

DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.034

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ НАД БАРЕНЦЕВЫМ МОРЕМ

Д.Д. Рогов, П.Е. Барышев, А.С. Калишин, А.В. Николаев, С.В. Новиков, Ю.В. Угрюмов

*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия (E-mail: rogovdenis@mail.ru)*

**Аннотация.** В декабре 2019 года в п. Баренцбург (арх. Шпицберген) в тестовом режиме был установлен приемный комплекс наклонного зондирования ионосферы. Данный пункт был включен в общую систему мониторинга условий распространения радиоволн в Российской Арктической зоне, поддерживаемую специалистами отдела геофизики ФГБУ «ААНИИ». Представлены примеры данных и результаты исследования параметров ионосферы и распространения радиоволн над акваторией Баренцева моря в различных геофизических условиях.

### Введение

В Арктическом регионе РФ развернута сеть наклонного зондирования в КВ диапазоне частот [Рогов и Выставной, 2014; Рогов и др., 2020; Рогов, 2020а,б] для исследования высокоширотной ионосферы. Мониторинг состояния ионосферы и условий распространения КВ радиоволн над акваторией Баренцева моря осуществляется методом наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) с помощью комплекса НЗИ с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ) [Иванов и др., 2003] в Баренцбурге (арх. Шпицберген, 78.07°N 14.23°E).

### Сеть наклонного зондирования ионосферы над акваторией Баренцева моря

В приемном пункте Баренцбург проводятся наблюдения на следующих исследовательских российских трассах НЗИ: Горьковская (GRK) – Баренцбург (2050 км), Ловозеро (LOZ) – Баренцбург (1290 км), Амдерма (AMD) – Баренцбург (1660 км), Салехард (SAH) – Баренцбург (2070 км) и Диксон (DIK) – Баренцбург (1770 км), а также на 2х зарубежных трассах: о. Кипр (CP1) – Баренцбург (4890 км) и Соданкюля (SOD) – Баренцбург (1280 км) - рисунок 1. Внешний вид комплекса представлен на рисунке 2, примеры ионограмм НЗИ, получаемых на данных трассах, показаны на рисунке 3.

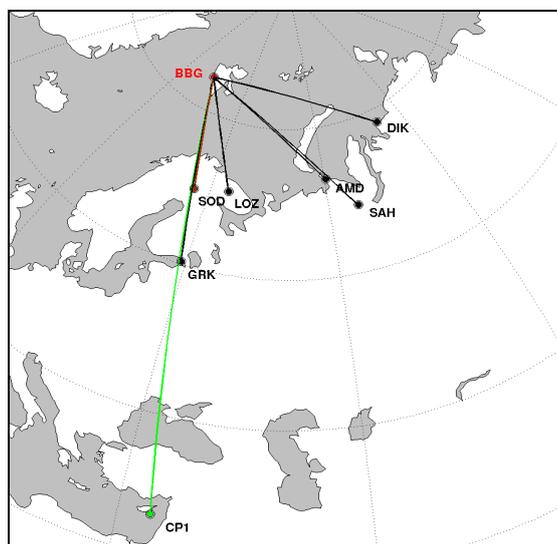


Рисунок 1. Трассы наклонного зондирования ионосферы (прием в Баренцбурге).

### Мониторинг условий распространения КВ радиоволн

Для определения параметров распространения радиоволн, условий КВ радиосвязи и режимов работы других КВ радиотехнических средств (например, загоризонтная радиолокация) были разработаны алгоритмы автоматической обработки ионограмм (очистка от помех и выделение полезных сигналов); определения максимальных (МНЧ) и наименьших (ННЧ) наблюдаемых частот отдельно для отражений от F- и E-

областей ионосферы; разделения отражений от E-слоя и Es-слоя ионосферы [Рогов, 2020б]. Данные приемного пункта Баренцбург включены в общую систему мониторинга условий распространения радиоволн в Российской Арктической зоне (условия многолучевости и вероятность радиосвязи на различных частотах ДКМ (КВ) диапазона), разрабатываемую в отделе геофизики ФГБУ «ААНИИ».



Рисунок 2. Приемный комплекс наклонного зондирования ионосферы в Баренцбурге.

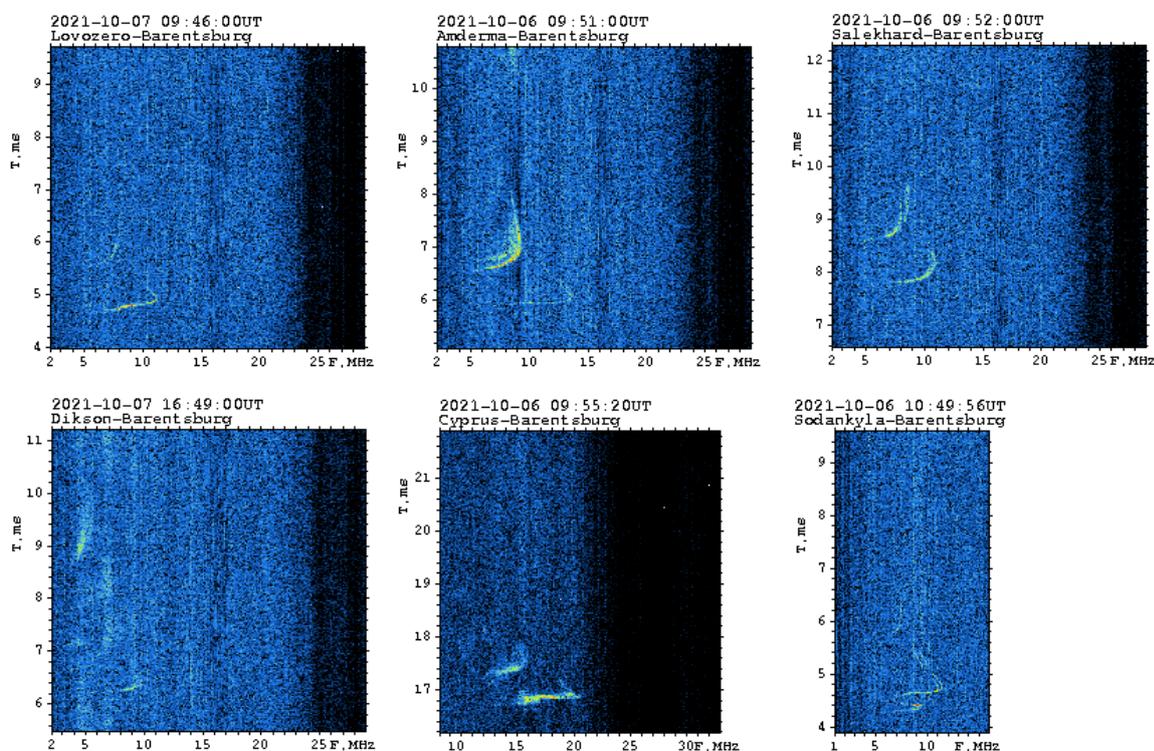


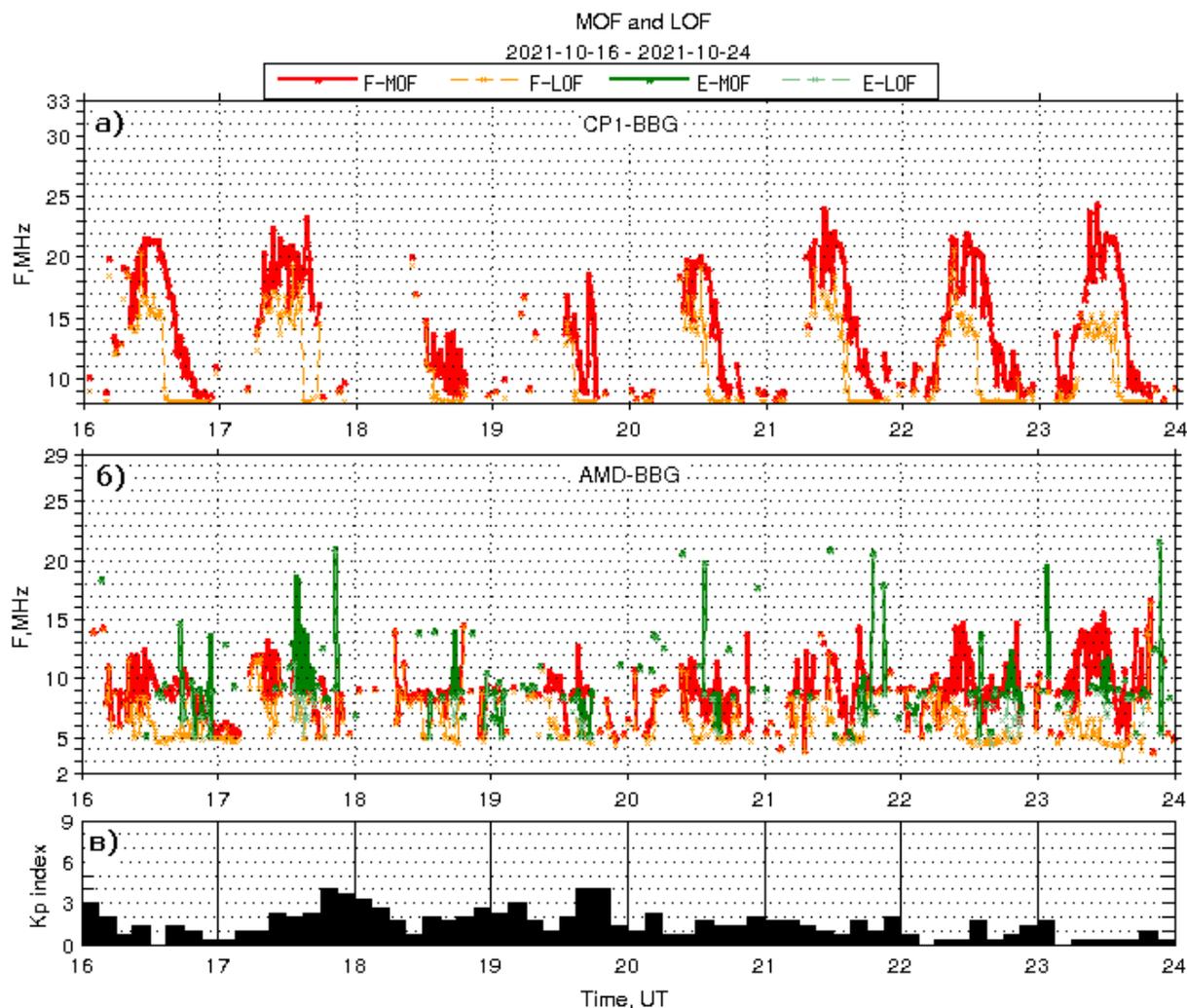
Рисунок 3. Примеры ионограмм наклонного зондирования на различных радиотрассах (прием в Баренцбурге).

На рисунке 4 представлены максимальные (MOF) и минимальные (LOF) частоты сигналов отражений от областей E и F ионосферы (автоматическая обработка) на трассе НЗИ о. Кипр – Баренцбург и Амдерма – Баренцбург в период различной геомагнитной для временного интервала 16 – 24 октября 2021 г.

Трасса о. Кипр – Баренцбург относится к среднеширотному региону и хорошо показывает глобальное влияние уровня геомагнитной активности на параметры ионосферы – например, максимальная электронная концентрация в F-области ионосферы уменьшается в период магнитной бури и постепенно восстанавливается после нее (глобальный Kp индекс для рассматриваемого периода приведен на рисунке 4в). Это хорошо видно по данным трассы НЗИ о. Кипр – Баренцбург для 18, 19 и 20 октября 2021 г. (рисунок 4а). Также данная трасса позволяет уточнить условия «входа» для радиосигналов в зону под границей зоны поглощения аврорального овала, показывая условия КВ связи с п. Баренцбург для дальних трасс. Параметры максимальных частот отражения от F области ионосферы на трассе Амдерма – Баренцбург (рисунок 4б) демонстрируют похожую тенденцию, уменьшаясь 18, 19 и 20 октября 2021 г. и восстанавливаясь до невозмущенного уровня в остальные дни. Также отмечаем увеличение значений минимальных частот на

данной трассе в период возмущения. Это связано с увеличением поглощения радиоволн в зоне аврорального овала. Также трассе Амдерма – Баренцбург (рисунок 4б) в возмущенный период часто регистрируются отражения от спорадических слоев Es ионосферы, связанных с высыпаниями частиц из магнитосферы. Однако эти отражения иногда наблюдаются в ночные периоды и в относительно спокойных условиях [Rogov, 2019]. Приведенный пример демонстрирует возможности экспериментального определения параметров ионосферы и условий распространения радиоволн, что для данного региона будет более точным, чем любой вариант моделирования.

На данный момент аппаратура установлена в тестовом режиме, из-за чего наблюдаются не всегда условия приема сигналов. В дальнейшем планируется провести модернизацию антенно-фидерной системы.



**Рисунок 4.** Максимальные и минимальные частоты сигналов на трассе НЗИ о. Кипр – Баренцбург и Амдерма – Баренцбург в период различной геомагнитной активности в период 16 – 24 октября 2021 г.

### Заключение

Представлены примеры данных и результаты исследования параметров ионосферы и распространения радиоволн над акваторией Баренцева моря в различных геофизических условиях, полученные благодаря развертыванию приемного пункта станции наклонного зондирования ионосферы на арх. Шпицберген в п. Баренцбург. Данный пункт был включен в общую систему мониторинга условий распространения радиоволн в Российской Арктической зоне, поддерживаемую специалистами отдела геофизики ФГБУ «АНИИ». Наблюдения позволяют получить реальные данные в регионе, где точность ионосферных моделей сильно падает, поэтому проводимые работы имеют большое значение в практических вопросах, а также для улучшения моделей высокоширотной ионосферы.

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 18-05-80004.

## Литература

- Rogov D.D. Study of the sporadic Es layers occurrence probability based on the ionospheric oblique sounding network data in the Russian Arctic region. Conference Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), 2019, DOI:10.1109/RSEMW.2019.8792696.
- Иванов В.А., Куркин В.И., Носов В.Е., Урядов В.П., Шумаев В.В. ЛЧМ ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях. Изв. вузов. Радиофизика, 2003, Т. 46, № 11, С. 919-952.
- Рогов Д.Д. Оперативный мониторинг условий КВ радиосвязи в Арктическом регионе РФ. Материалы VI Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2020а, 257-261 с.
- Рогов Д.Д. Мониторинг условий распространения КВ радиоволн в Арктическом регионе РФ в режиме реального времени. «Physics of Auroral Phenomena», Proc. XLIII Annual Seminar, Apatity, pp. 120-123, 2020б.
- Рогов Д.Д., Выставной В.М. Исследование параметров распространения декаметровых радиоволн на сети трасс наклонного зондирования ионосферы в арктическом регионе РФ. Мир измерений. 2014. Т. 7. С. 20-26.
- Рогов Д.Д., Выставной В.М., Калишин А.С., Новиков С.В. Арктическая сеть наклонного зондирования для исследования высокоширотной ионосферы. Тезисы докладов международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики, 2020, С. 353-354.