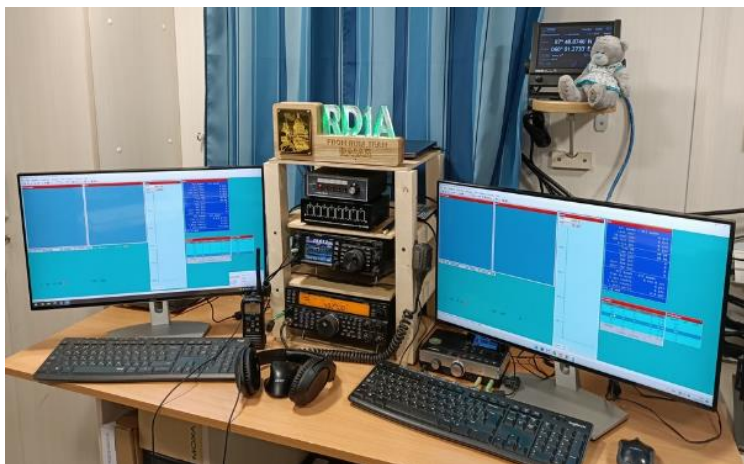


Результаты моделирования сеансов коротковолновой радиосвязи между НЭС "Северный полюс" и научными станциями в Антарктиде



Т.Д. Борисова, О.Ю. Стрибный, А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская
Арктический и антарктический научно-исследовательский институт
г. Санкт-Петербург

Коротковолновая радиосвязь между НЭС "Северный полюс" и научными станциями в Антарктиде



Сеансы радиосвязи проводились с января 2023г. по апрель 2024г. За это период удалось провести 60 сеансов радиообмена.

В период проведения экспедиций "Северный полюс - 41" и "Северный полюс - 42" были проведены серии сеансов коротковолновой радиосвязи между Ледостойкой самодвижущейся платформой ЛСП и научно-исследовательскими станциями в Антарктиде.

Радиосвязь с борта НЭС «Северный полюс» проводил руководитель группы геофизических исследований, выполняющий радиофизические исследования, Стрибный О.Ю. (RD1A)



Используемое оборудование

На борту судна и ледовом лагере был развернут комплекс широкополосных и резонансных антенн



Антенна типа Yagi DXer-206
14МГц, 18МГц, 21МГц, 24МГц,
28МГц
Gain = 4,4-4,8dBi

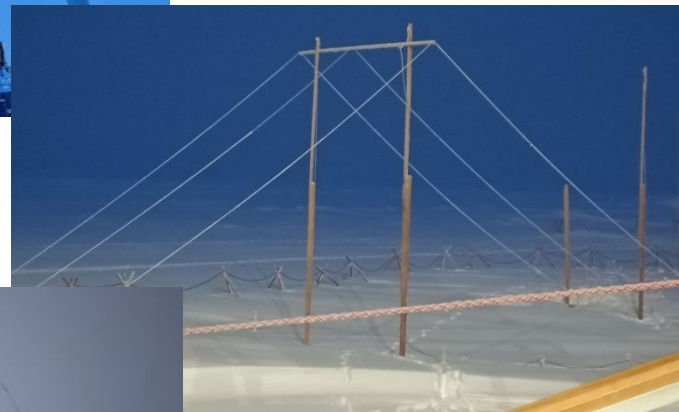
Протяженность радиотрасс составляла более 17 тыс. км.
Радиосвязь осуществлялась в диапазоне частот от 7 до 28 МГц.



18МГц – 3 el Yagi
17m 3el Yagi 9m up
Gain = 11,5dBi

Аналоговая связь CW и SSB проводилась мощностью 1.5 кВт.

Цифровая связь FT4 и FT8 – мощностью 100 или 400 Вт



28МГц – 4 el Yagi
10m 4el Yagi 6m up
Gain = 14,4dBi

Используемое оборудование

Трансивер Yaesu FT-991A



Трансивер SunSDR2 DX.



Усилитель Ameritron ALS-500M



Усилитель Acom 2000A



Результаты измерений на трассах Антарктида - ЛСП

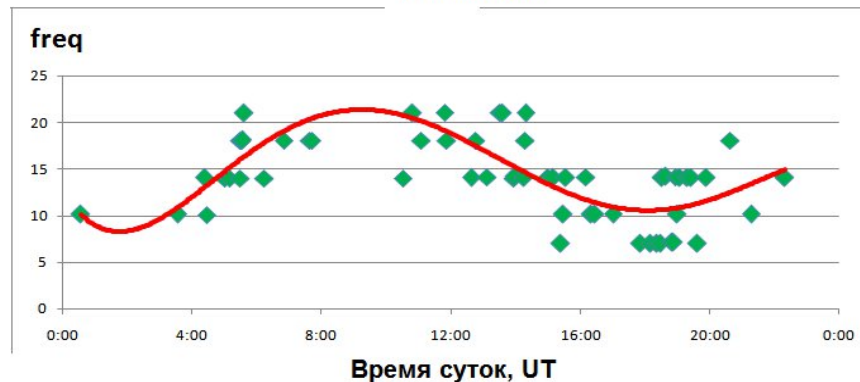
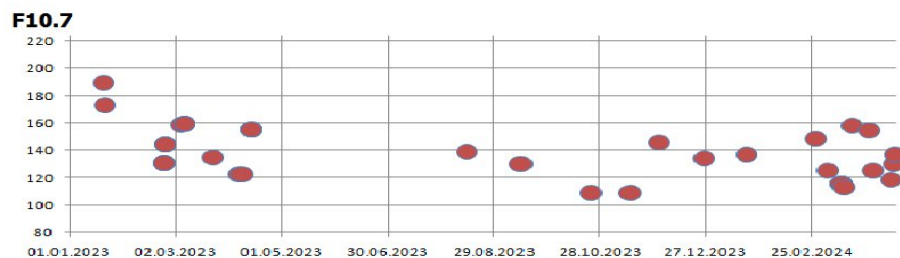
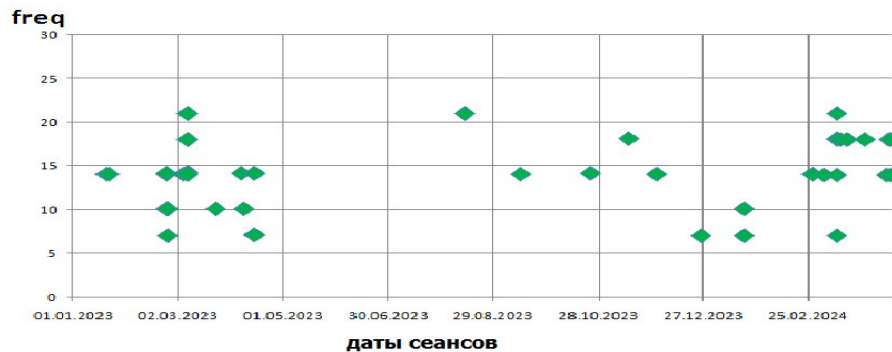
Распределение регистрируемых частот в период
01.01.2023 -30.03.2024 г.г.

Фоновые геофизические условия в
периоды проведения сеансов радиосвязи

Солнечная активность: F107 в диапазоне 120 -
160.

Уровень геомагнитной активности: K_p - индекс
изменялся от 0 до 3+

**Распределение частот коротковолновой связи в
зависимости от времени суток.** Наблюдается
суточная зависимость изменения диапазона
частот связи на трассах Антарктида –ЛСП с
“провалом” в приеме радиосигналов в период
времени наблюдений в течение суток 8 - 11 UT,
что соответствует 14 - 18 ч местного времени.



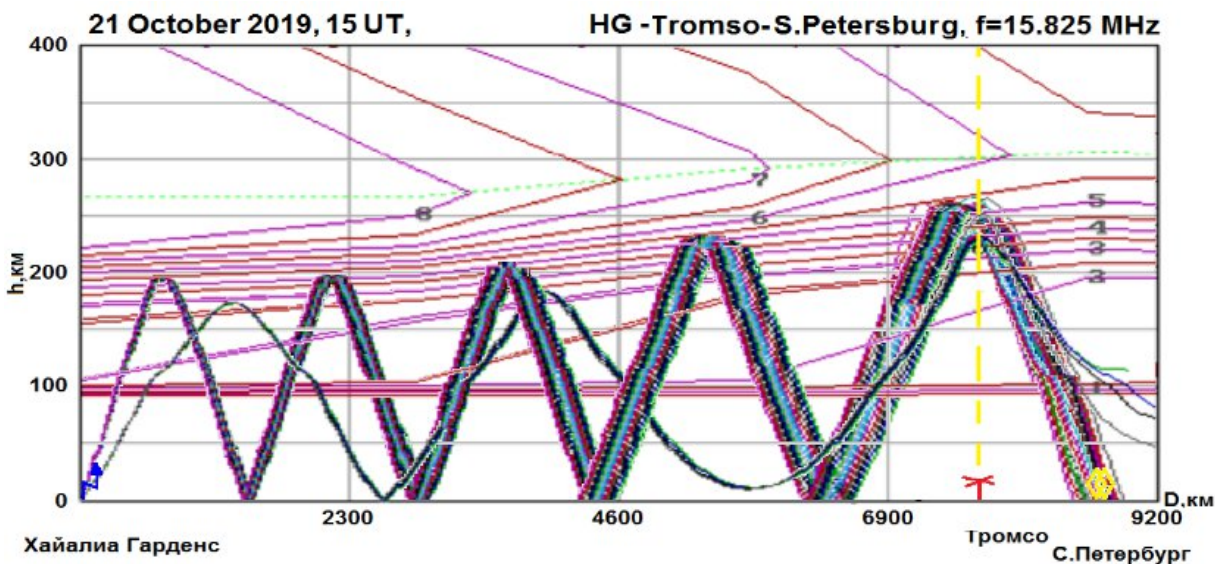
Модель КВ радиоканала

Программное обеспечение для определения параметров КВ радиоканала

Программа предназначена для численного определения характеристик распространения сигналов КВ диапазона вдоль трассы передатчик – приемник в полярных, авроральных и средних широтах **в том числе в условиях воздействия мощных КВ радиоволн.**

Входные данные: день года, время суток, солнечная и магнитная активности, географические координаты пунктов излучения и приема (и нагревного стэнда при необходимости).

Выходные данные: траектории, сдвиг f_{dop} , углы приема, МПЧ, уровень поля.



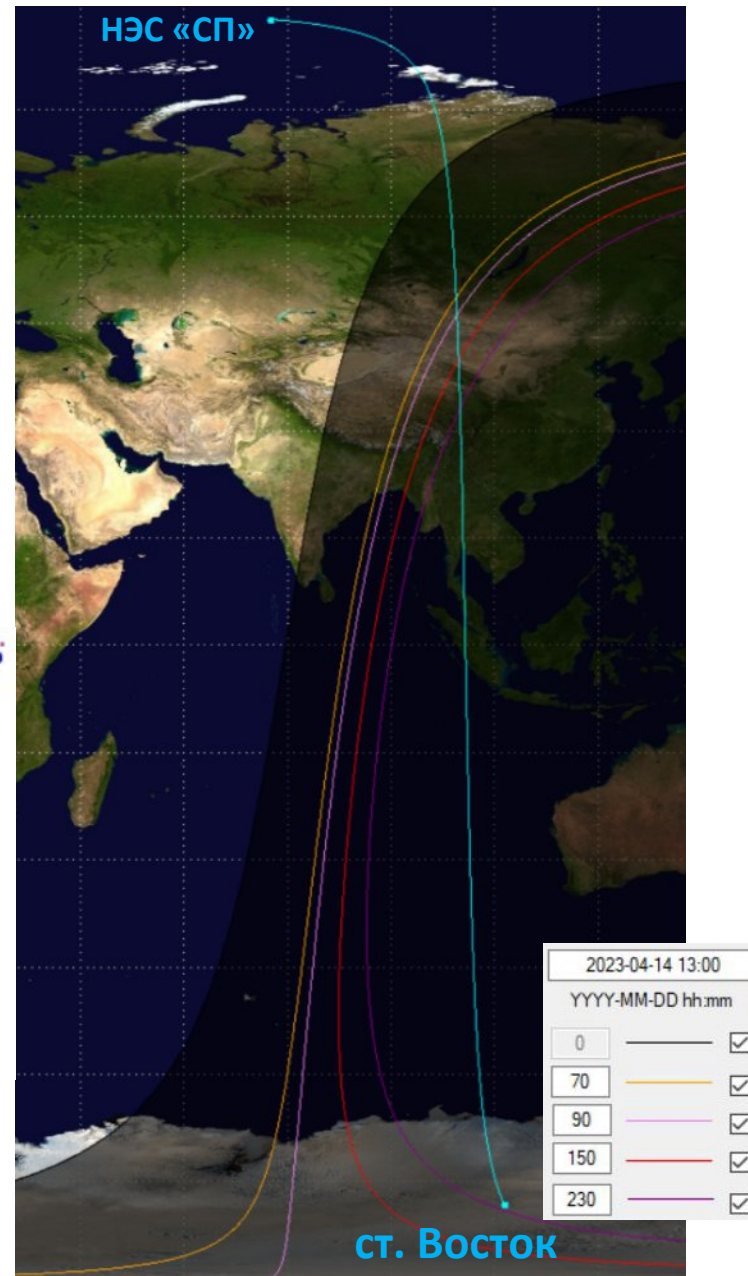
Результаты моделирования траекторных характеристик распространения сигнала с частотой 158295 кГц на трассе Хайлиа Гарденс (США) – Tromse – С.Петербург при ракурсном рассеянии на МИИН над Тромсе для геофизических условий октября 2019г. – $W \sim 1$, $K_p = 0$, $t = 15\text{UT}$, $W_3 \sim 100$.

Результаты моделирования

Приведены результаты траекторных расчетов для 14 апреля 2023 г. Входными параметрами модели являлись текущие характеристики описания гелиогеофизической обстановки заданного дня F107, Kp, месяц, день, время суток, частота радиосигнала, координаты НЭС «Северный полюс» и ст. Восток. Показаны изолинии плазменных частот вдоль радиотрассы распространения.



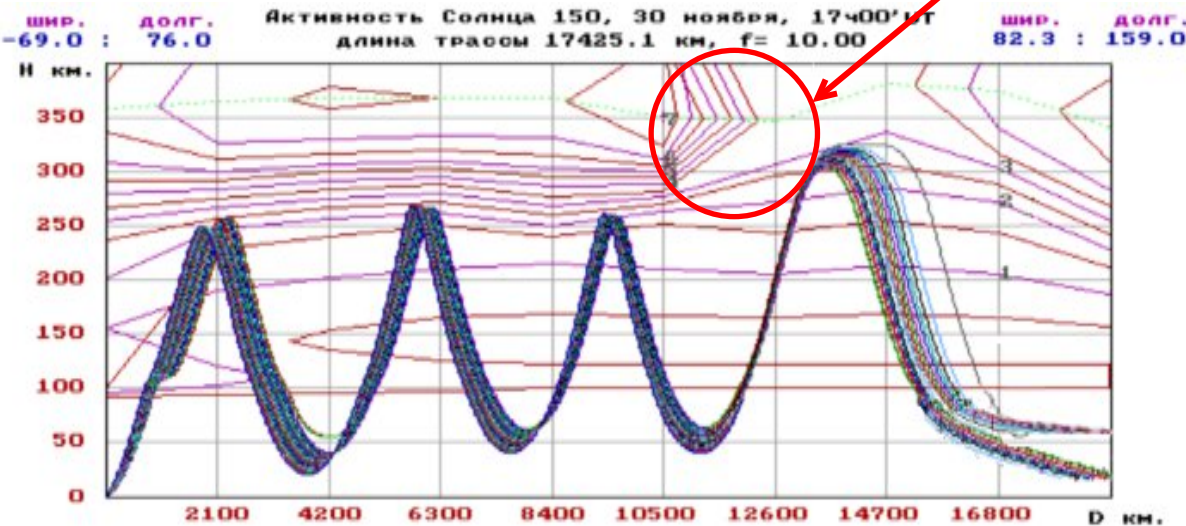
Проекция трассы распространения радиосигналов на поверхности Земли и линии терминаторов на различных высотах



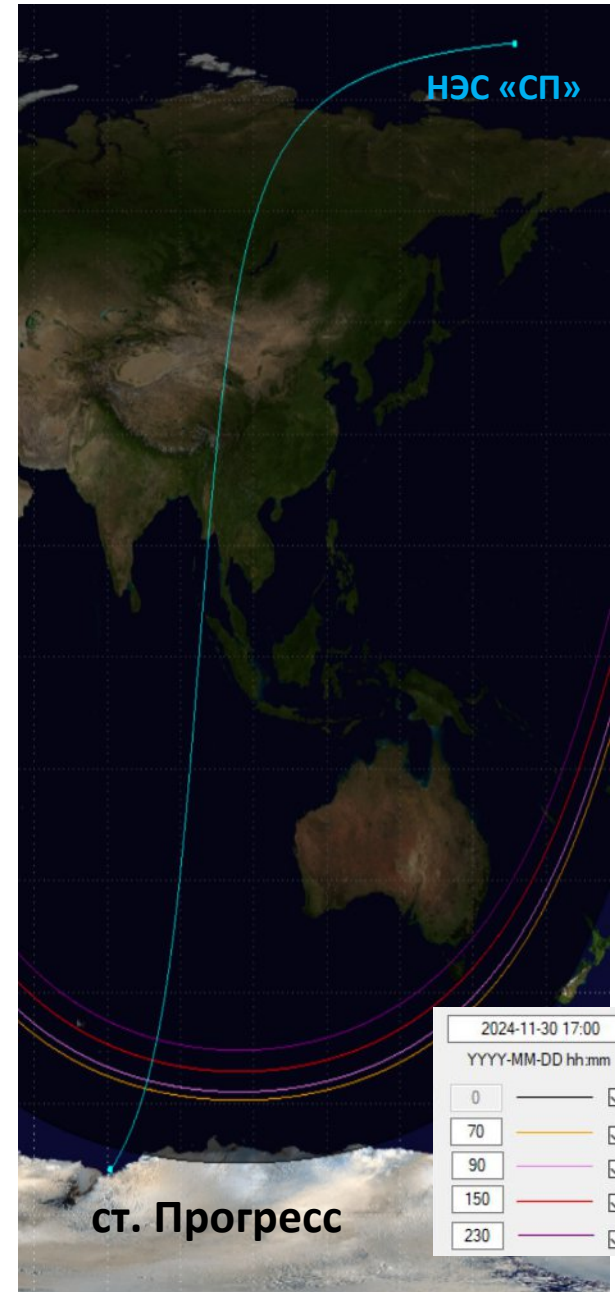
Результаты моделирования

Приведены результаты траекторных расчетов для 30 ноября 2024 г. Входными параметрами модели являлись текущие характеристики описания гелиогеофизической обстановки F107, Kp, месяц, день, время суток, частота радиосигнала, координаты НЭС «Северный полюс» и ст. Прогресс. Показаны изолинии плазменных частот вдоль радиотрассы распространения.

экваториальная область



Проекция трассы распространения радиосигналов на поверхности Земли и линии терминаторов на различных высотах



Результаты моделирования

- Приведены результаты моделирования траекторий радиосигналов реализующих двухточечную задачу распространения между радиопередатчиками, расположенными в Антарктиде и ЛСП. Благодаря естественному распределению ионосферной плазмы (градиентам вдоль траектории распространения) в определенные периоды формируются траекторные моды «с провисанием» без отражения от Земли. Уровень сигнала подобных мод значительно выше, чем у «скачковых мод с отражением от Земли».
- Расчетные значения напряженности поля в месте приема при 5-6 скачковом распространении могли составить $E \sim 1.5 - 3 \text{ mV/m}$
- Отметим, что выход радиоволны из ионосферного волновода в Северном полушарии возможен из-за рассеяния на естественных мелкомасштабных ионосферных неоднородностях, которые создают дополнительные пути распространения радиосигналов до ЛСП.
- Основное влияние на установление связи между высокими широтами играет экваториальная аномалия с повышенной электронной концентрацией. Сеансы связи возможны если волна «подныривает» под экваториальной областью.

Заключение

Измерения радиосигналов на трассах Антарктида – ЛСП протяженностью от 17000 до 19000 км проводились с января 2023 г. по апрель 2024г. Регистрация наблюдалась в 60 сериях сеансов измерений

Сигналы не регистрировались с 1 мая 2023 г. По 15 июля 2023 г.

- Наблюдается зависимость в распределении частот коротковолновой связи в зависимости от времени суток с минимумами в 02 UT и 17 UT.
- Проведено численное моделирование траекторий распространения сигналов КВ диапазона вдоль трассы передатчик – приемник. Входными параметрами модели являлись текущие характеристики описания гелиогеофизической обстановки 2023-24г.г.: F107, Kp, месяц, день года, время суток, частота радиосигнала, координаты КВ радиопередатчика и ЛСП.
- Расчеты показали, что распространение радиосигналов на трассах Антарктида – НЭС «Северный полюс» происходит в основном траекторными модами «с провисанием» без отражения от Земли.
- Вопреки мнению, что основной канал радиосвязи образуется вдоль линий утреннего и вечернего терминатора, показано, что большое значение играет экваториальная аномалия. Радиосвязь возможна, если радиотрасса «подныривает» под данной областью.

