

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.029

МОНИТОРИНГ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КВ РАДИОВОЛН В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РФ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Д.Д. Рогов

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург;
E-mail: rogovdenis@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных работ по мониторингу условий распространения КВ радиоволн в Арктическом регионе РФ. Определяются максимальные и наименьшие наблюдаемые частоты сигналов на ионограммах НЗИ, а также модовая структура сигналов в различных частотных диапазонах. Реализован отдельный анализ отражений от спорадических слоев Es ионосферы, который позволяет значительно улучшить качество рекомендаций для радиосвязи в данном регионе.

Введение

В Арктическом регионе РФ развернута сеть наклонного зондирования в КВ диапазоне частот [Рогов и Выставной, 2014; Рогов и др., 2020] для исследования высокоширотной ионосферы. По результатам зондирования могут быть определены следующие основные параметры на радиотрассах: наименьшая и максимальная наблюдаемые частоты (ННЧ и МНЧ), отношение сигнал/шум и межмодовые задержки. В работе [Рогов, 2020] представлены разработанные ранее алгоритмы для оперативного мониторинга условий КВ радиосвязи в Арктике. В данной работе будут предложены результаты автоматического выделения параметров условий распространения радиоволн с отражениями от спорадических Es слоев ионосферы.

Высокоширотная сеть наклонного зондирования ионосферы

Исследование ионосферы и распространения радиоволн КВ диапазона в Арктическом регионе России осуществляется с помощью современных цифровых ионозондов наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ) [Иванов и др., 2003], установленных на геофизических станциях Горьковская (GRK), Ловозеро (LOZ), Амдерма (AMD), Салехард (SAH), Диксон (DIK) и Певек (РВК) [Рогов и Выставной, 2014; Рогов и др., 2020]. В этих пунктах осуществляется прием сигналов как российских, так и зарубежных ЛЧМ передатчиков – обсерватории Соданкюла (SOD, Финляндия) и о. Кипр (Сургус, о. Кипр). Сеть радиотрасс наклонного зондирования ионосферы представлена на рисунке 1.

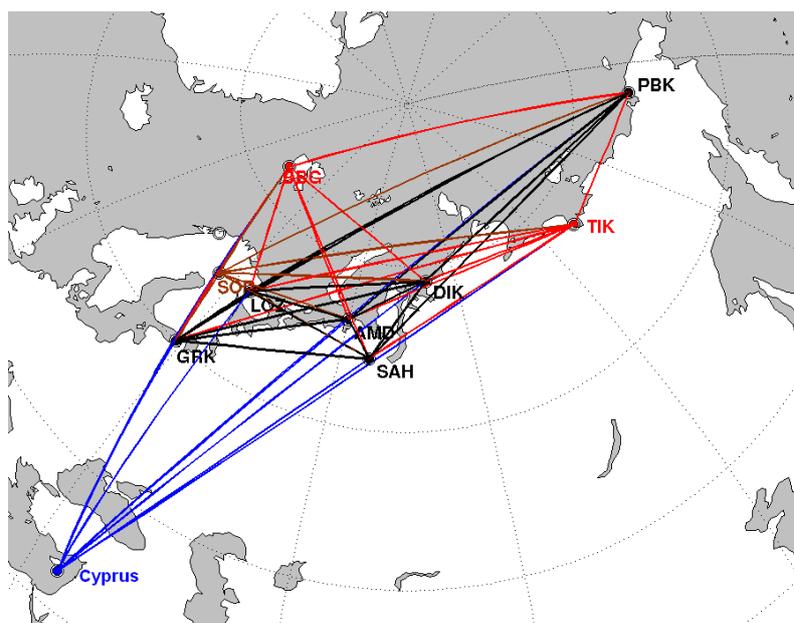


Рисунок 1. Сеть трасс наклонного зондирования ионосферы в Арктическом регионе РФ.

Условия КВ радиосвязи в Арктике

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. Для наглядности полученных результатов предложен метод анализа условий многолучевости по сетке частот, соответствующей радилюбительским диапазонам (2, 3.5, 7, 14, 21 и 28 МГц – алгоритмы обеспечивают выбор произвольного набора диапазонов частот), представляются графики с информацией о наличии или отсутствии распространения радиоволн данных частот на ряде радиотрасс [Рогов, 2020]. Пример работы данного алгоритма для периода с 17 по 18 октября 2020 г. для радиотрасс Ловозеро – Амдерма и Салехард - Диксон приведен на рисунке 2а и 2в соответственно. Слева отмечаются суточные хода основных параметров распространения радиоволн (максимальные и наименьшие наблюдаемые частоты отражений от F- и E-областей ионосферы). На правой панели цветом показаны условия многолучевости сигналов на выбранной частоте с оценкой вероятности связи в каждом отдельно взятом диапазоне на отдельной радиотрассе (вероятность связи рассчитывается как отношение числа ионограмм с сигналами на данной частоте, к общему числу зарегистрированных ионограмм). Подобная реализация имеет удобное практическое применение, когда оператор может выбрать диапазон частот, на котором вести более качественную КВ радиосвязь.

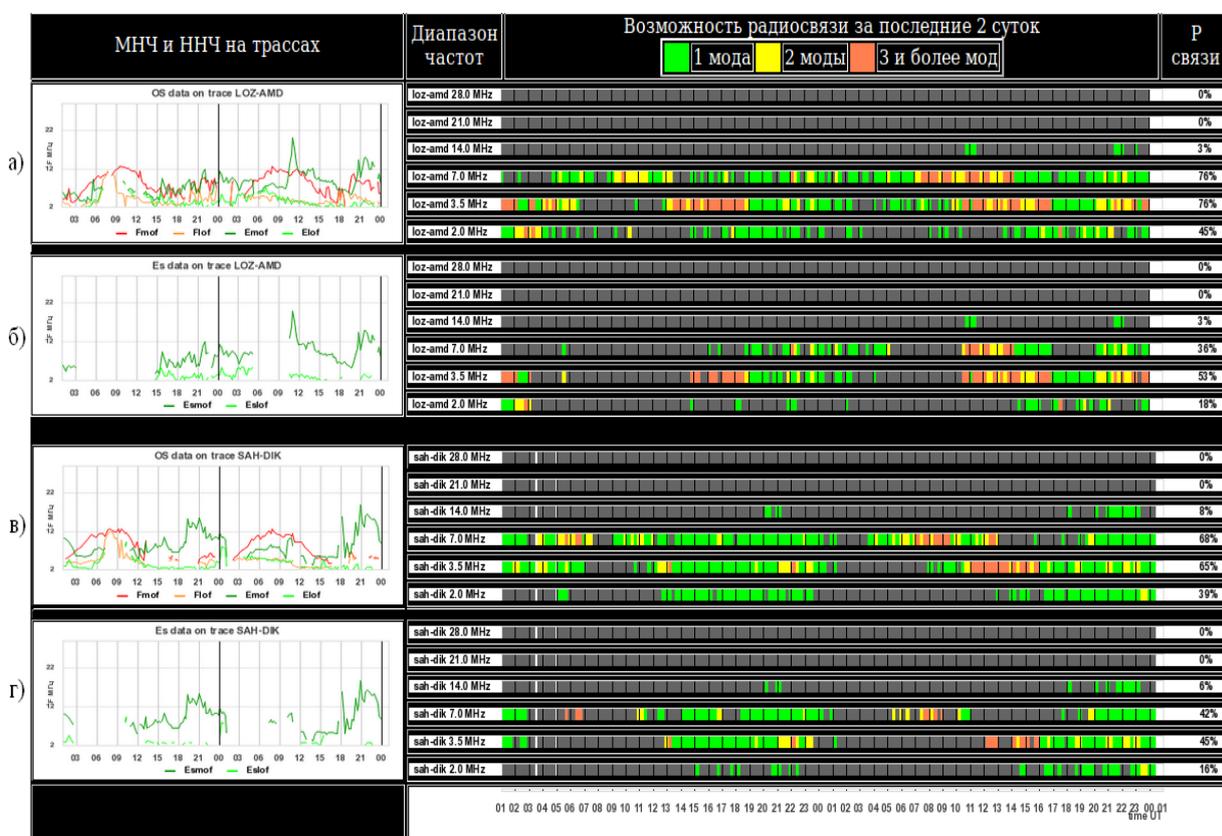


Рисунок 2. Панели (а) и (в) МНЧ и ННЧ на трассах наклонного зондирования ионосферы Ловозеро – Амдерма и Салехард - Диксон (левый столбец) и возможность радиосвязи с указанием условий многолучевости за двое суток с 17 по 18 октября 2020 г. (правый столбец). Панели (б) и (г) – МНЧ и ННЧ отражений от спорадических Es слоев ионосферы для этих же радиотрасс (левый столбец) возможность радиосвязи с отражениями от спорадических Es слоев ионосферы с указанием условий многолучевости за двое суток с 17 по 18 октября 2020 г. (правый столбец).

Панели (б) и (г) рисунка 2 показывают МНЧ и ННЧ отражений от спорадических Es слоев ионосферы для этих же радиотрасс (левый столбец) возможность радиосвязи с отражениями от спорадических Es слоев ионосферы с указанием условий многолучевости за двое суток с 17 по 18 октября 2020 г. (правый столбец). Методика разделения отражений от регулярного слоя E ионосферы и спорадических слоев Es предложена в

[Rogov, 2019]. Видно, что на данных радиотрассах даже в относительно спокойных условиях до 45-53% сеансов наблюдений показывают наличие интенсивных отражений от спорадических Es слоев. Что имеет большое значение для всех КВ радиотехнических систем в данном регионе. В [Rogov, 2019] показано, что в авроральной и субавроральной зонах процент Es отражений может составлять до 25-30% в сутки в спокойных условиях и до 80-95% с ростом магнитосферно-ионосферной возмущенности.

Условия появления сигналов, отраженных от спорадических Es слоев ионосферы улучшают условия КВ радиосвязи в высокоширотной ионосфере, а в условиях геомагнитных возмущений оказывают наибольшее влияние [Калинин и Черенкова, 1971]. Для оперативного определения появления таких условий необходим постоянный мониторинг высокоширотной ионосферы, что может быть осуществлено с помощью рассмотренной сети ионосферных наблюдений и представленных методик.

На рисунке 3 показана возможность радиосвязи в арктическом регионе РФ с указанием условий многолучевости за двое суток (17-18 октября 2020 г.) с группировкой по частотным диапазонам. А на рисунке 4 для этого же периода и этих же радиотрасс приводится возможность радиосвязи в моменты наличия отражений от спорадических Es слоев с указанием условий многолучевости. В данном случае видно, что при наличии спорадических слоев Es могут регистрироваться и другие сигналы (регулярного распространения) – когда отмечается больше 1 моды распространения (рисунок 4). В то же время значительный процент таких отражений позволяет обеспечить одномодовое распространение, что значительно расширяет возможности радиосвязи в данном регионе.

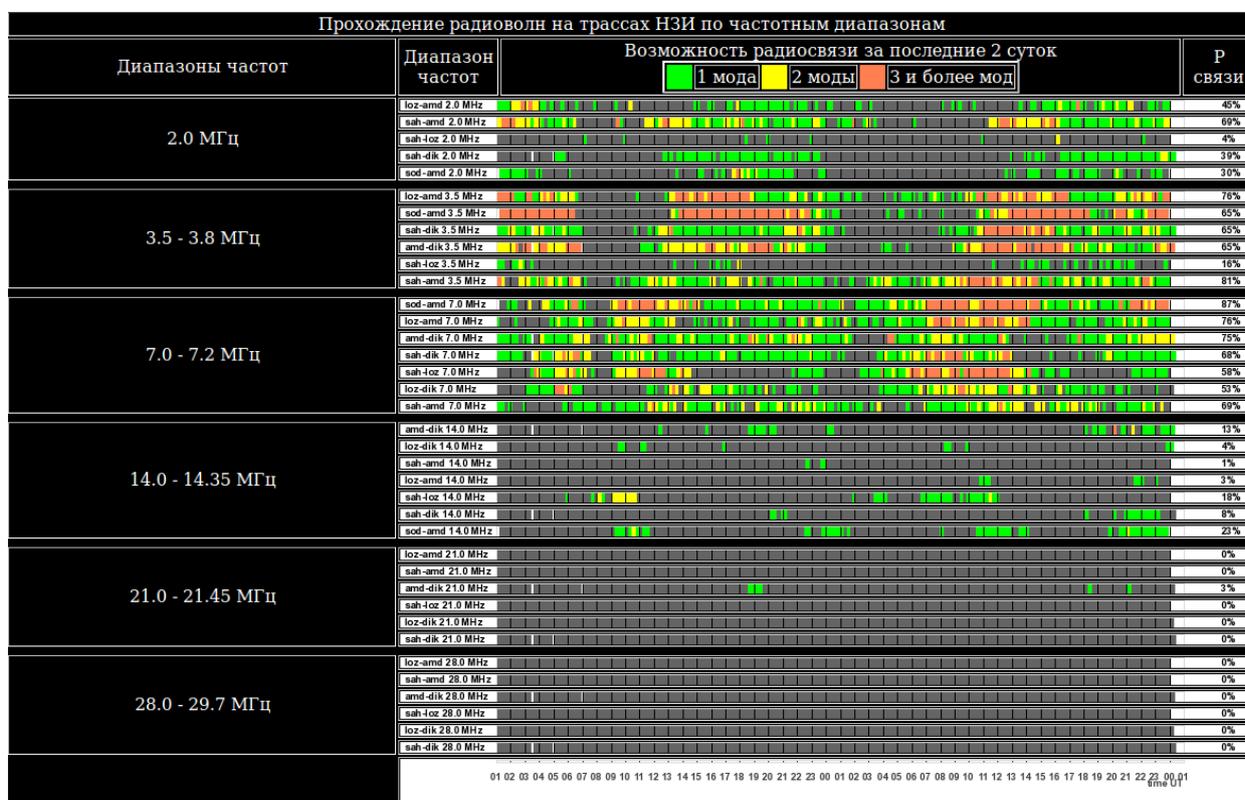


Рисунок 3. Возможность радиосвязи в арктическом регионе РФ с указанием условий многолучевости за двое суток (17-18 октября 2020 г.) с группировкой по частотным диапазонам.

Заключение

Для уверенного определения условий функционирования любых КВ радиосистем в этом регионе необходим мониторинг ионосферы и условий распространения радиоволн. Предложенные алгоритмы позволяют в режиме реального времени получать информацию об условиях распространения КВ радиоволн во всей Арктической зоне РФ. Определяются максимальные и наименьшие наблюдаемые частоты сигналов на ионограммах НЗИ, а также модовая структура сигналов в различных частотных диапазонах. Реализован отдельный анализ отражений от спорадических слоев Es ионосферы, который позволяет значительно улучшить качество рекомендаций для радиосвязи в данном регионе.

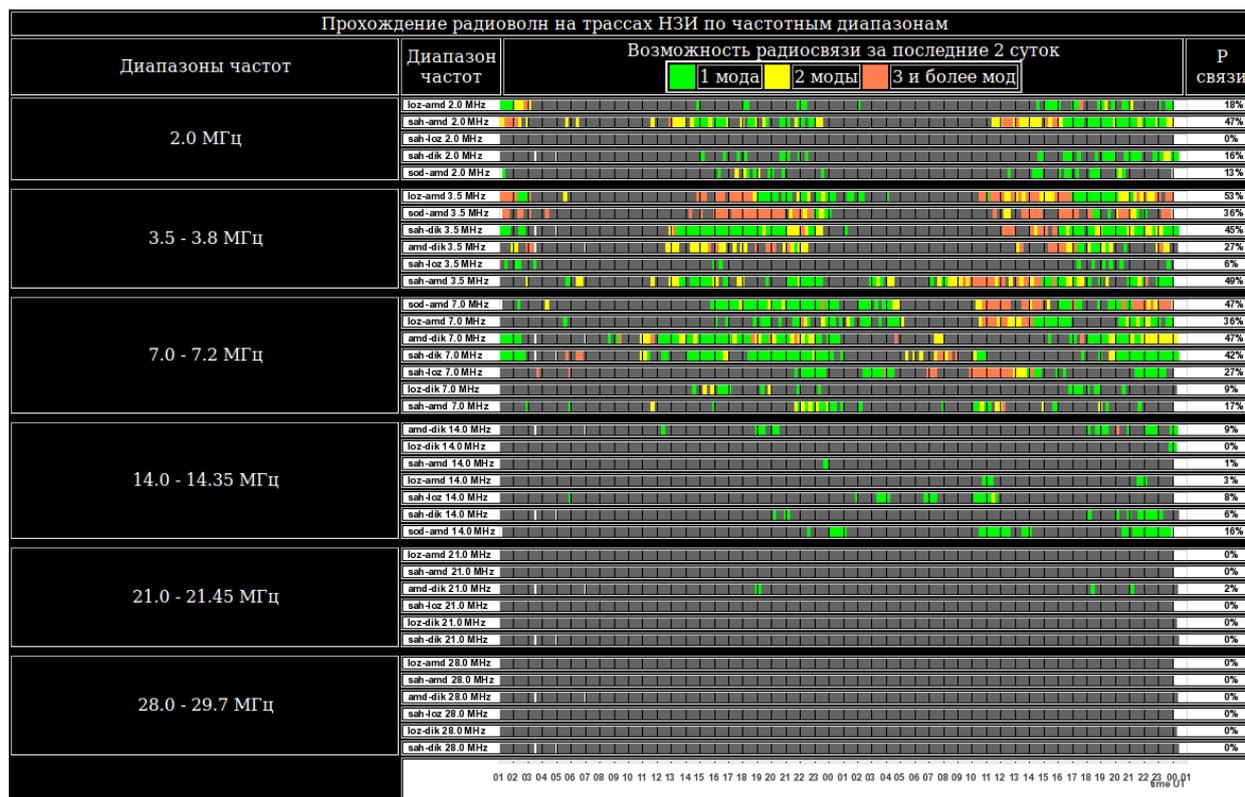


Рисунок 4. Возможность радиосвязи в арктическом регионе РФ отдельно в моменты наличия отражений от спорадических Es слоев с указанием условий многолучевости за двое суток (17-18 октября 2020 г.) с группировкой по частотным диапазонам.

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. и др. ЛЧМ ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46, № 11. С. 919-952.
- Калинин А.И., Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний // М.: Связь, 1971.
- 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, 2020. С. 257-261.
- 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.