



# Связь искусственных пульсаций герцового диапазона с динамикой аврорального электроджета Эксперимент на стенде SPEAR (Шпицберген)

*В.В. Сафаргалеев<sup>1</sup>, Н.Ф. Благовещенская<sup>2</sup>, Л. Дж. Бадделей<sup>3</sup>,  
В.Ф. Григорьев<sup>1</sup>, Т.Д. Борисова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, Мурманск-Апатиты, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Университетский центр на Свалбарде, Лонгербьен, Шпицберген, Норвегия

Гелиогеофизические исследования в Арктике - 2  
Мурманск, 25 сентября 2018 г.

## Теория:

- Механизм генерации искусственных пульсаций в диапазоне от первых герц до первых килогерц связан с модуляцией ионосферных динамотоков или полярного электроджета на высотах  $\sim 70 - 130$  км за счет изменения температуры электронов в поле модулированной КВ-волны (например, [Котик и Трахтенгерц, 1975; Stubbe et al., 1981]).

## Практика:

- Искусственные волны килогерцового диапазона были зарегистрированы на всех известных нагревных стендах. Их обнаруживают как вблизи стенда, так и на отдалении вплоть до 4400 км, где требуются специальные методы обработки для выделения сигнала из шумового фона [Moore et al., 2007].
- В частности, зависимость вероятности обнаружения искусственного сигнала от параметров электроджета была продемонстрирована в работе [Jin et al., 2009].

## Практика:

- Публикаций по успешной генерации искусственных пульсаций в герцовом диапазоне практически нет. Как следствие, нет надежной статистики, которая помогла бы спланировать эксперимент и выбрать методику анализа данных.
- Генерация герцовых искусственных пульсаций все-таки имеет место, но весьма эпизодически. Отклик ионосферы на модулированный нагрев был обнаружен примерно в 10% интервалов воздействия [Bosinger et al., 2000; Mochalov et al., 2009].

## Цель работы:

- Продемонстрировать влияние динамики аврорального электроджета на режим возбуждения искусственных герцовых колебаний в ионосфере.
- Искусственные пульсации зарегистрированы в обл. Баренцбург во время нескольких сеансов модулированного нагрева ионосферы над нагревным стендом SPEAR во время кампании в ноябре 2013 г. [Сафаргалеев и др. 2018]
- Кампания была организована Университетским центром на Свалбарде (Норвегия) и Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (Россия) при участии Полярного геофизического института (Россия).

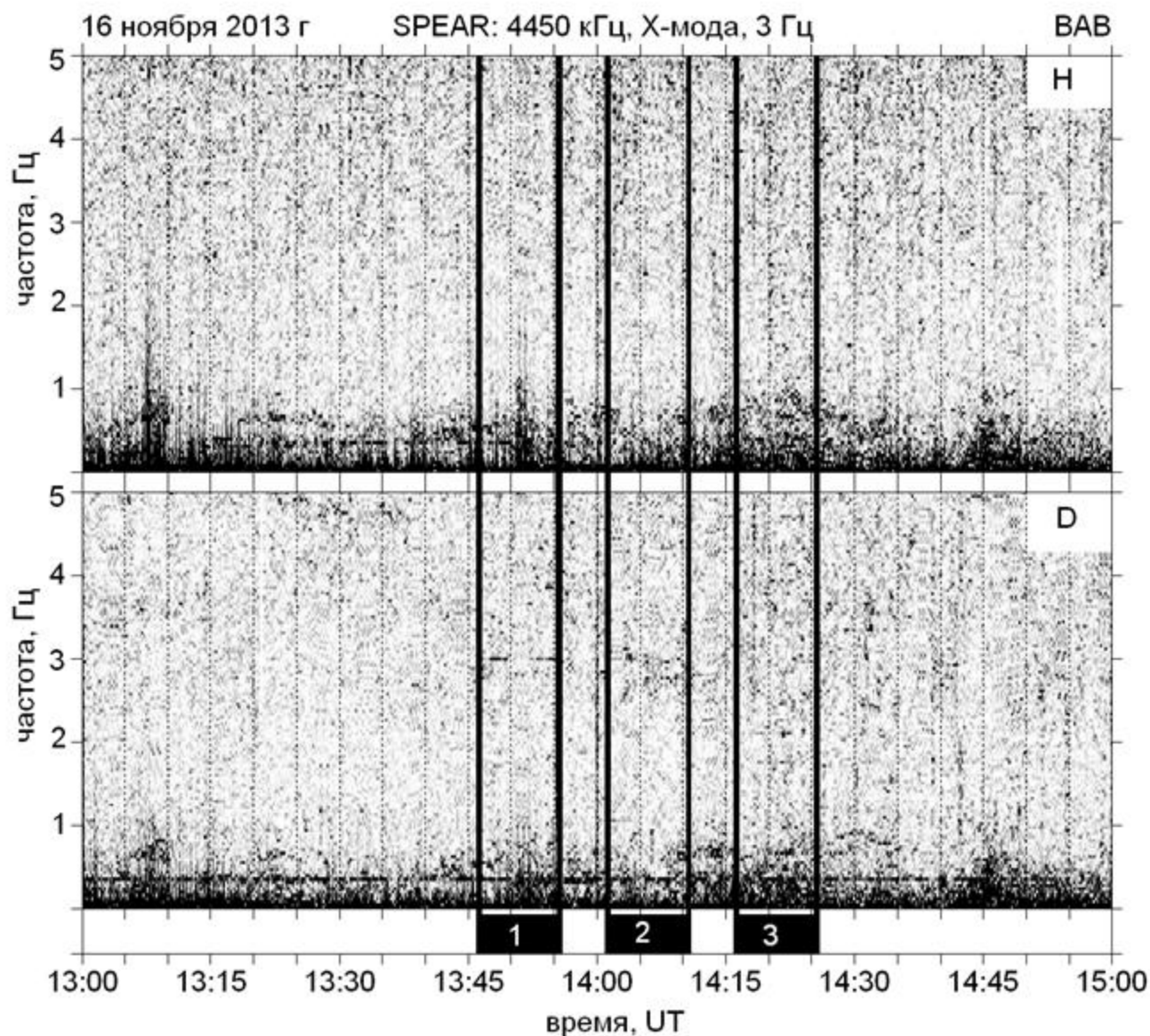


- Индукционные магнитометры ТГИ в Баренцбурге предназначены для регистрации магнитных составляющих естественного электромагнитного поля, в том числе, и СРС в шумовом фоне.
- Диапазон рабочих частот от 0,01 до 40 Гц; плоский участок АЧХ от 0,1 Гц до верхнего устанавливаемого предела; динамический диапазон 24-х разрядного АЦП - 120 дБ. Точная привязка к мировому времени.

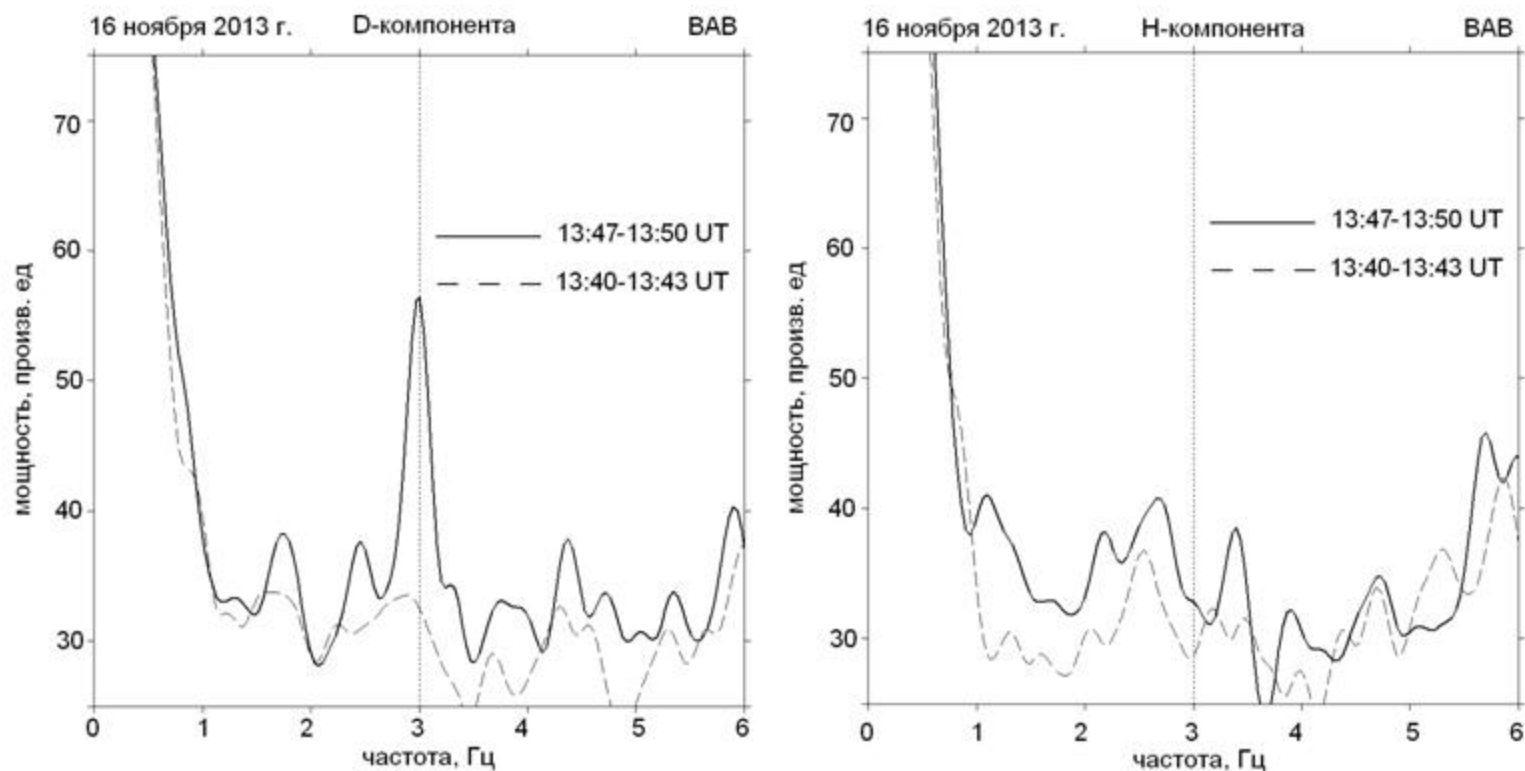
- Наиболее эффективным способом возбуждения искусственных пульсаций теоретически считается модулированный нагрев аврорального электроджета.
- Проследить динамику текущего вдоль широты крупномасштабного ионосферного тока можно по данным сети магнитометров IMAGE. На сайте ФМИ, курирующего эту сеть, возможен расчет эквивалентных ионосферных токов в режиме on-line ([http://www.space.fmi.fi/MIRACLE/iono\\_1D.php](http://www.space.fmi.fi/MIRACLE/iono_1D.php)).

## Пять случаев обнаружения искусственных пульсаций герцового диапазона

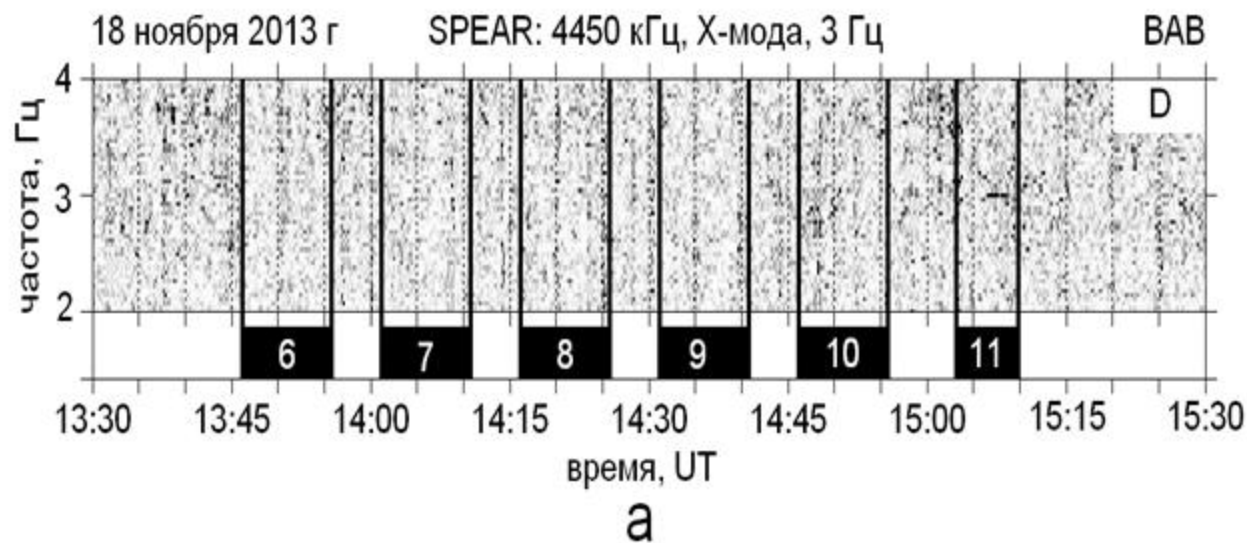
- Пульсации выделяются в данных индукционного магнитометра без специальной обработки и имеют вид узкополосного сигнала на частоте модуляции 3 Гц.
- Вероятность их обнаружения в ходе данного нагревного эксперимента составила ~ 30%.



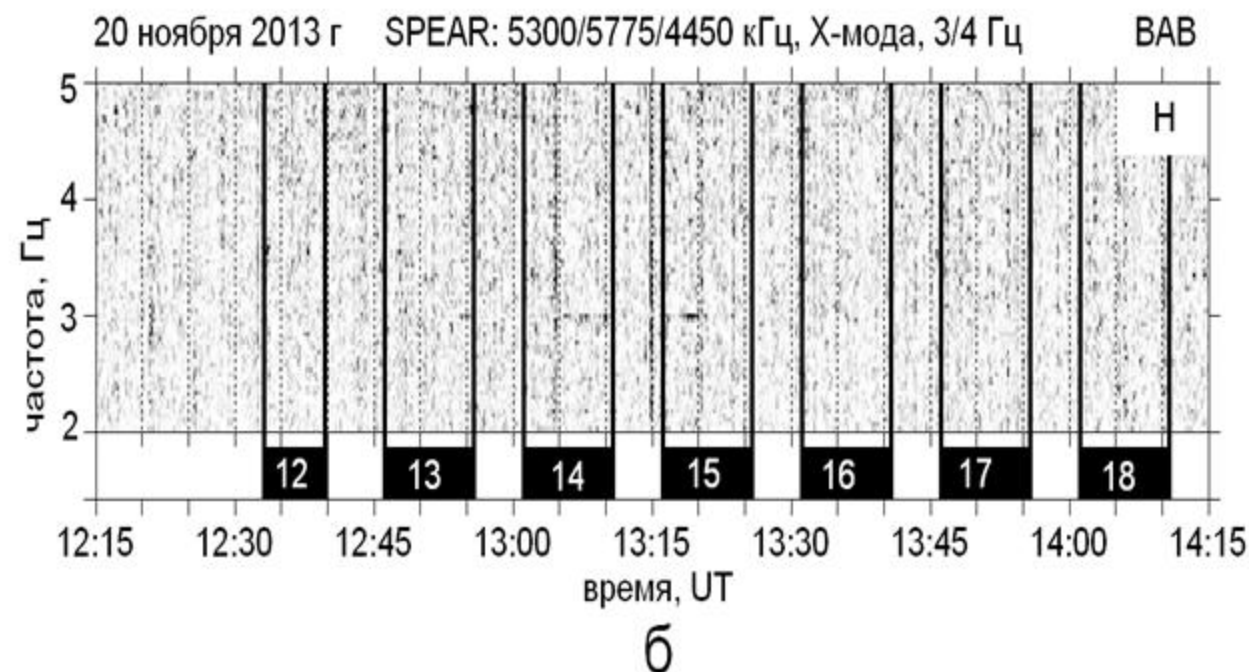
Пять случаев обнаружения искусственных пульсаций герцового диапазона проанализированы в контексте динамики эквивалентного ионосферного тока (восточного электроджета).



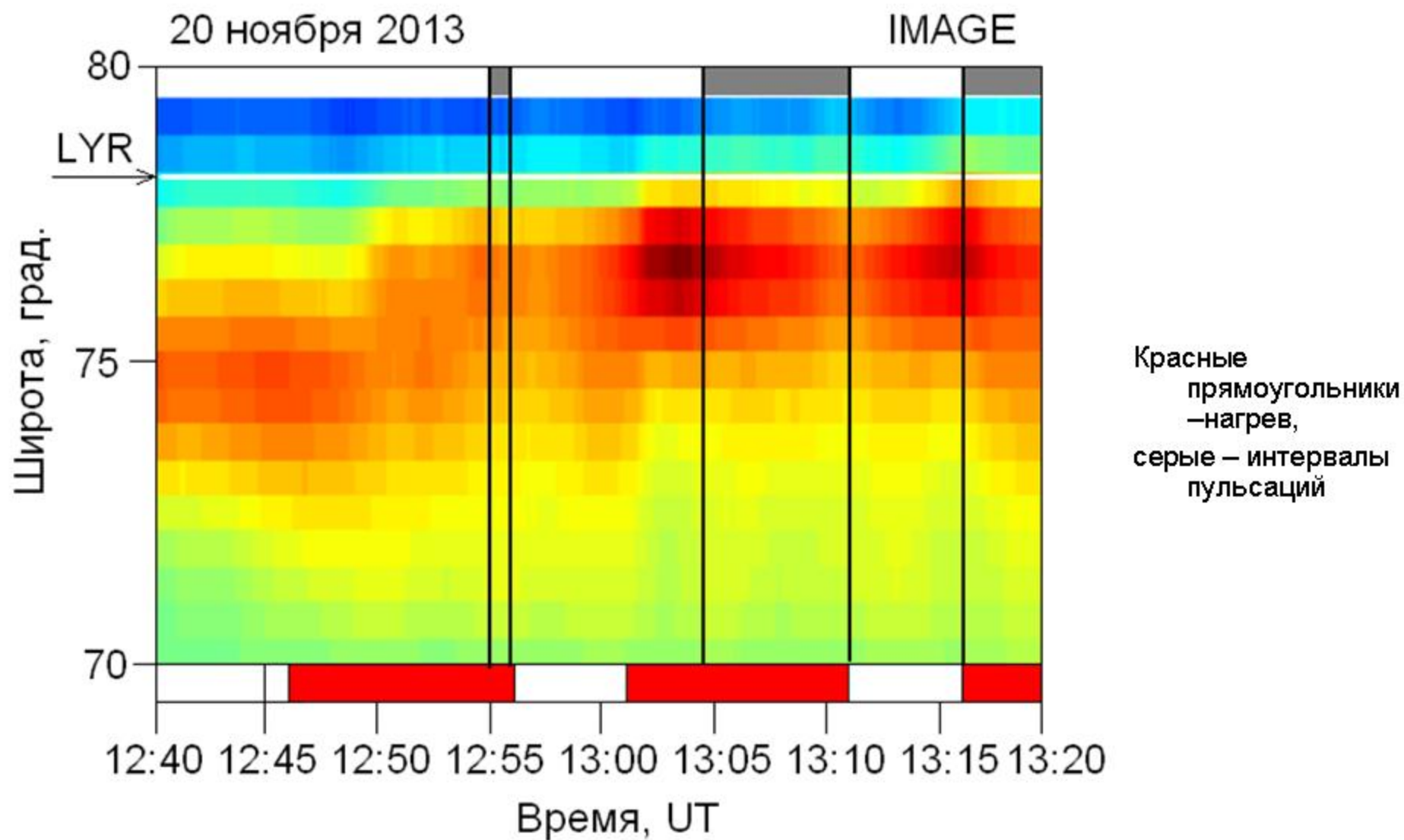
- Пульсации выделяются в данных индукционного магнитометра без специальной обработки и имеют вид узкополосного сигнала на частоте модуляции 3 Гц.



Искусственные  
пульсации  
герцового  
диапазона

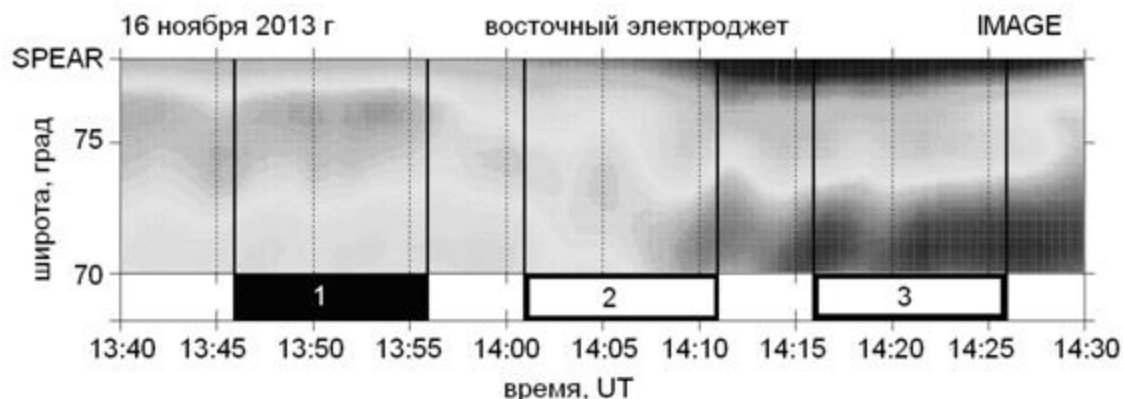


Искусственные пульсации в контексте динамики эквивалентного ионосферного тока (восточного электроджета).

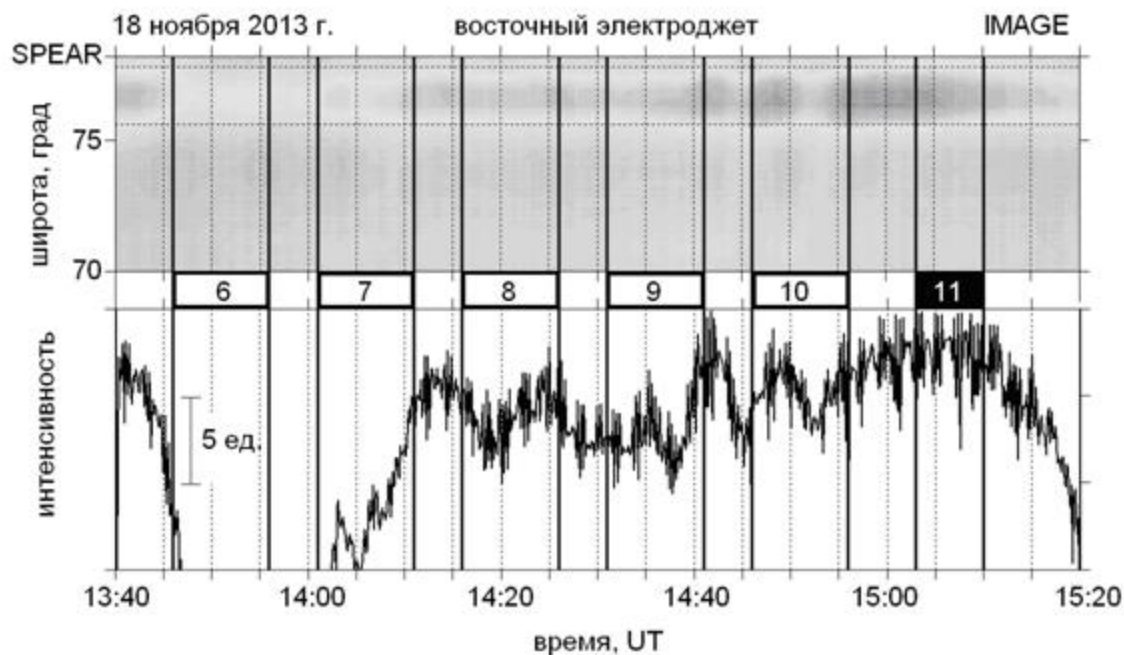


# Искусственные пульсации в контексте динамики эквивалентного ионосферного тока (восточного электроджета).

а



б



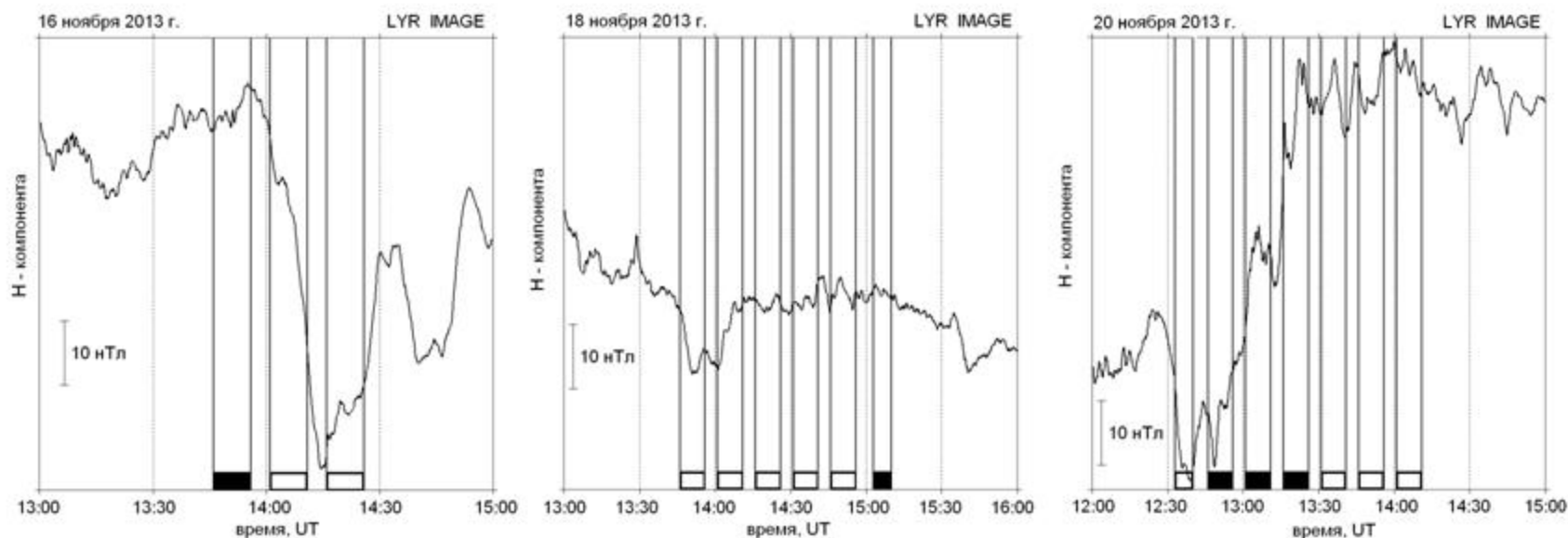
Прямоугольниками показаны интервалы нагрева.

Черные прямоугольники – «результативные» интервалы.

а. Пульсации пропадают при удалении электроджета от области нагрева.

б. Пульсации появляются при усилении электроджета

## Искусственные пульсации в контексте геомагнитной активности



Прямоугольниками показаны интервалы нагрева. Черные прямоугольники – «результативные» интервалы.

Закономерность не обнаруживается. Пульсации возникают при нагреве на подготовительной фазе суббури, безотносительно к суббуре и на восстановительной фазе суббури.

## Выводы:


Пульсации появляются тогда, когда полюсный край восточного электроджета приближается к предполагаемой области воздействия на ионосферу вследствие смещения электроджета к северу или его расширения при увеличении интенсивности.

Пульсации пропадают, когда электроджет удаляется от области воздействия, смещаясь к югу.

Начало пульсаций запаздывает относительно момента включения КВ-передатчика на несколько минут.

Пульсации видны только в одной из горизонтальных компонент геомагнитного поля на удалении 50 км от стенда и отсутствуют на расстоянии около 1300 км.

# Спасибо за внимание!

A polar bear is standing on a small, rectangular ice floe in the middle of a dark, choppy sea. The bear is facing left and looking towards the camera. The background is filled with many smaller, scattered ice floes of various sizes, creating a textured, greyish-blue surface.

Работа выполнена при финансовой поддержке по проекту SPEAR - UNIS - AARI, № ES446799, в рамках норвежско-российского сотрудничества по программе полярных исследований (POLRES) на 2010 -2013 г.г.