающиеся на частоте ~6 МГц и находящиеся на высоте 500 км. Это результаты приема сигнала другого ионозонда, а именно: приёмник ионозонда «Парус-А», расположенного в Москве, регистрирует следы передатчика «Парус-А», расположенного в Ростове-на-Дону, и наоборот. Расстояние между ионозондами — 930 км.

Высота отражения наклонного сигнала 500 км обуславливается тем, что ионозонд измеряет не высоту напрямую, а задержку сигнала. С учетом угла отражения сигнала от ионосферы (от 140° до 160°) получается реальное расстояние между ионозондами [5].

Имеющееся количество и географическое расположение ионозондов позволило провести различные эксперименты по наклонному зондированию ионосферы. Размещенные в разных частях России, они от отличным образом выделяются в отдельные сектора: в европейской части, в Сибири и на Дальнем Востоке (рис. 3).

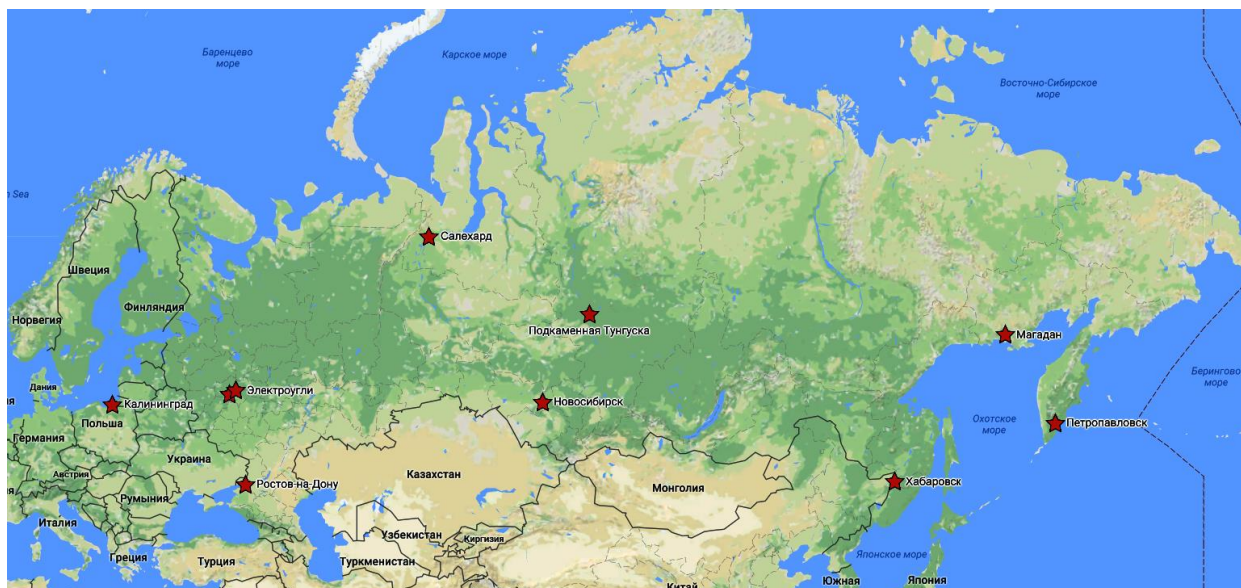


Рис. 3. Расположение ионозондов «Парус-А».

Пример комплексного зондирования по трассе Москва — Калининград приведен на рис. 5. Расстояние между ионозондами — 952 км. На такой дальности наблюдается устойчивый и ярко выраженный прием сигнала. Кроме того следы на высоте ~700 км говорят о том, что сигнал пришел также с переотражением от земли. Как видно на рис. 4, при одновременном зондировании следы, регистрируемые приемниками крайне схожи. Это объясняется тем, что трассы прохождения сигналов одинаковы.

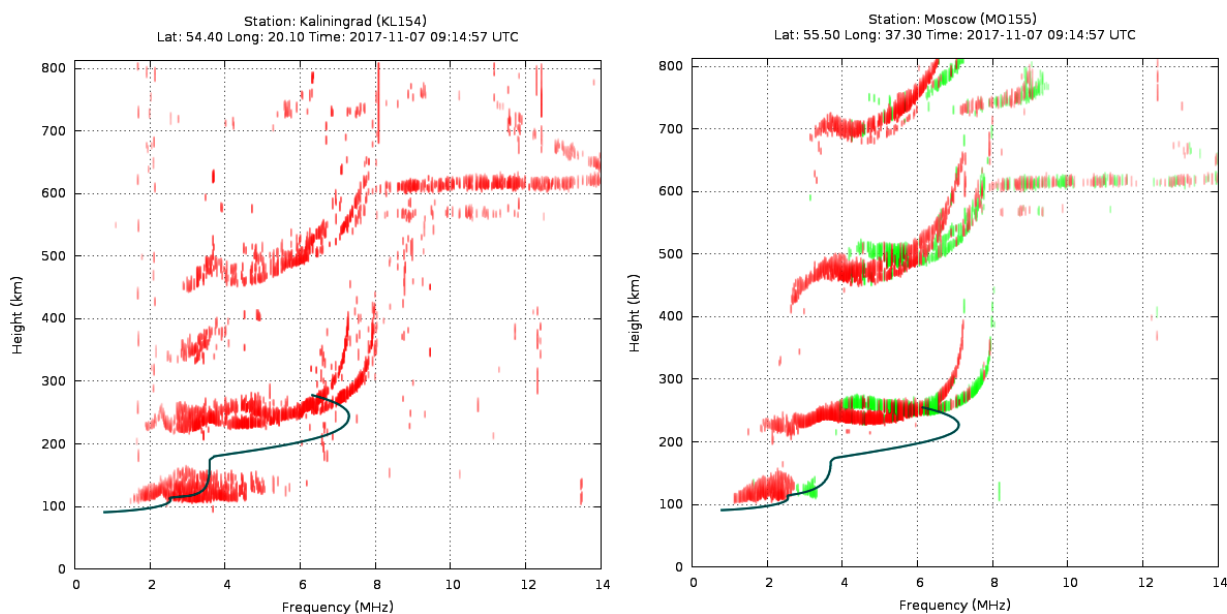


Рис. 4. Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Калининград – Москва 17.11.2017 в 14.57 UT.

Успешно проведено наклонное зондирование в Сибири. Однако тут выявились свои особенности. Вследствие высокоширотного расположения города Салехард, станция, размещенная в

этом городе, оказалась чувствительна к нестабильной ионосфере. Кроме того, расстояние до ближайших ионозондов сети достаточно большое для используемого данного типа антенн.

В результате мы получили, что при наклонном зондировании сигнал на станции в Новосибирске принимается уверенно, в то время как обратного прохождения не наблюдается (рис. 5). При проведении эксперимента на трассе Салехард — Подкаменная Тунгуска, ионозонд отлично принимает сигнал станции из Подкаменной Тунгуски, при этом следы прохождения в обратную сторону не регистрируются (рис. 6). Расстояние между Салехардом и Новосибирском — 1578 км, между Салехардом и Подкаменной Тунгуской — 1258 км.

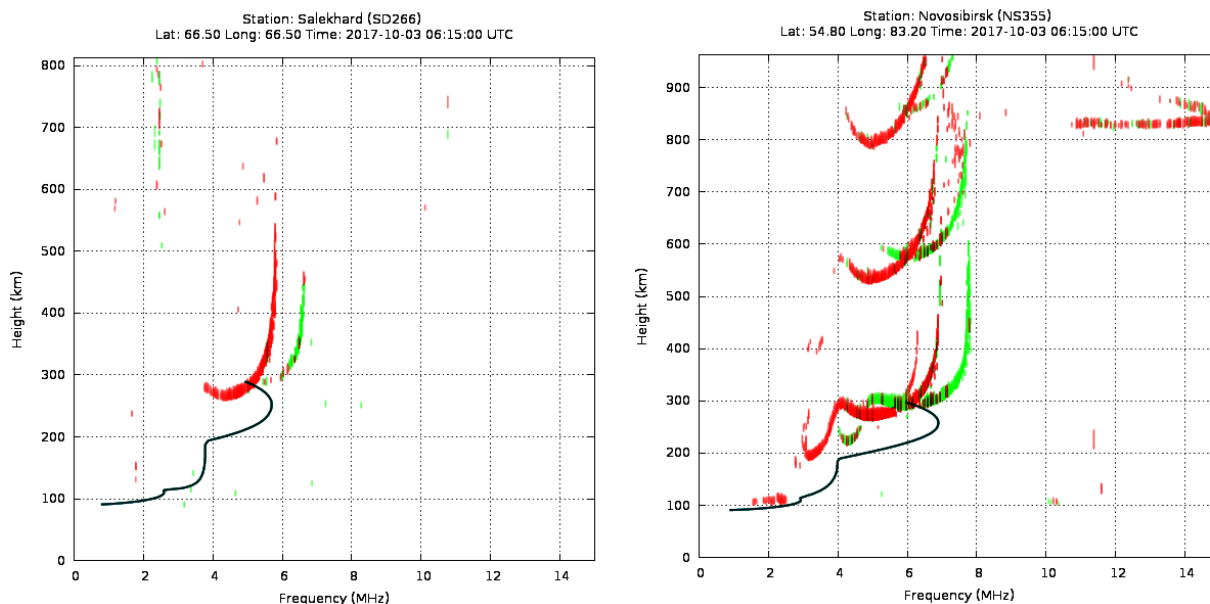


Рис. 5. Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Салехард — Новосибирск 03.10.2017 в 06.15 UT

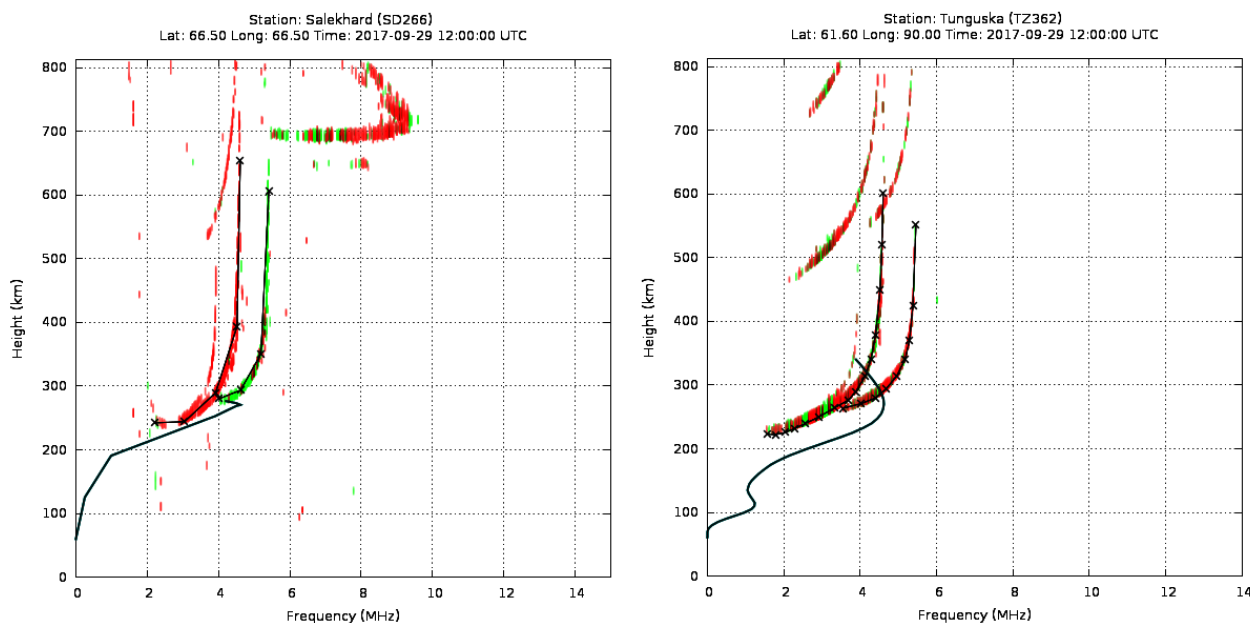


Рис. 6. Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Салехард — Подкаменная Тунгуска 29.09.2017 в 12.00 UT.

На ионозонде Подкаменная Тунгуска, размещенном в п. Бор Красноярского края, используются антенны иного типа. Стандартными антеннами для ионозонда «Парус-А» являются «большой и малый ромб» на излучение и «диполь» на прием. В то время как в Подкаменной Тунгуске применяются поляризационные «дельта-антенны» и на излучение и на прием. Диаграмма направленности такой антенны более вертикальна, из-за чего прием сигнала наклонного зондирования получается крайне ослабленный. Это видно на примере наклонного зондирования по трассе Новосибирск — Подкаменная Тунгуска (расстояние — 854 км), приведенного на рис. 7. По всей видимости, по этой же причине не удалось принять сигнал НЗ из Салехарда, к тому же их разделяет большее расстояние — 1258 км.

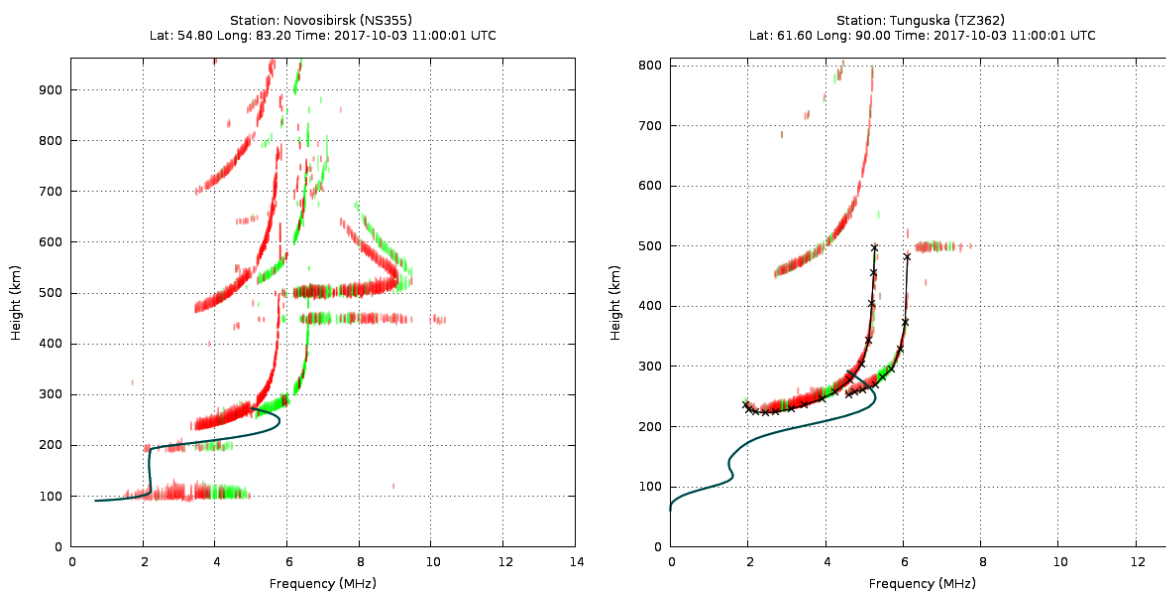


Рис. 7. Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Новосибирск – Подкаменная Тунгуска 03.10.2017 в 11.00 UT

На Дальнем Востоке успешно проведено наклонное зондирование (НЗ) между ионозондами установленными в Магадане и Петропавловске-Камчатском, которые разделяет 910 км. Результат работы этих станций по НЗ показан на рис. 8.

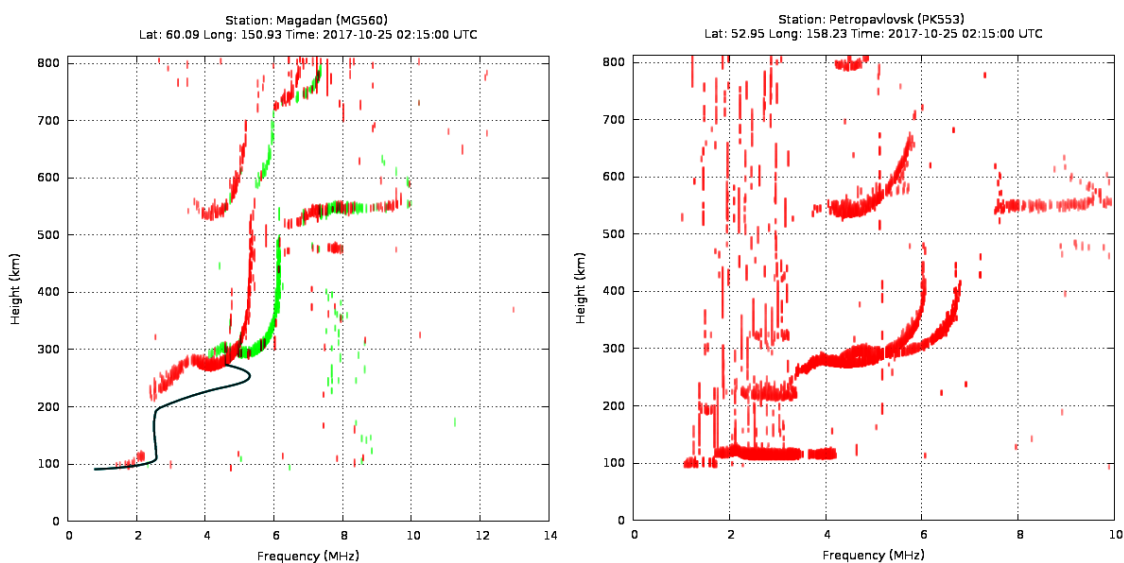


Рис. 8. Данные комплексного зондирования ионосферы по трассе Магадан – Петропавловск-Камчатский 25.10.2017 в 02.15 UT.

Отдельно стоит выделить трассу Москва — Салехард. Практически на предельной дальности (2000 км) и в условиях нестабильной высокоширотной ионосферы над Салехардом удается устойчиво принимать сигналы. Результат такой работы приведен на рис. 9. Следы на частотах от 10 МГц и на высотах ~1100 км — это следы наклонного зондирования. Из-за сжатия по высоте, ионограмма наклонного зондирования также сжата, однако при увеличении она отлично просматривается.

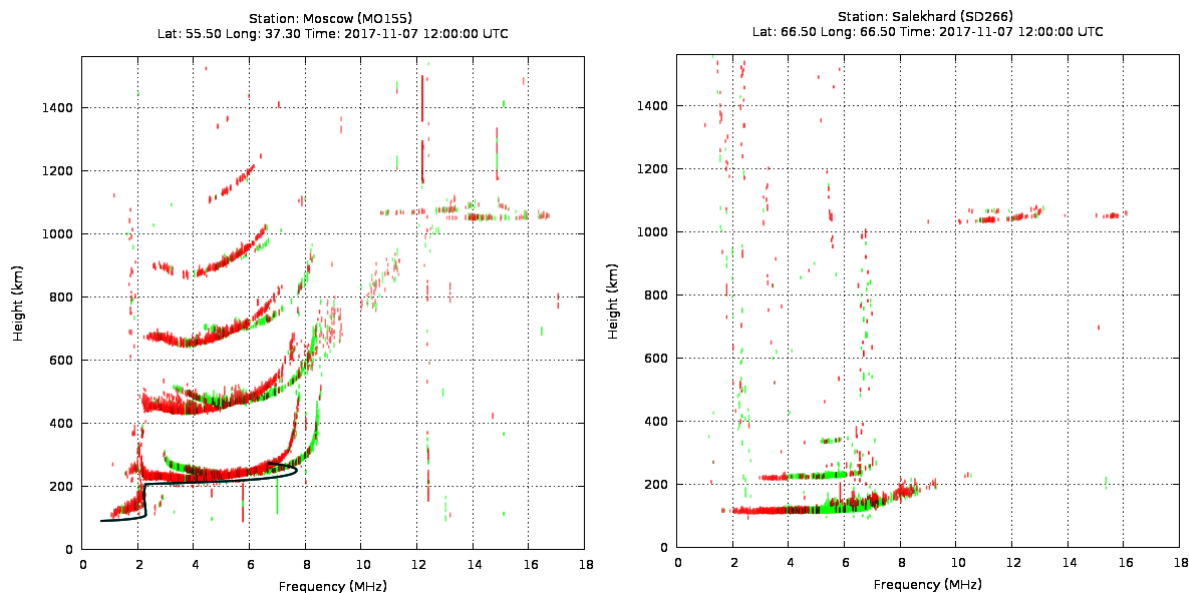


Рис. 9. Наклонное зондирование по трассе Москва — Салехард

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперимент показал возможность проведения наклонного зондирования ионосферы на трассах до 2000 км одновременно с вертикальным зондированием на ионозонде «Парус-А».

Применение данных, получаемых от ионозондов, в системе загоризонтной радиолокации позволит улучшить точность определения координат исследуемых объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атряхин В.А., Литвинов С.В., Мудрик Д.С., Ребриков А.В. Применение ионозондов как средство улучшения точностных характеристик ЗГ РЛС // Радиолокация и связь – перспективные технологии? тезисы докладов XV молодежной научно-технической конференции. 2017.
2. Гивишвили Г.В., Крашенинников И.В., Лещенко Л.Н., Власов Ю.М., Кузьмин А.В. Ионозонд «ПАРУС-А»: функциональные возможности и перспективы // Гелиофизические исследования. 2013. № 4. с. 68–74.
3. Минлигареев В.Т., Панышин Е.А., Чурилов С.Н. Проведение испытаний в целях утверждения типа ионозондов «Парус-А» // Гелиогеофизические исследования. 2012. № 2. с. 40–46.
4. Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Москва, ФГБУ «ИПГ», 2012. с. 270.
5. Анохина Н.П., Атряхин В.А., Литвинов С.В., Ребриков А.В. Метод уменьшения ошибок определения координат воздушной цели в загоризонтном радиолокаторе // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. 2018. с. 15–22.

**ANALYSIS OF POSSIBLE IMPROVEMENTS OF ROSHYDROMET'S GOVERNMENT NETWORK
IONOZOND "PARUS-A"**

S.V. Litvinov, E.A. Panshin, I.U.M. Kachanovskii, A.V. Alekseeva

A brief description of the ionosonde "Parus-A" used in the IAG ionosphere control system is given. The scheme of placing them on the territory of Russia is shown. The ability of this vertical ionosonde to also perform inclined radio sounding of the ionosphere is shown. The results of experimental inclined sounding on various routes are demonstrated. The obtained data are analyzed for use in the system of over-the-horizon detection.

KEYWORDS: IONOSPHERE, IONOZOND, INCLINED SENSING, RADAR.