

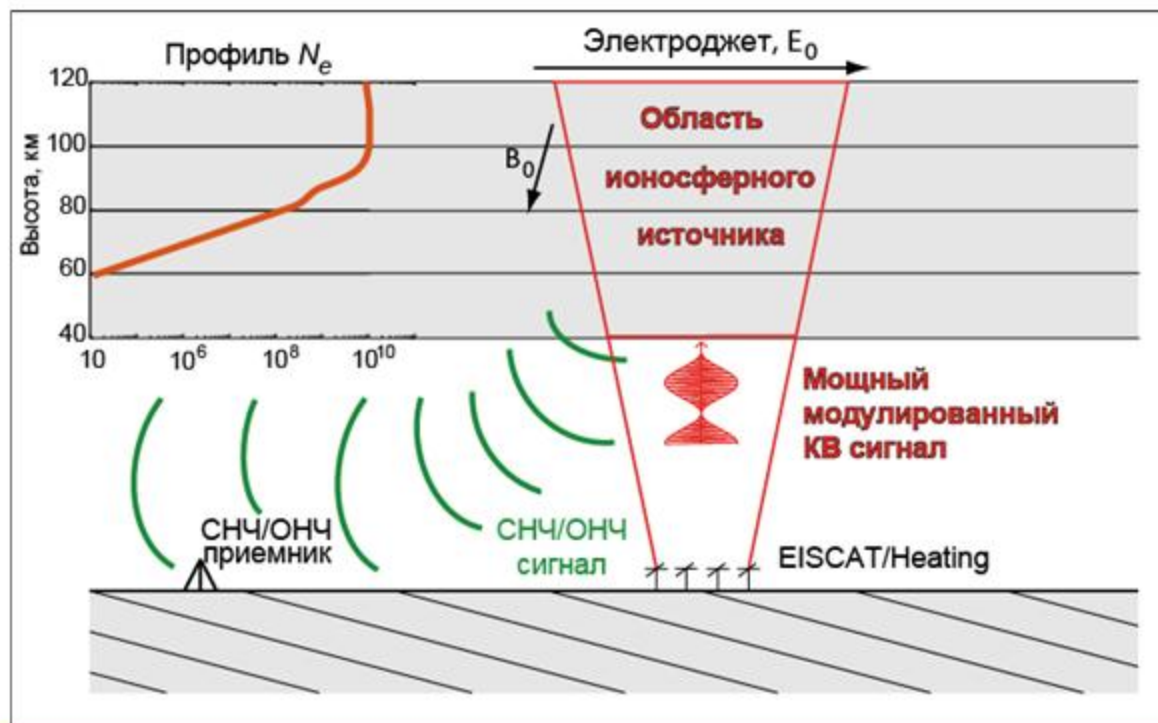
Структура полярного электроджета и результаты наземных наблюдений электромагнитного поля в экспериментах по модификации ионосферы мощным КВ радиоизлучением

Ларченко А.В.,
Федоренко Ю.В.,
Лебедь О.М.,
Пильгаев С.В.

Введение

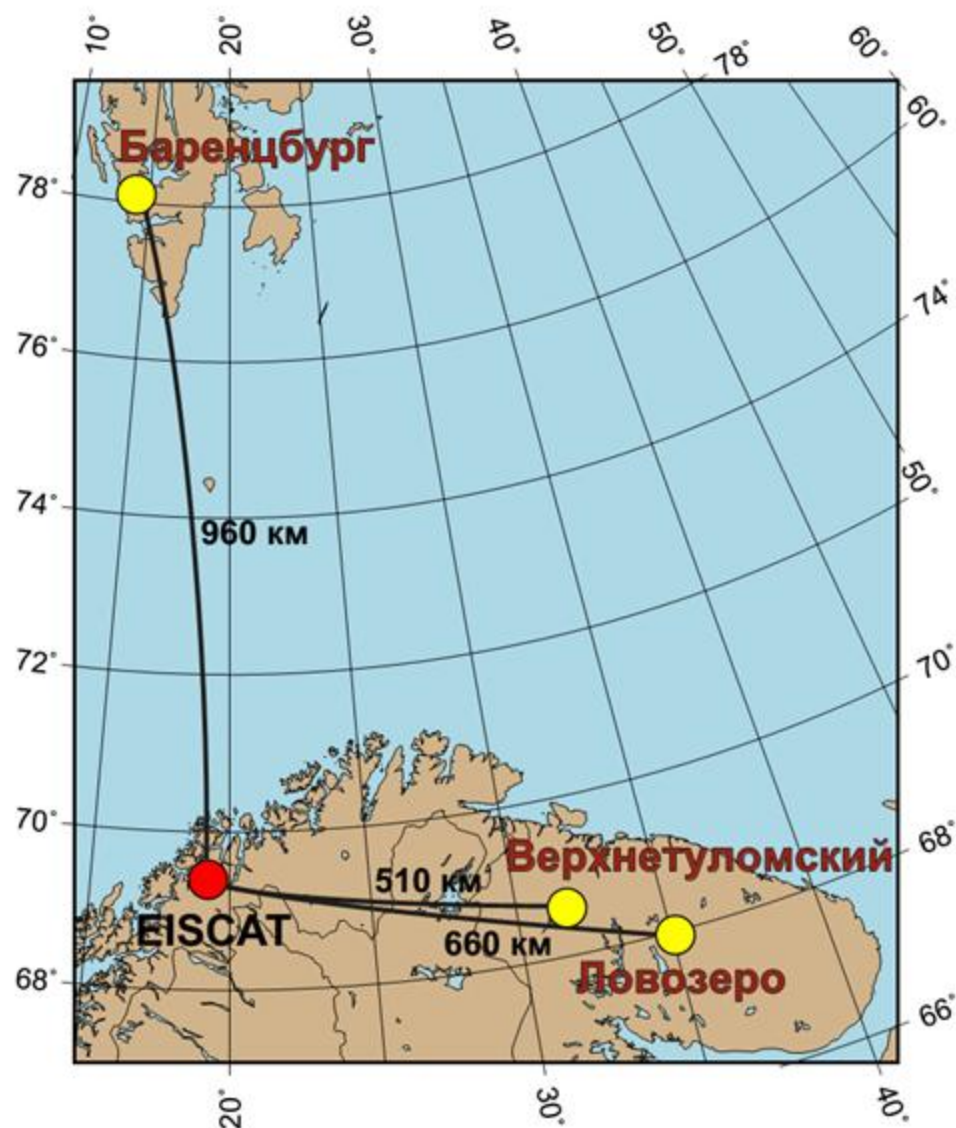
При воздействии на ионосферу мощным модулированным КВ радиоизлучением на высотах 80-90 км за счет увеличения электронной температуры происходит модуляция проводимости ионосферы. Под воздействием внешнего электрического поля электроджета происходит генерация модулированных токов и, соответственно, электромагнитной волны с частотой модуляции.

Отсюда следует, что структура полярного электроджета в области нагрева имеет непосредственное влияние на процессы возбуждения волновода Земля-ионосфера. Параметры низкочастотных сигналов, регистрируемых на земной поверхности на расстояниях нескольких длин волн от области нагрева (источника), отражают:



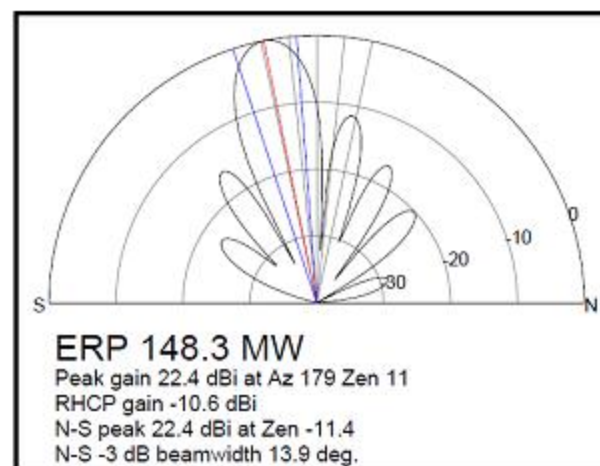
- конфигурацию самого ионосферного источника
- состояние волновода Земля-ионосфера вдоль трассы распространения

Постановка эксперимента



Эксперимент по нагреву ионосферы мощным КВ излучением станда «EISCAT/Heating» проводился ААНИИ 24-26 октября 2016 г.

Излучение на частоте 4040 кГц проводилось в направлении магнитного зенита на X моде.



Будем рассматривать результаты регистрация сигналов ионосферного источника в:

- Ловозеро (LOZ)
- Верхнетуломский (TUL)
- Баренцбург (BAB)

Оборудование

Характеристики СНЧ/ОНЧ приемников:

- АЦП - 24 бит, 4 канала, SAR
- Динамический диапазон АЦП – 115.5 дБ
- Частота дискретизации – 32 кГц
- Рабочий диапазон частот 0.03 – 15 кГц
- Синхронизация потока данных с Мировым Временем с ошибкой **не более 1 мкс**
- Гальваническое разделение аналоговой и цифровой частей



Антенная система
Верхнетуломский



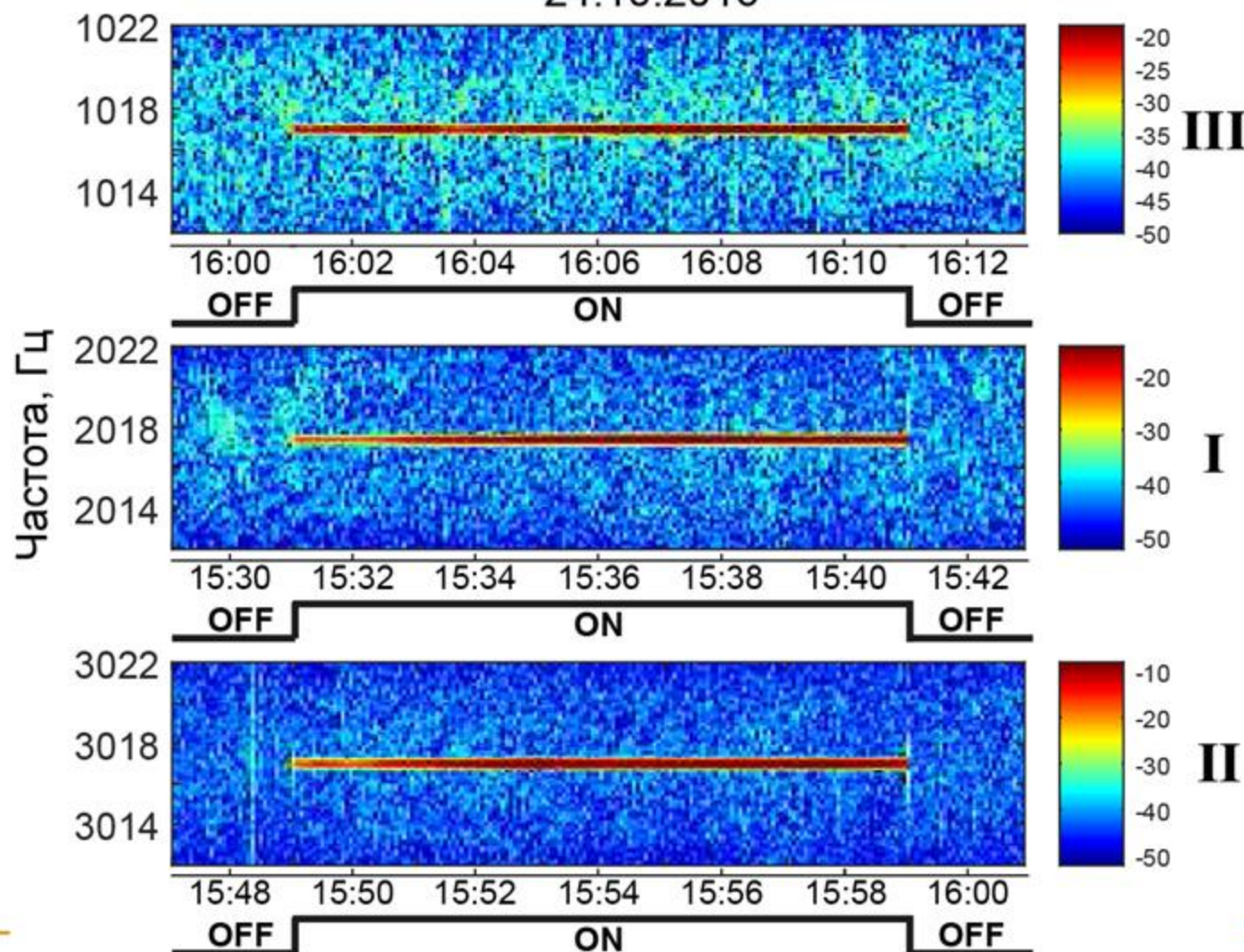
Антенная система
Баренцбург

Регистрация трех компонент
ЭМ поля: H_x , H_y , E_z

Эксперимент: спектры зарегистрированных сигналов ионосферного источника

Баренцбург (BAV)

24.10.2016

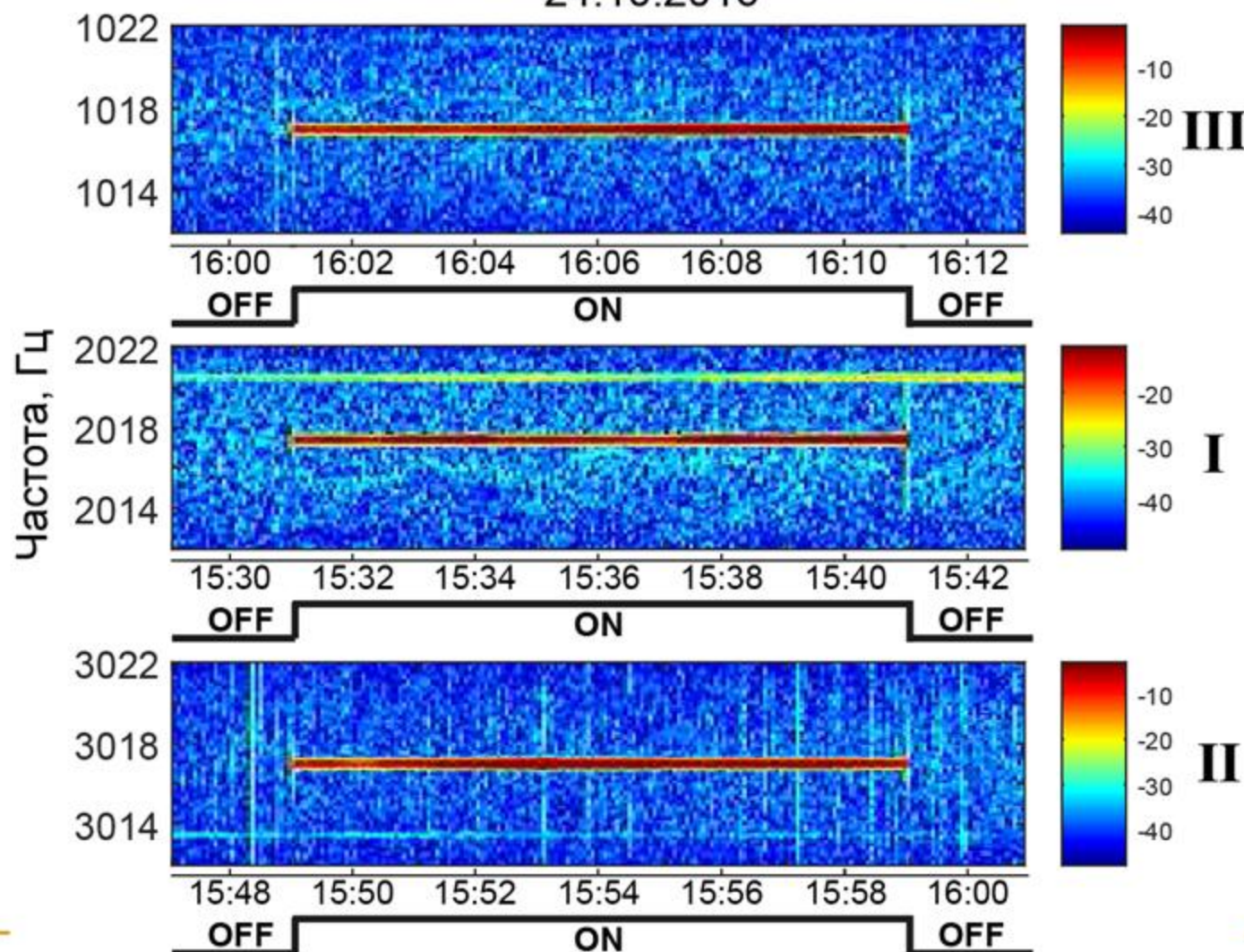


24 октября 2016 г.
нагрев ионосферы
начался в 15 UT и
осуществлялся на
модуляциях 1017,
1617, 2017 и 3017 Гц в
режиме :

- 10 мин. нагрева
при каждой
модуляции;
- 5 мин. перерыв
между
модуляциями
- 2 мин. перерыв
между циклами

Эксперимент: спектры зарегистрированных сигналов ионосферного источника

Ловозеро (LOZ)
24.10.2016



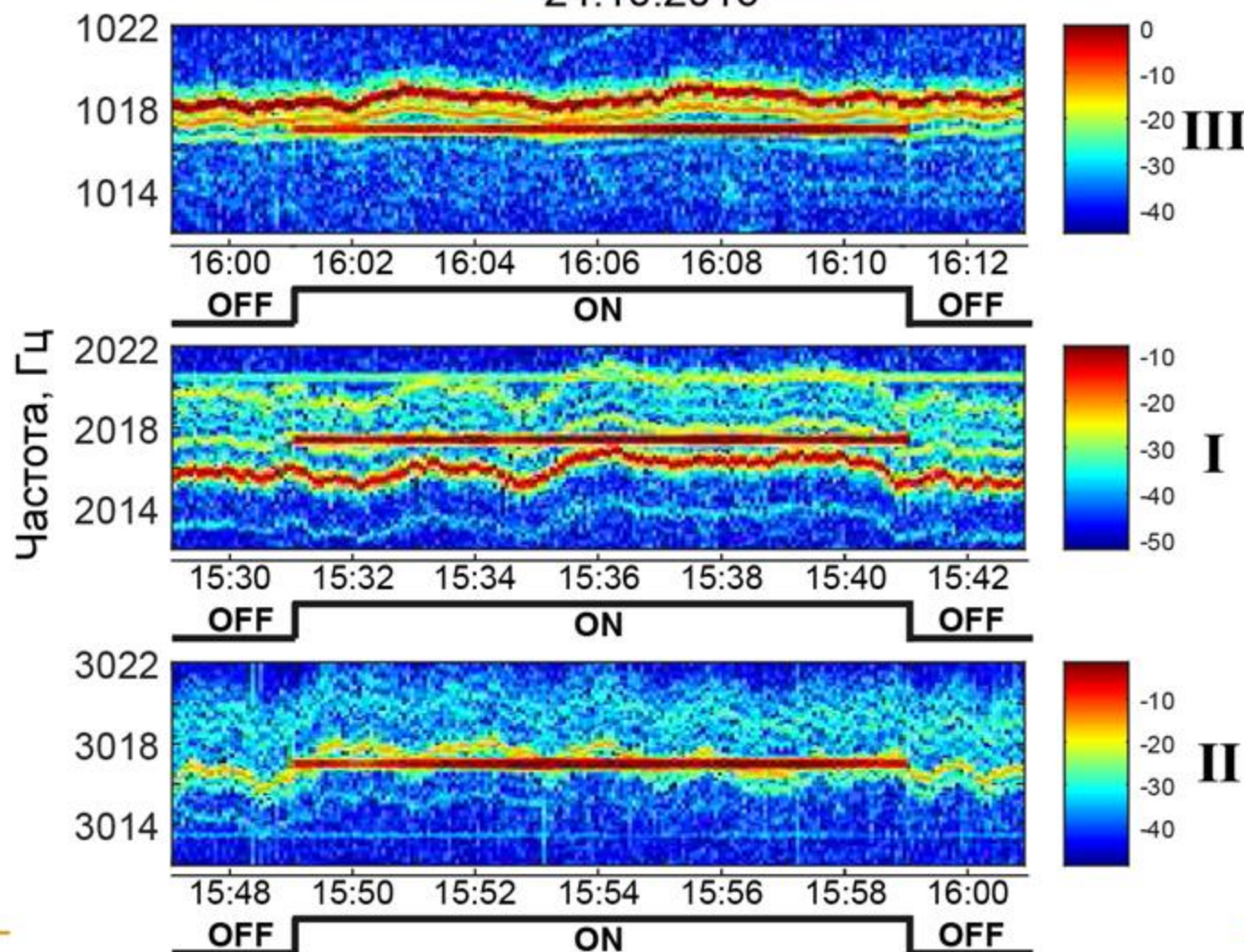
24 октября 2016 г.
нагрев ионосферы
начался в 15 UT и
осуществлялся на
модуляциях 1017,
1617, 2017 и 3017 Гц в
режиме :

- 10 мин. нагрева
при каждой
модуляции;
- 5 мин. перерыв
между
модуляциями
- 2 мин. перерыв
между циклами

Эксперимент: спектры зарегистрированных сигналов ионосферного источника

Верхнестуломский (TUL)

24.10.2016

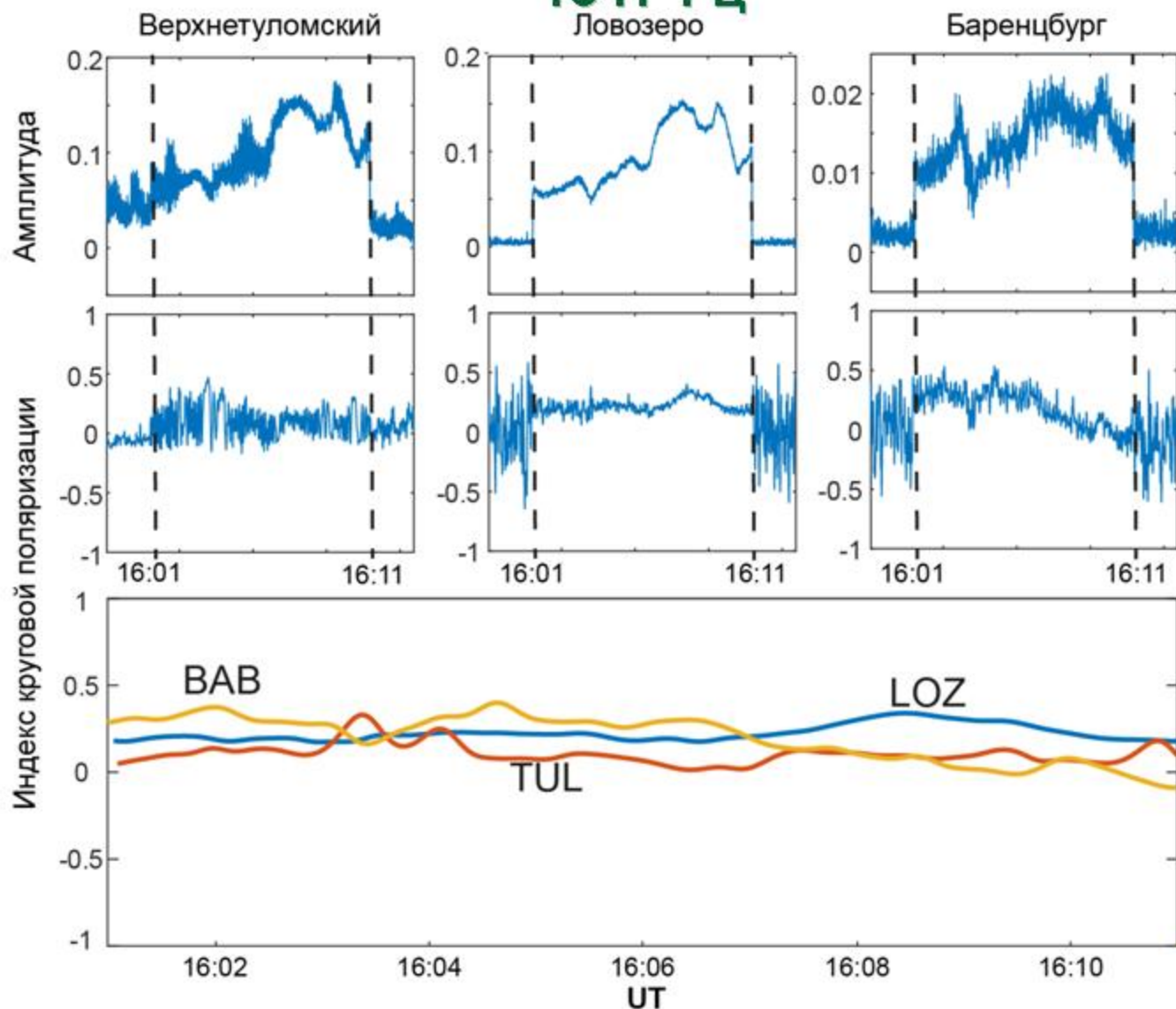


24 октября 2016 г. нагрев ионосферы начался в 15 UT и осуществлялся на модуляциях 1017, 1617, 2017 и 3017 Гц в режиме :

- 10 мин. нагрева при каждой модуляции;
- 5 мин. перерыв между модуляциями
- 2 мин. перерыв между циклами

Эксперимент: индексы круговой поляризации горизонтального магнитного поля ионосферного источника

1017 Гц



Были рассчитаны средние значения степеней линейной P_l , круговой P_c и полной поляризации P_t и индексы*:

$$P_{ci} = \frac{P_c}{P_t} \quad P_{li} = \frac{P_l}{P_t}$$

$$P_t = \sqrt{P_c^2 + P_l^2}$$

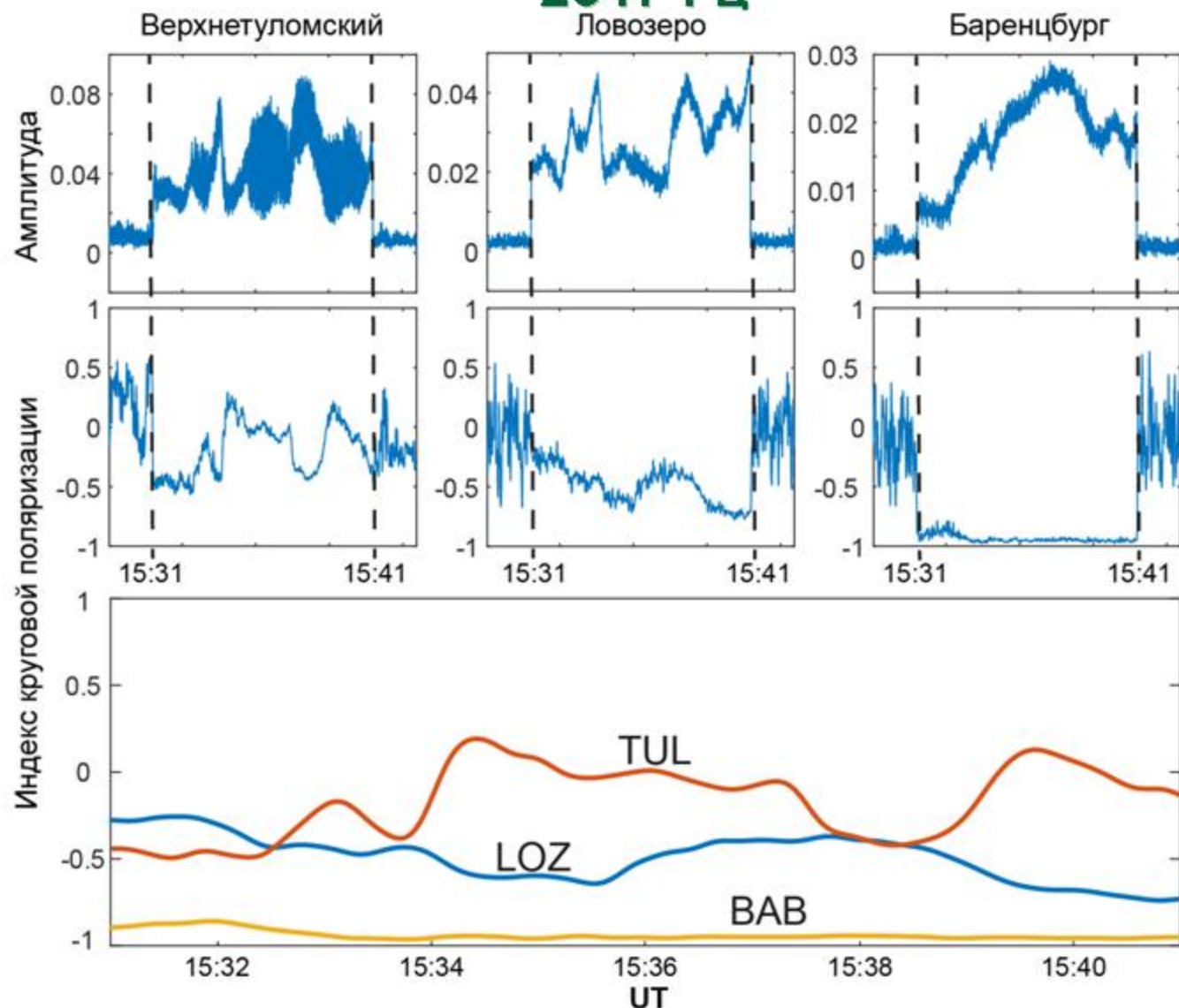
➤ Распространение на TEM моде, для которой характерна линейная поляризация;

LOZ: 0.18...0.34

BAB: -0.10...0.40

Эксперимент: индексы круговой поляризации горизонтального магнитного поля ионосферного источника

2017 Гц



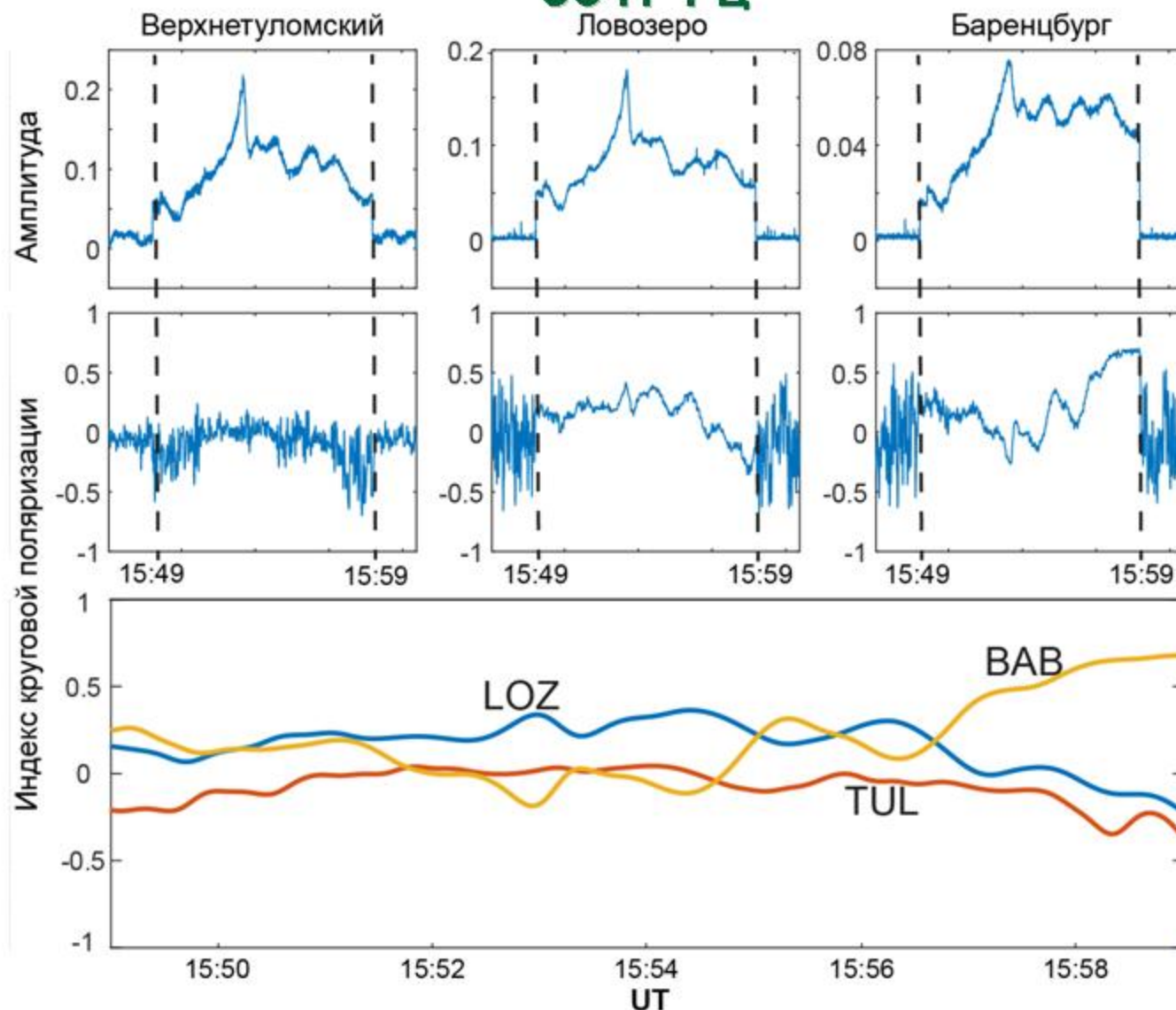
➤ Распространение сигнала
многомодовое
(TEM, TE₀₁, TM₀₁),
преобладание левой
поляризации вызвано
влиянием анизотропной
верхней стенки
волновода;

LOZ: -0.25...-0.75

BAB: -0.86...-0.97

Эксперимент: индексы круговой поляризации горизонтального магнитного поля ионосферного источника

3017 Гц



➤ Распространение сигнала многомодовое (TEM, TE₀₁, TM₀₁), вариации индекса круговой поляризации, вероятно, вызваны интерференцией мод.

LOZ: -0.25...0.35

BAB: -0.20...0.70

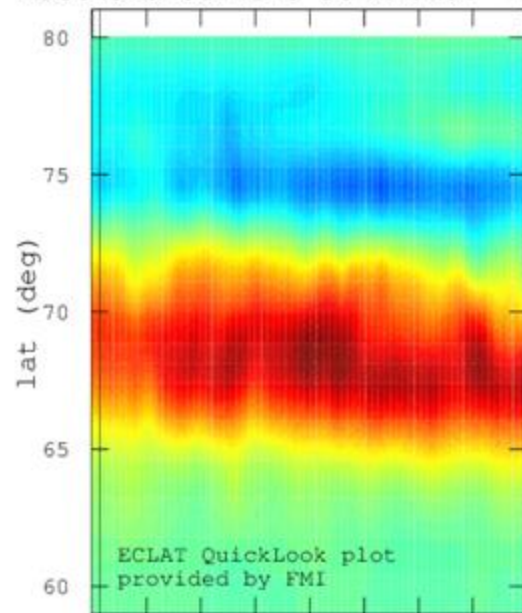
Структура полярного электроджета: эквивалентный ток по данным сети IMAGE



FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Date/time: 24-10-2016; 15:30:40 UT

Eastward current at 22.061° long.

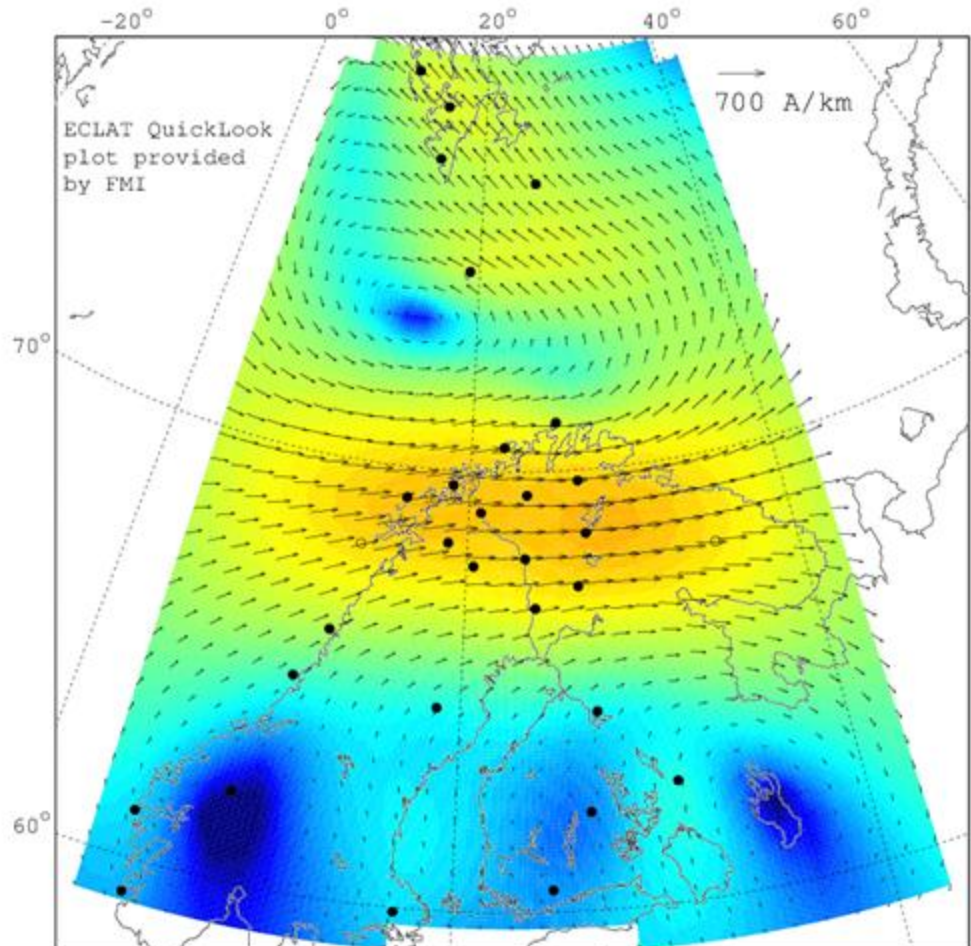


15:355:405:455:495:556:006:05



-600 400 200 0 200 400 600

J_{eq} (A/km)



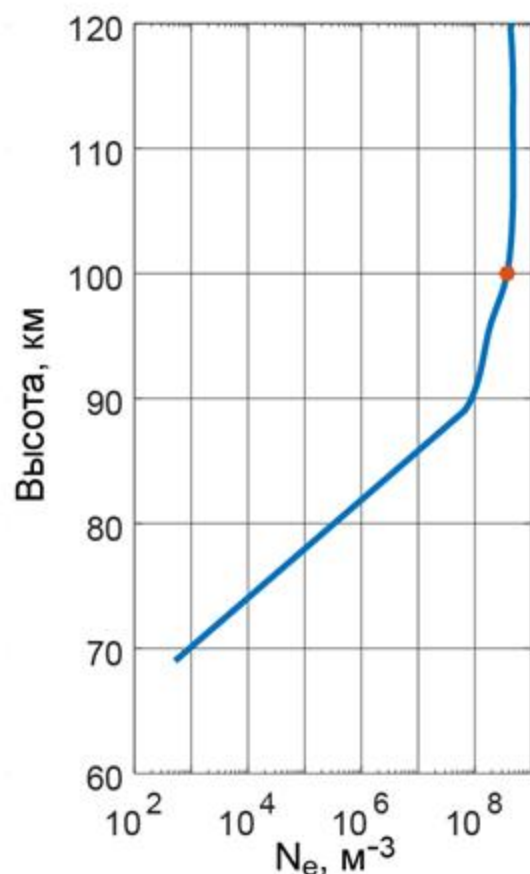
10 30 100 300 1000 3000

J_{eq} (A/km)

Структура полярного электроджета: восстановление эквивалентного электрического поля

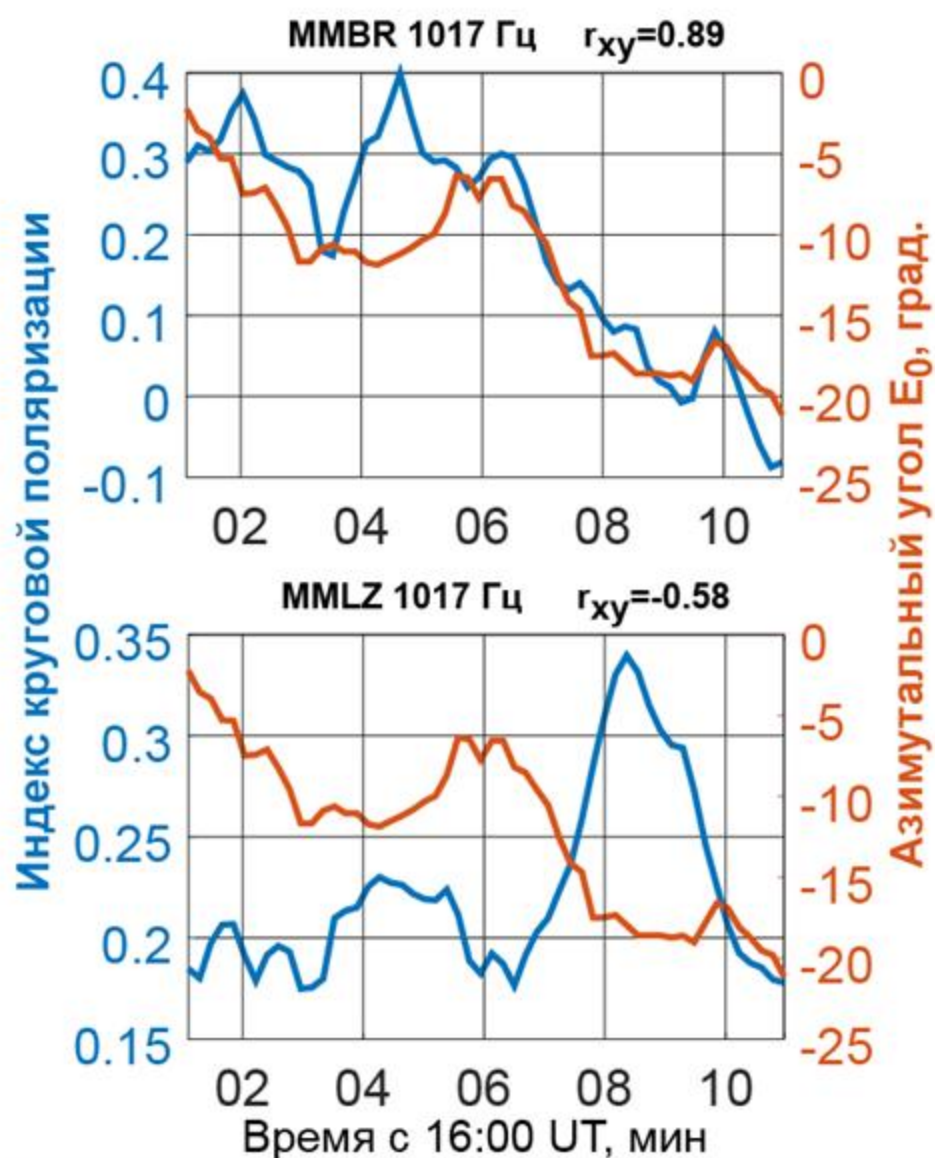
Для восстановления эквивалентного электрического поля электроджета на высоте 100 км из эквивалентных токов мы использовали:

- Возможный профиль N_e полученный из сравнения измерений фазовых скоростей TEM и TE мод на частотах 1017 и 3017 Гц с результатами численного моделирования full-wave методом при деформациях профиля IRI *;
- Частоту столкновений электронов с нейтрами из модели атмосферы MSISE-90;
- Постоянное магнитное поле Земли из модели IGRF-12.



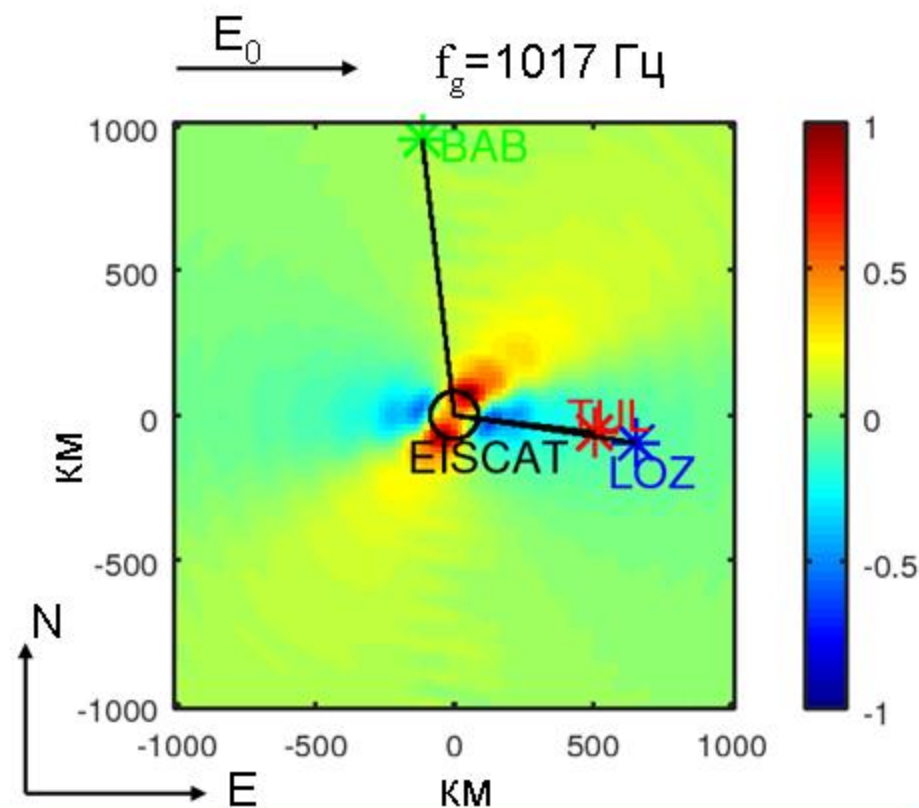
* Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Благовещенская Н.Ф., Ларченко А.В., Григорьев В.Ф., Пильгаев С.В. Результаты наземных наблюдений и моделирования поля ионосферного ОНЧ-источника в экспериментах по модификации высокоширотной ионосферы / Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57. № 6. С. 751-759.

Индекс круговой поляризации

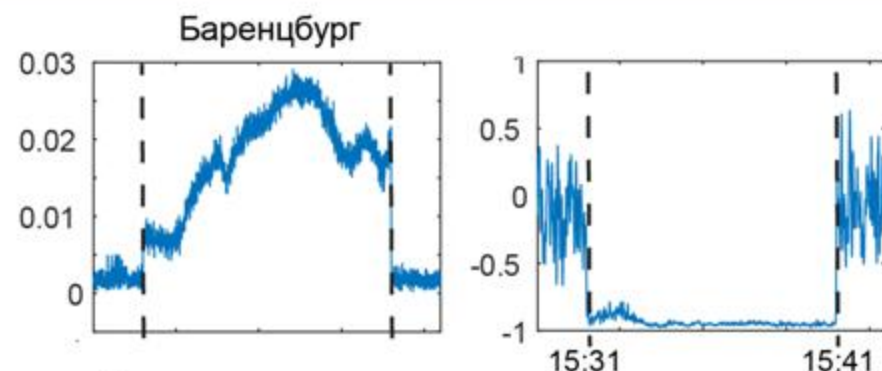
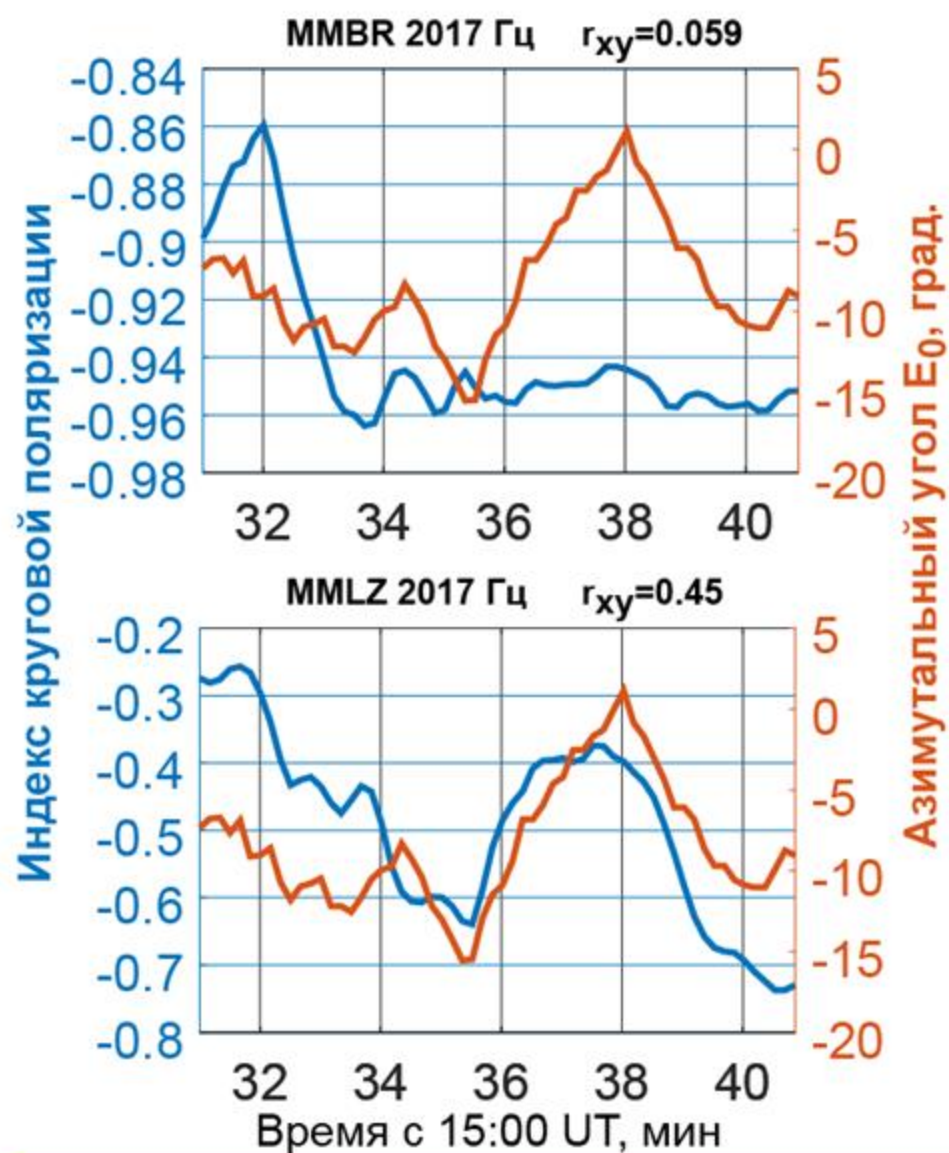


Пространственное распределение индекса круговой поляризации в результате численного моделирования процесса генерации и распространения СНЧ/ОНЧ волн в волноводе Земля-ионосфера.

- Профиль Ne из модели IRI2016;
- Частота столкновений электронов с нейтралами из модели MSISE-90;
- Постоянное магнитное поле Земли из модели IGRF-12;
- Восточное направление E_0 , напряженность 25 мВ/м

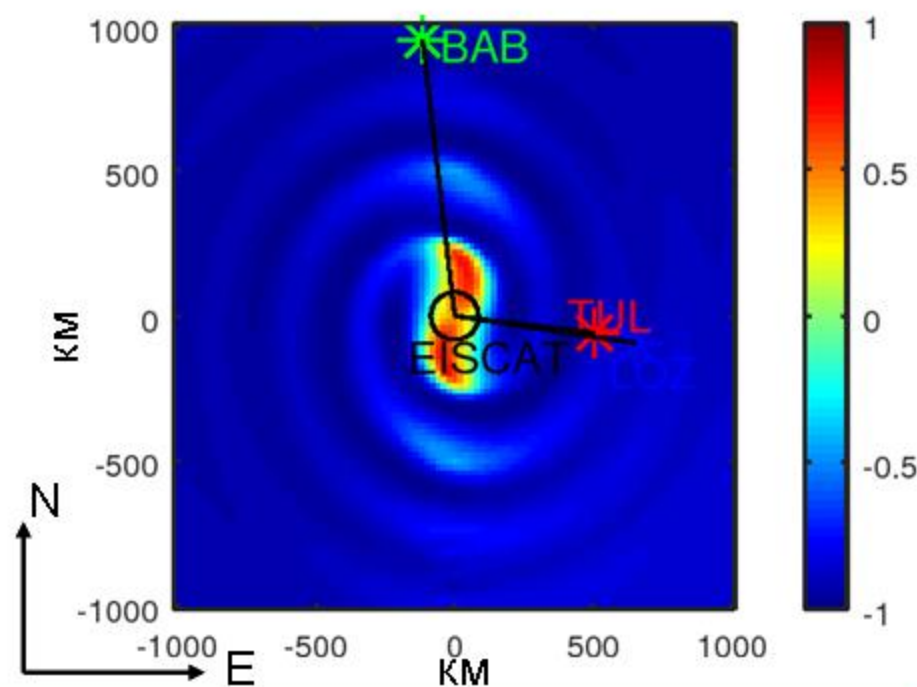


Результаты

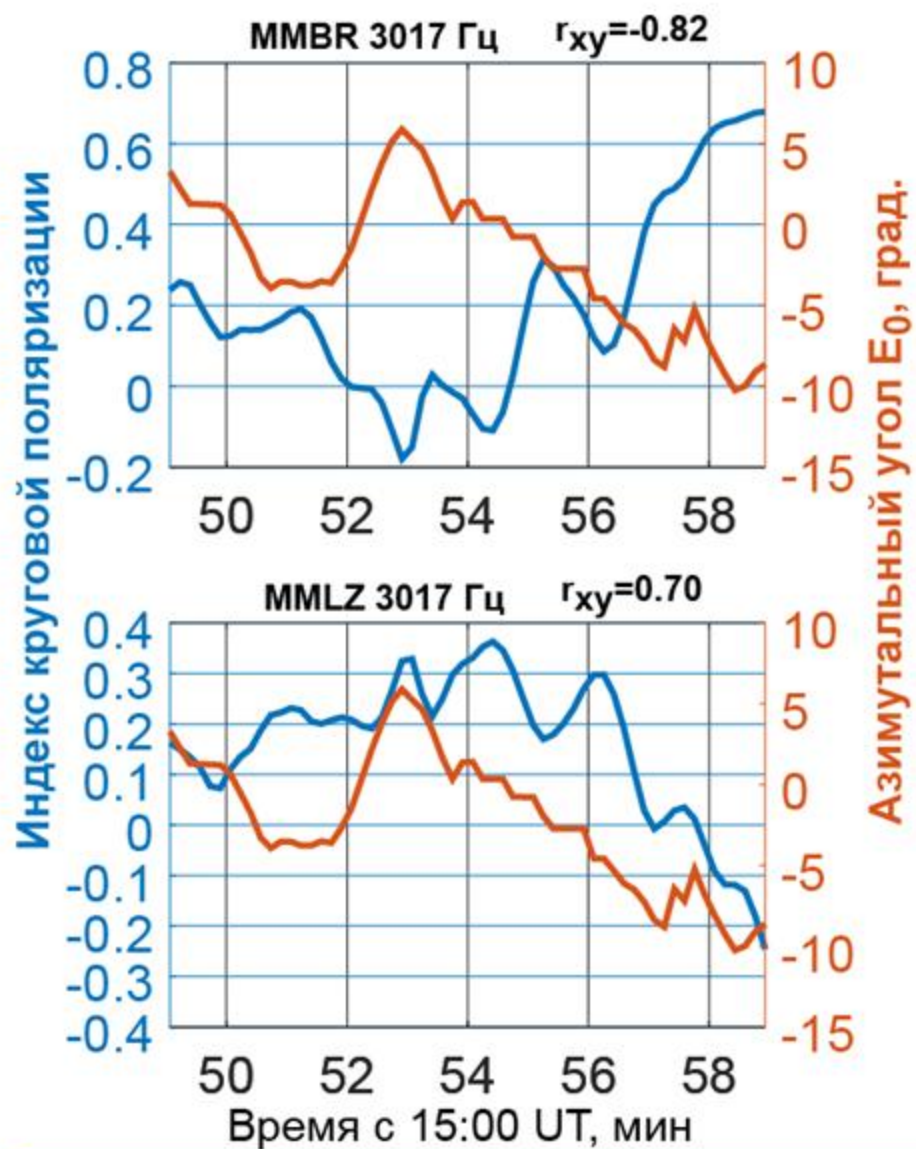


Результат численного моделирования:
пространственное распределение индекса
круговой поляризации горизонтального
магнитного поля.

$$\vec{E}_0 \rightarrow f_g = 2017 \text{ Гц}$$

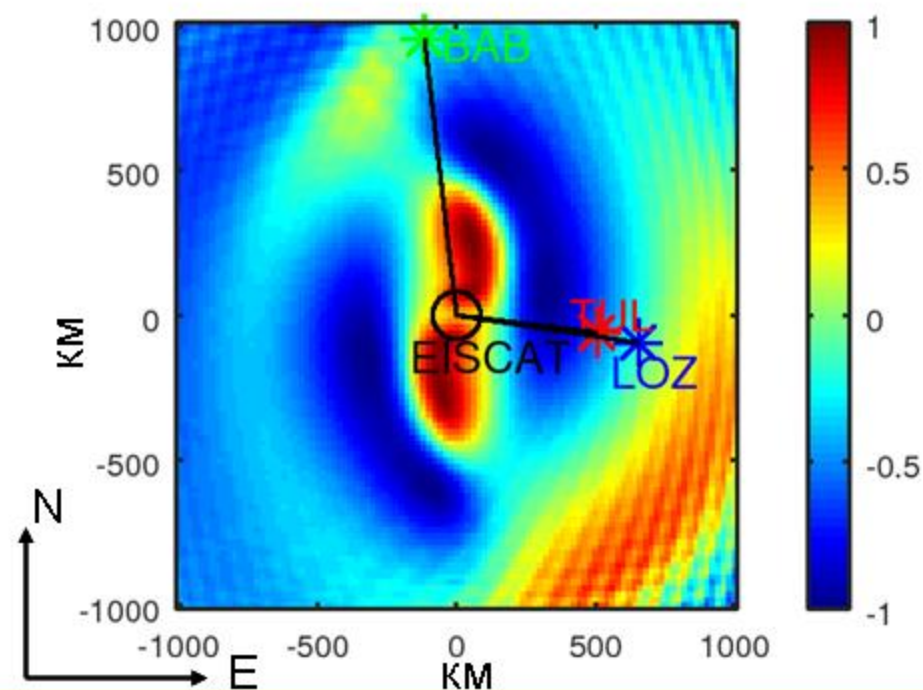


Результаты



Результат численного моделирования:
пространственное распределение индекса
круговой поляризации горизонтального
магнитного поля.

$E_0 \rightarrow$ $f_g = 3017$ Гц



Выводы

- Получены экспериментальные сведения о поляризации поля ионосферного источника в эксперименте по нагреву ионосферы мощным КВ излучением стенда «EISCAT/Heating» на сети высокоширотных станций;
- На всех станциях регистрации обнаружены вариации индексов круговой поляризации;
- По данным о параметрах двумерной эквивалентной токовой системы полярного электроджета представленным сетью IMAGE и оценкам по фазовым скоростям распространения TEM и TE мод профиля N_e восстановлены параметры эквивалентного внешнего электрического поля на высоте 100 км в области нагрева ионосферы;
- В нескольких рассмотренных случаях обнаружены корреляции вариаций индекса круговой поляризации с изменениями направления внешнего электрического поля электроджета;

Поляризационные характеристики сигнала ионосферного источника, вероятно, могут являться чувствительным индикатором состояния внешнего электрического поля полярного электроджета на высотах ионосферного источника и служить источником новой информации о трехмерной магнитосферно-ионосферной токовой системе.

Спасибо за внимание!
