

## МОНИТОРИНГ ИОНОСФЕРЫ И УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КВ-РАДИОСИСТЕМ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

**Д.Д. Рогов, П.Е. Барышев, В.М. Выставной**

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия  
rogovdenis@mail.ru

## MONITORING OF THE IONOSPHERE AND OPERATING CONDITIONS OF HF RADIO SYSTEMS IN RUSSIA'S ARCTIC REGION

**D.D. Rogov, P.E. Baryshev, V.M. Vystavnoj**

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia  
rogovdenis@mail.ru

**Аннотация.** Высокоширотная ионосфера, особенно в возмущенных геофизических условиях, обладает существенной неоднородностью. Поэтому для уверенного определения условий функционирования любых КВ-радиосистем в этом регионе необходим мониторинг ионосферы и условий распространения радиоволн. Разработаны алгоритмы, позволяющие в оперативном режиме проводить обработку данных наклонного зондирования ионосферы и выводить рекомендации по использованию частотного диапазона. Также представлены результаты построения карт распределения критических частот в российском арктическом регионе с использованием данных наклонного и вертикального зондирования ионосферы.

**Ключевые слова:** высокоширотная ионосфера, КВ-радиосвязь, распространение КВ-радиоволн, спорадический слой ионосферы, карта распределения критических частот.

**Abstract.** The high-latitude ionosphere, especially in perturbed geophysical conditions, has a significant heterogeneity. Therefore, monitoring of the ionosphere and radio wave propagation conditions is necessary to determine the operation conditions of any HF radio systems in this region. Algorithms have been developed that allow for the real-time processing of oblique ionospheric sounding data and the derivation of recommendations on the frequency range used. The results of the construction of ionospheric critical frequencies maps in the Russian Arctic region using the data of oblique and vertical sounding of the ionosphere are also presented.

**Keywords:** high-latitude ionosphere, HF radio communication, radio wave propagation, sporadic E<sub>s</sub> layer of ionosphere, critical frequency map.

### ВВЕДЕНИЕ

Для исследования высокоширотной ионосферы в Арктическом регионе РФ развернута сеть наклонного зондирования в КВ диапазоне частот [Рогов, Выставной, 2014]. Сеть оборудована современными цифровыми ионозондами с линейно-частотной модуляцией. Данные в оперативном режиме поступают в Полярный Геофизический Центр при ФГБУ «ААНИИ». По результатам зондирования могут быть определены следующие основные параметры на радиотрассе: наименьшая и максимальная наблюдаемые частоты (ННЧ и МНЧ), отношение сигнал/шум и межмодовые задержки. Коротковолновые (КВ) ионосферные радиополосы связи характеризуются многолучевостью распространения, ведущей к замираниям сигнала вследствие интерференции лучей. Многолучевость вызвана приходом в точку приема нескольких мод распространения радиосигнала, а также магнитоионным расщеплением мод.

### УСЛОВИЯ РАДИОСВЯЗИ

Методика определения оптимальных частот радиосвязи в исследуемом регионе заключается в необходимости осуществления оперативной автоматической обработки поступающих данных (ионограмм наклонного зондирования), определения максимальных и наименьших наблюдаемых частот сигналов, а также модовой структуры сигналов в различных частотных диапазонах.

Для реализации данной задачи 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 E<sub>s</sub>-слоя ионосферы.

Для сетки частот, соответствующей радиолюбительским 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 (рис. 1, 2). Цветом показаны условия многолучевости сигналов на выбранной частоте. Как правило, наилучшие условия радиосвязи будут наблюдаться на более высоких частотах, а также в диапазонах, где наблюдается минимальная многолучевость.

Предложенный вариант дополнен статистикой за последние двое суток, а также 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.

### КАРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В СЛОЯХ F И E<sub>s</sub> ИОНОСФЕРЫ

Для более детального исследования пространственного распределения электронной концентрации

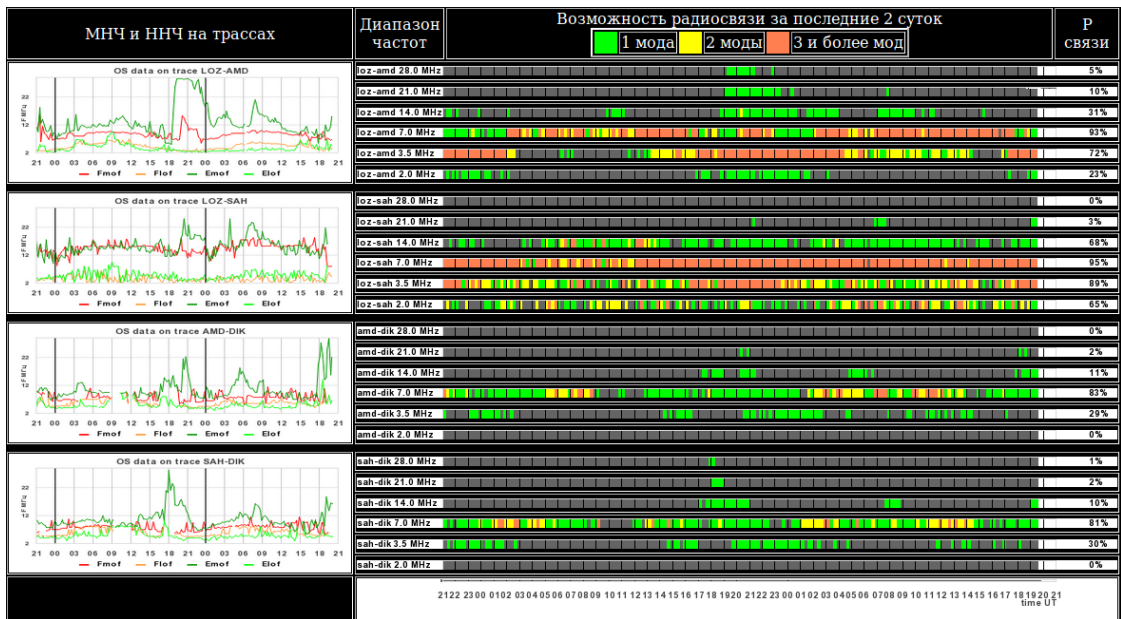


Рис. 1. МНЧ и ННЧ на ряде трасс НЗИ (левый столбец) и возможность радиосвязи с указанием условий многолучевости за двое суток (правый столбец)

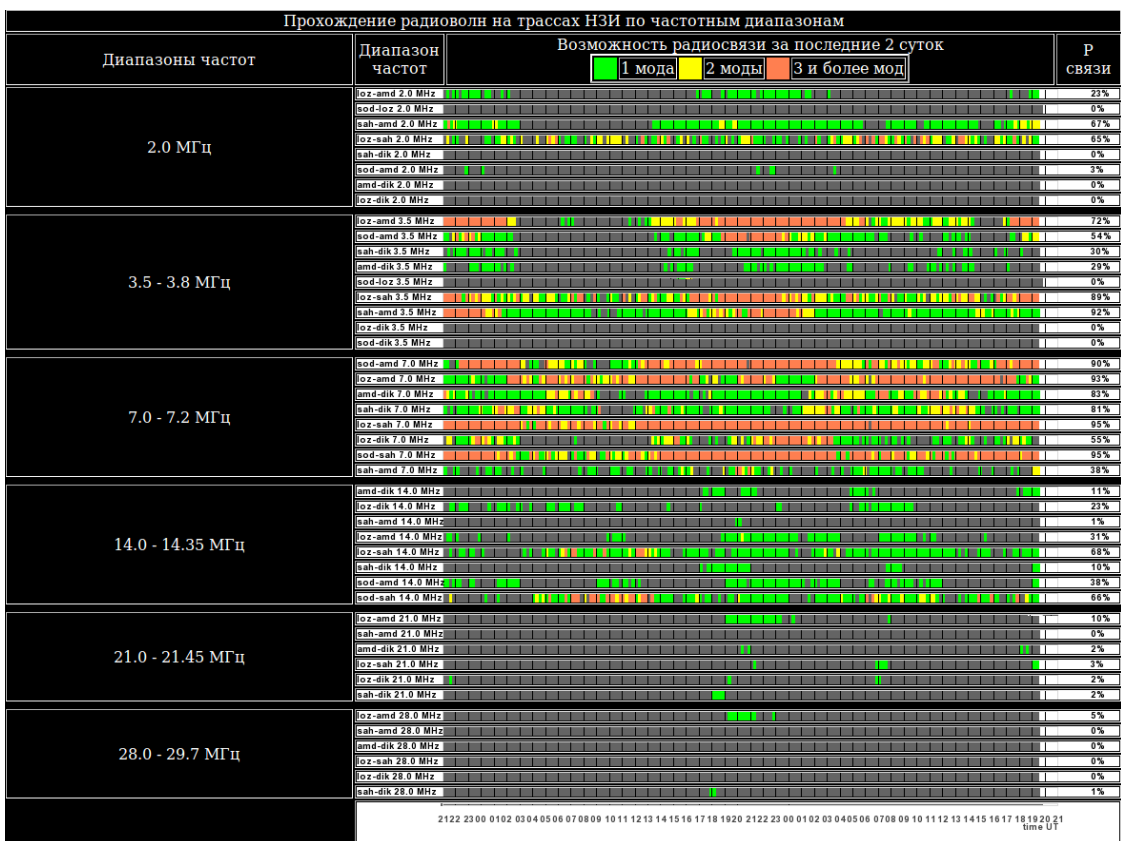


Рис. 2. Возможность радиосвязи с указанием условий многолучевости за двое суток с группировкой по частотным диапазонам

высокоширотной ионосферы разработан алгоритм построения карт распределения критических частот по данным вертикального зондирования ионосферы и восстановленных точек в центре трасс наклонного зондирования ионосферы в Арктическом регионе РФ.

В процессе выполнения расчета осуществляется одновременное ведение нескольких баз данных с

различными параметрами обработки, позволяющими в итоге построить распределение, примеры которых показаны на рис. 3, где приведены результаты с интервалом один-два часа — для моментов времени 18, 20, 21 и 22 UT 12 июня 2019 г. Из рисунка хорошо видна неоднородная структура спорадического слоя над всем регионом.

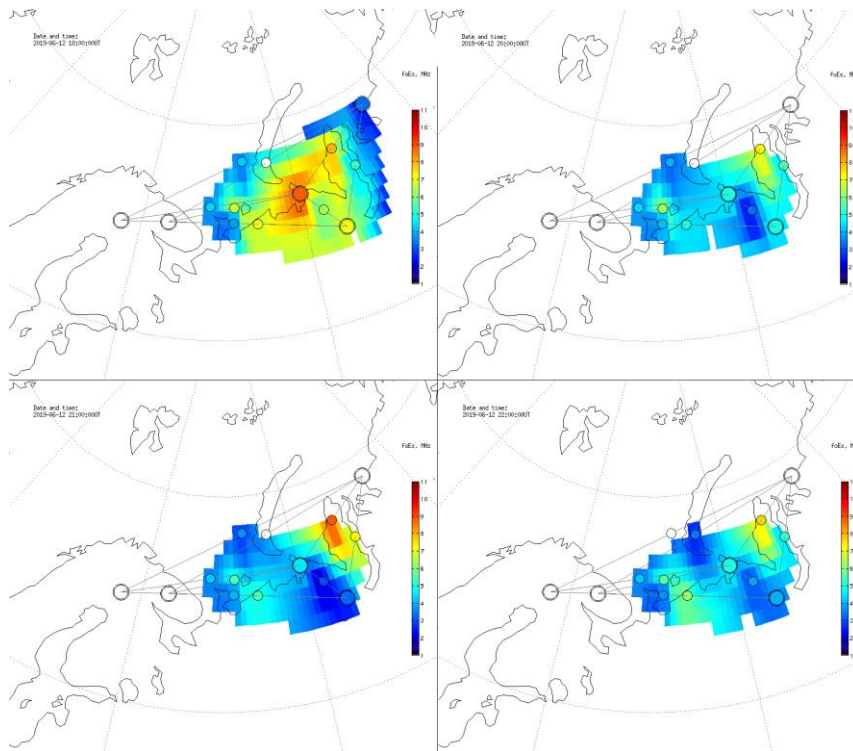


Рис. 3. Карты распределения критической частоты спорадического E<sub>s</sub>-слоя ионосферы по данным вертикального и наклонного зондирования в Арктическом регионе РФ

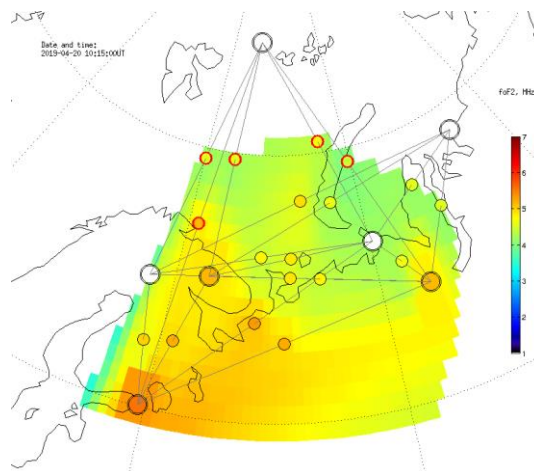


Рис. 4. Распределение критической частоты слоя F2 ионосферы по данным российской сети вертикального и наклонного зондирования, а также по результатам наблюдений НЗИ на борту НЭС «Академик Трешников» 20 апреля 2019 г.

На рис. 4 показано географическое распределение критической частоты слоя F2 ионосферы, рассчитанное по данным ВЗИ и НЗИ (стационарная высокоширотная сеть геофизических станций) с учетом данных НЗИ, полученных на борту НЭС «Академик Трешников» 20 апреля 2019 г. Данная карта построена с помощью восстановления критической частоты в средней точке отражения радиотрасс. Дополнительные точки (отмечены красными кружочками), которые получились для данного момента времени, благодаря экспедиции «Трансарктика-2019» позволяют существенно расширить область исследования высокоширотной ионосферы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм определения условий радиосвязи по данным сети наклонного зондирования

для выбранных частотных диапазонов, отображающий наличие сигналов, а также условия многолучевости. Реализован способ построения карт распределения критических частот в российском арктическом регионе с использованием данных наклонного и вертикального зондирования ионосферы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-80004.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.