

**Повышение информативности СВЧ  
радиометрических методов изучения  
атмосферы путем измерений спектра ее  
излучения с высоким частотным разрешением**

*Смирнов М.Т., Ермаков Д.М., Кузнецов О.О.,  
Маклаков С.М., Саворский В.П., Турыгин С.Ю.*

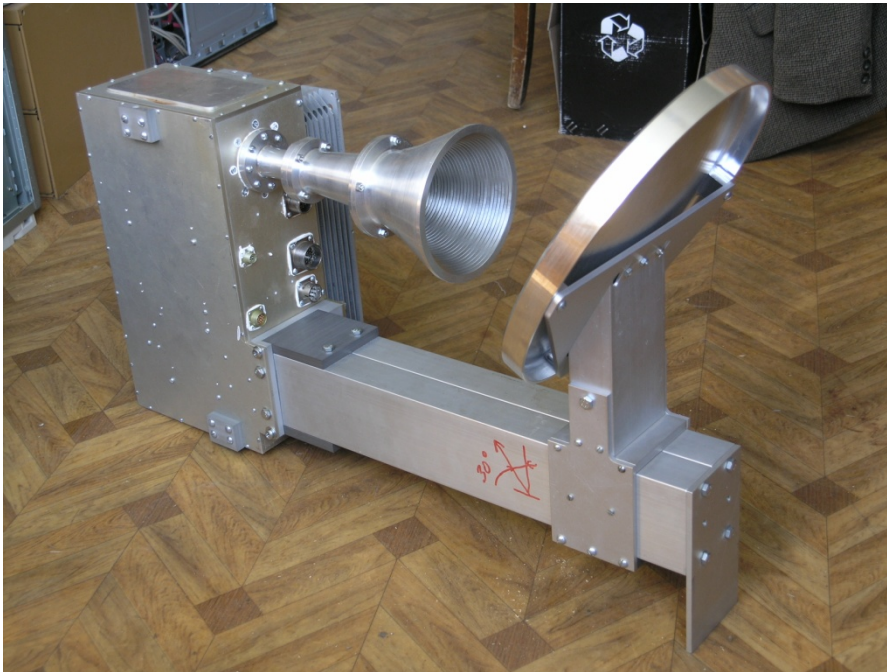
*ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН*

*ФГУП СКБ ИРЭ РАН*

# Цели работы

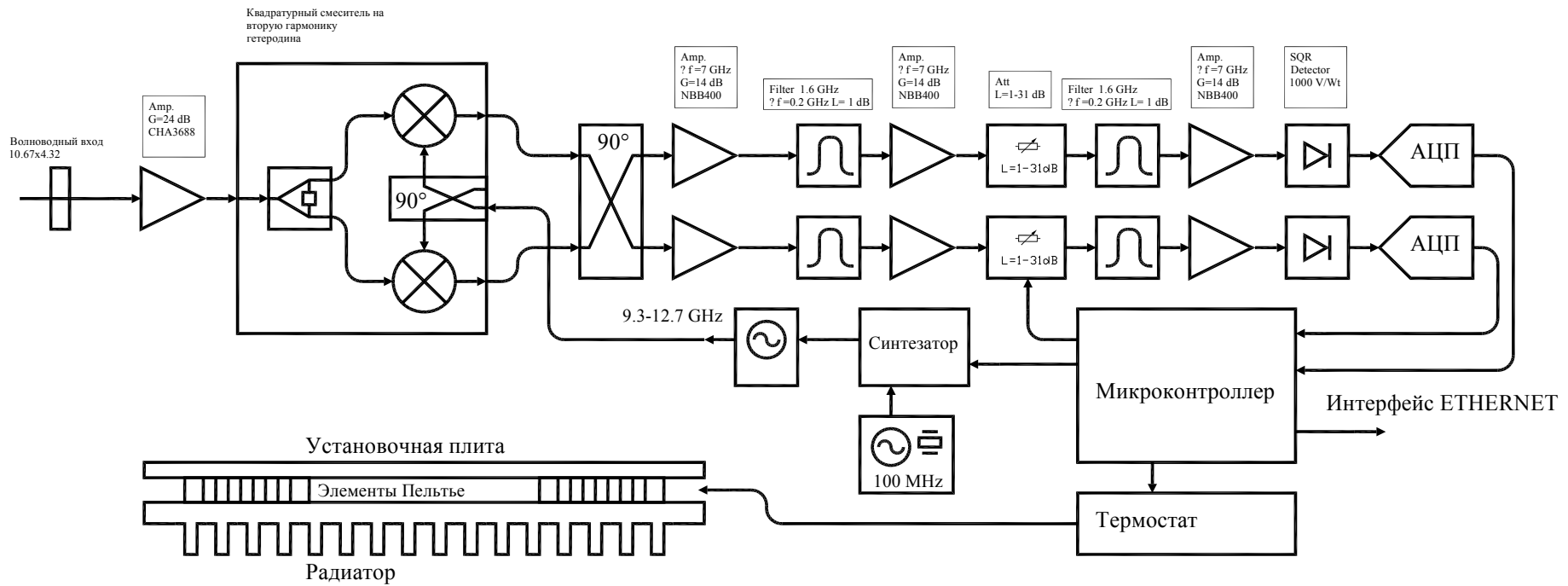
- Отработка принципиальных вопросов спектральных СВЧ радиометрических измерений
- Анализ естественной спектральной изменчивости излучения атмосферы в диапазоне 22 ГГц

# Радиометр – спектрометр Р22М



- Диапазон частот 18-27,2 ГГц
- Шаг по частоте 0,2 ГГц
- Всего частот 47
- Для ускорения измеряется излучение одновременно на 2 частотах со сдвигом 3,2 ГГц
- Время получения спектра при постоянной времени 0,3 с => 11 с

# Блок-схема спектрометра



# Калибровка

Измерение развязки между каналами

$$OutI = I + K_{OI}Q$$



$$I = \frac{OutI - K_{OI}OutQ}{1 - K_{OI}K_{IQ}}$$

$$OutQ = Q + K_{IQ}I$$

$$Q = \frac{OutQ - K_{IQ}OutI}{1 - K_{IQ}K_{OI}}$$

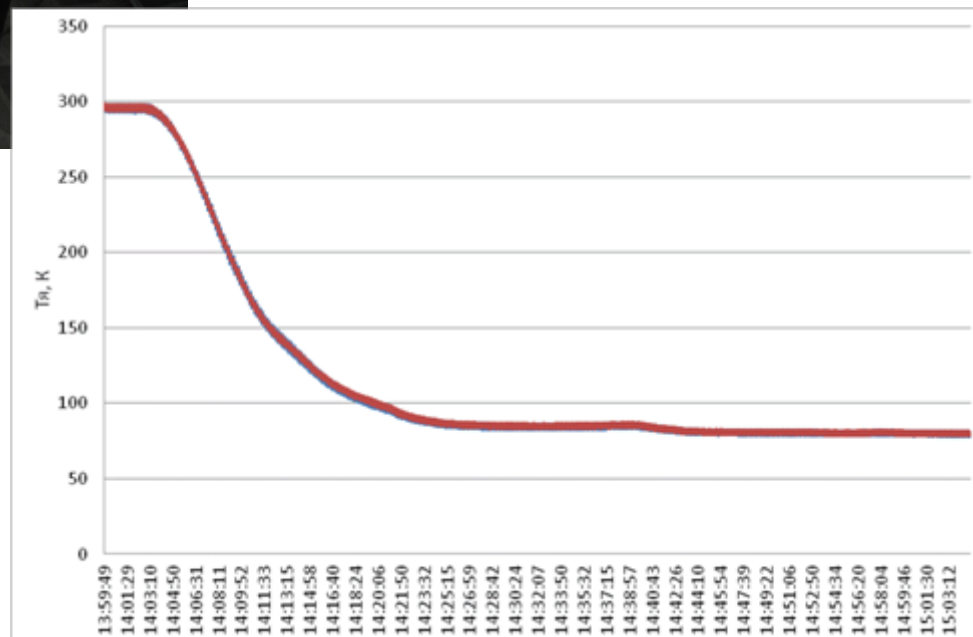
Калибровка радиоярких температур по черному телу  
при 2 температурах

$$T_I = T_{cold} + (I - I(T_{cold})) \frac{T_{hot} - T_{cold}}{I(T_{hot}) - I(T_{cold})}$$

$$T_Q = T_{cold} + (Q - Q(T_{cold})) \frac{T_{hot} - T_{cold}}{Q(T_{hot}) - Q(T_{cold})}$$

Калибровочные коэффициенты вычисляются для каждой рабочей частоты

# Калибровка

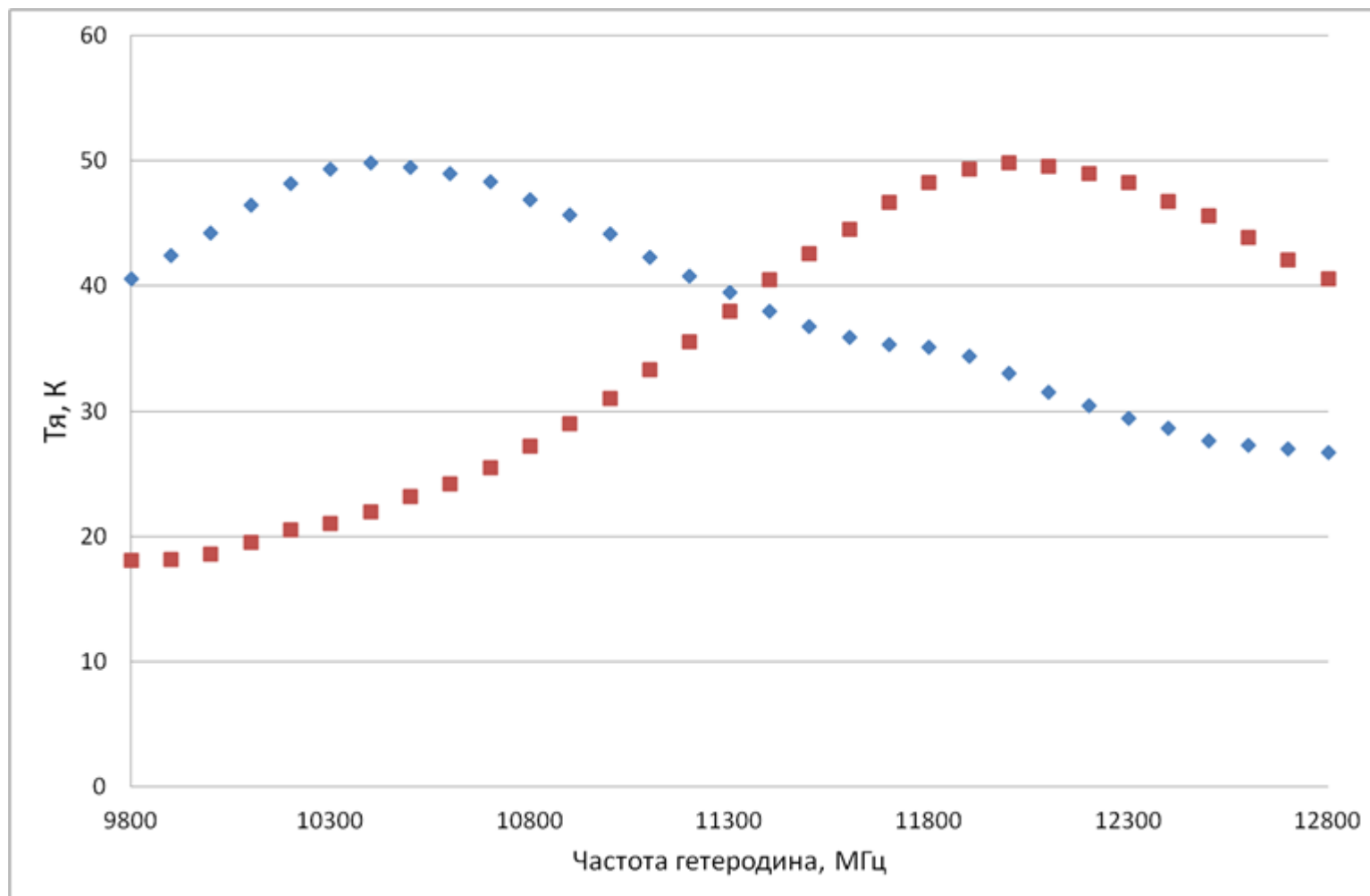


# Лабораторные эксперименты

- Прибор был размещен в комнате
- Окно закрыто полиэтиленовой пленкой
- Измерения производились круглосуточно непрерывно в течение августа-сентября 2017 г.
- Для контроля состояния атмосферы была установлена web-камера
- На крыше здания установлена метеостанция, измеряющая температуру, влажность, скорость и направление ветра и интенсивность осадков
- Файлы данных передавались на сервер для коллективного доступа

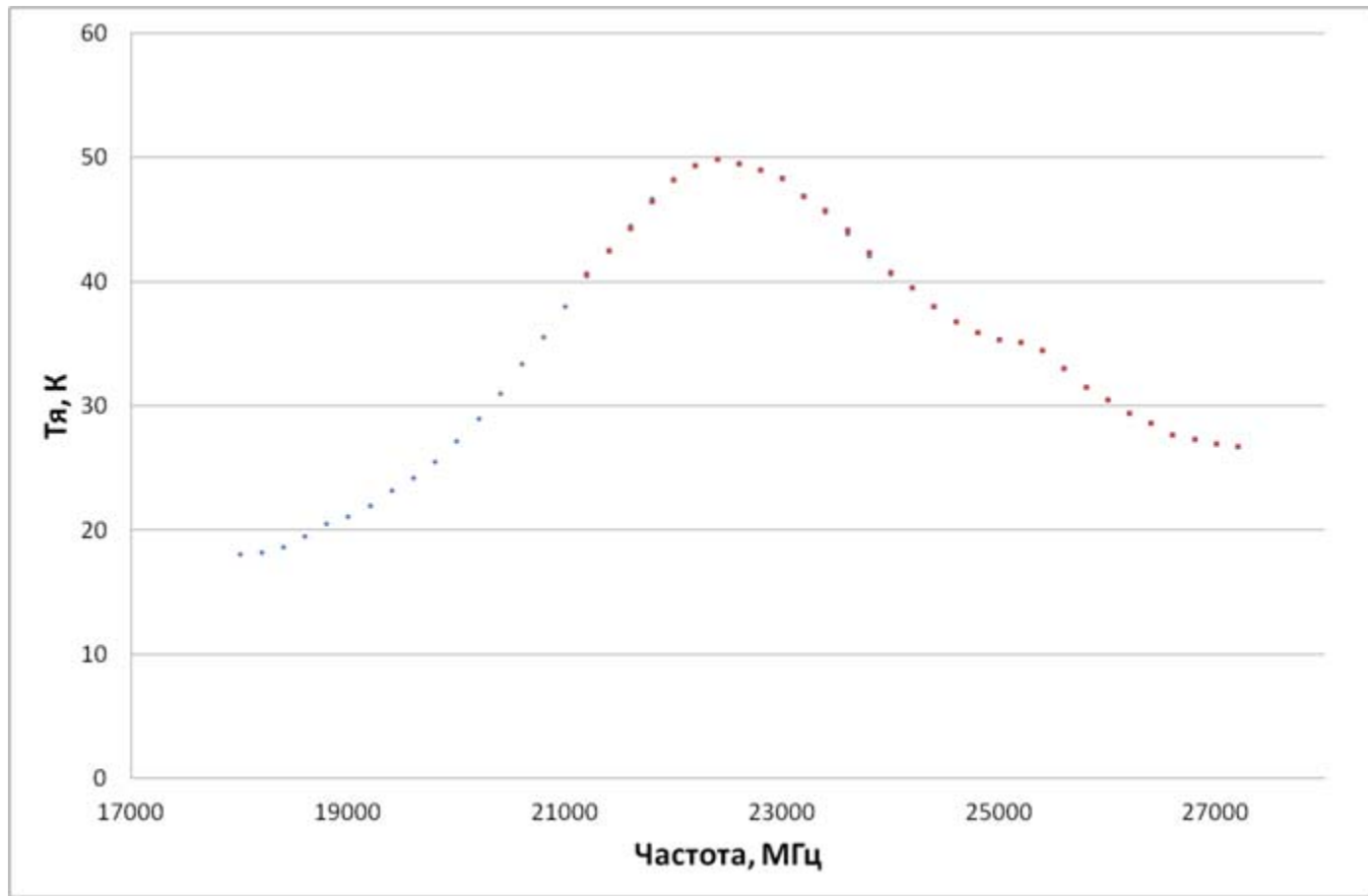


# Результаты измерений

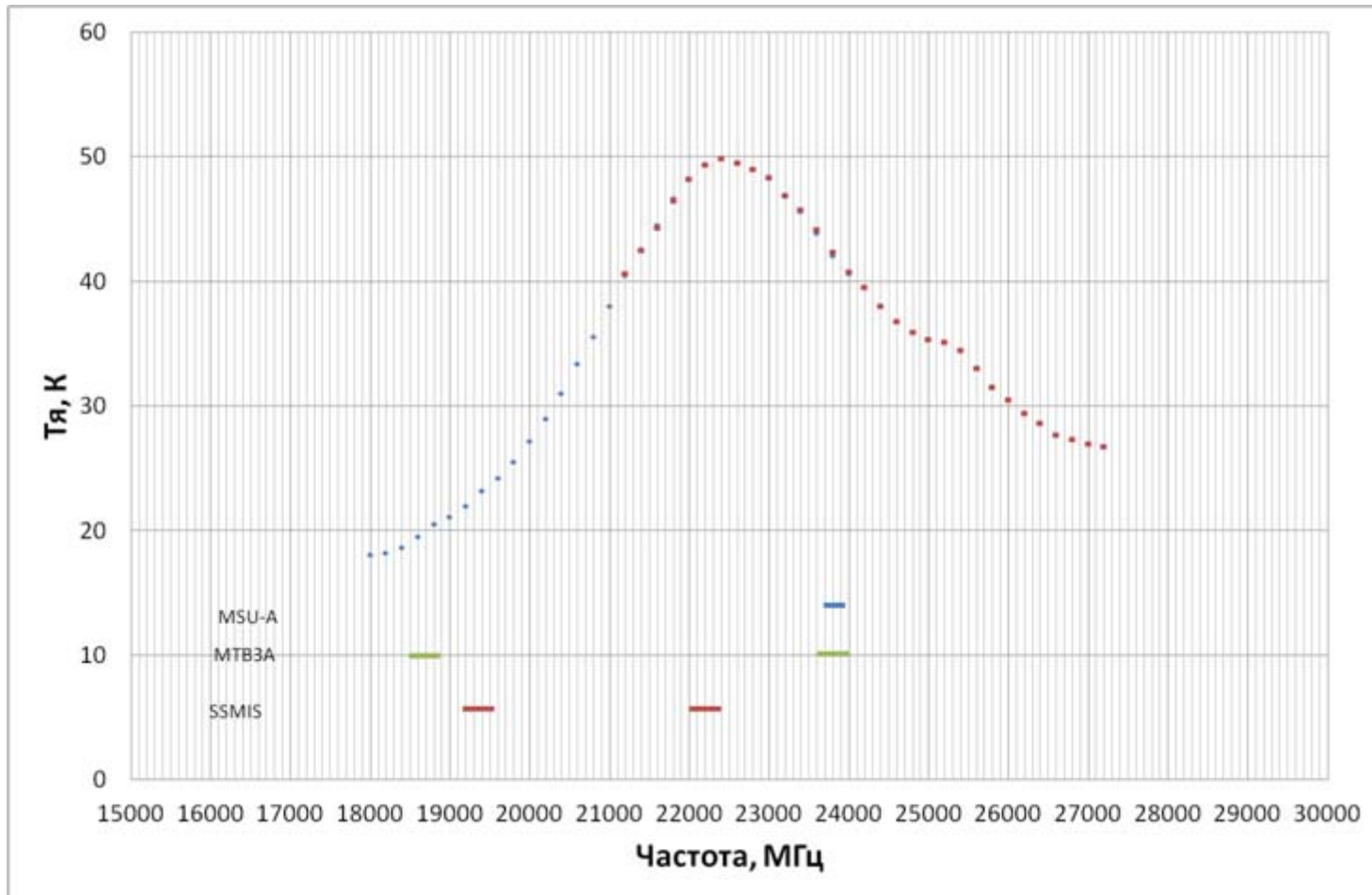




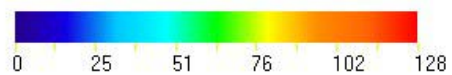
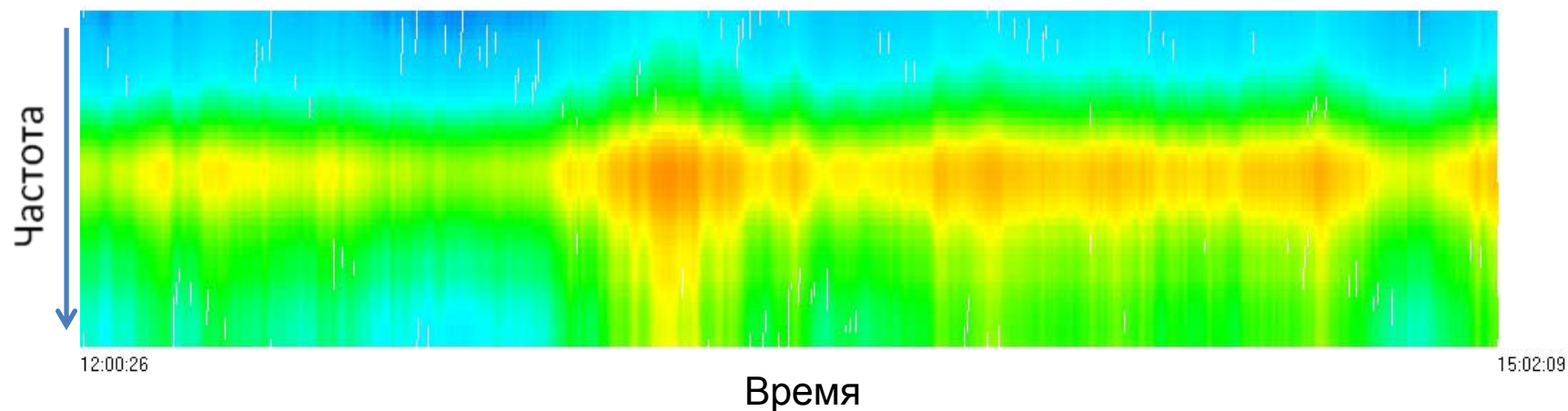
# Типичный измеренный спектр



# Используемые каналы измерений

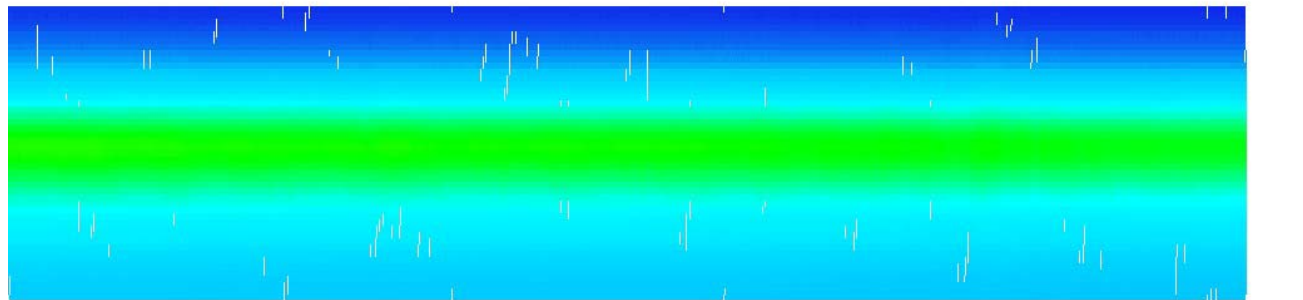


# Визуализация измерений

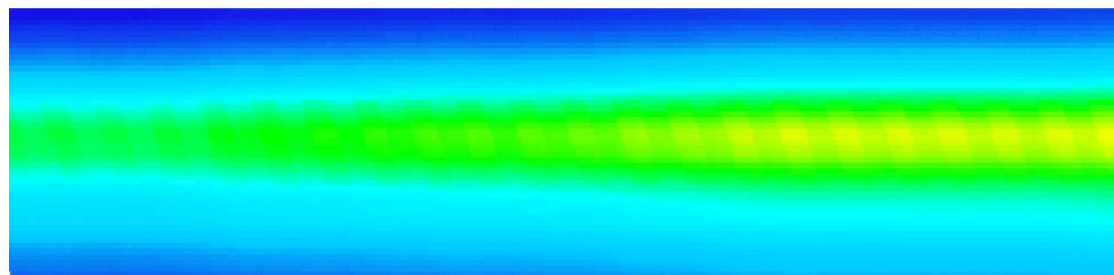
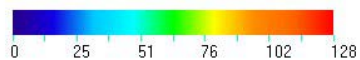


Радиояркая температура

# Безоблачно/облачно

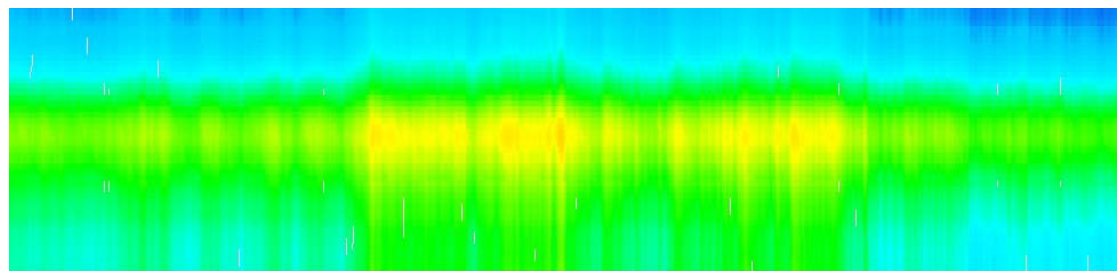
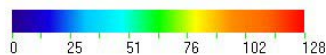


05:41:40



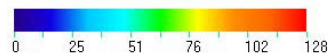
02:10:08

05:09:34

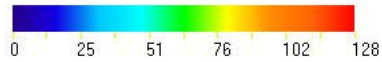
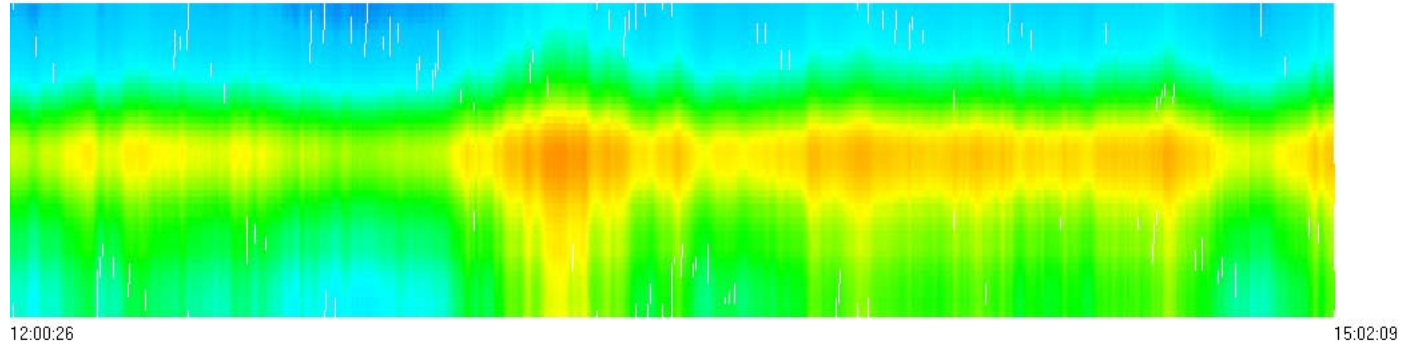


12:03:55

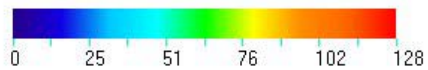
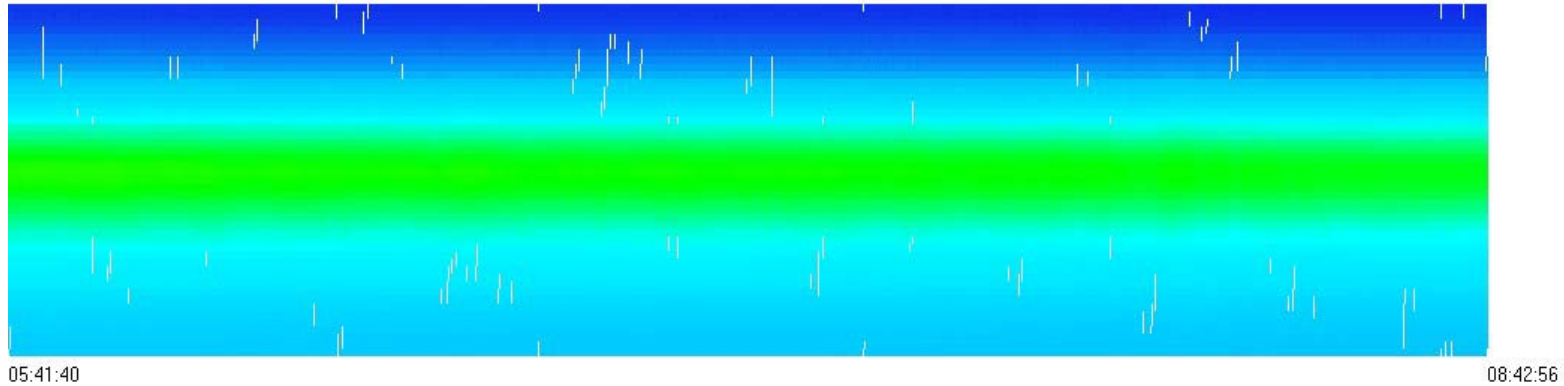
15:03:39



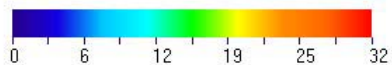
# Информативность



# Безоблачные условия



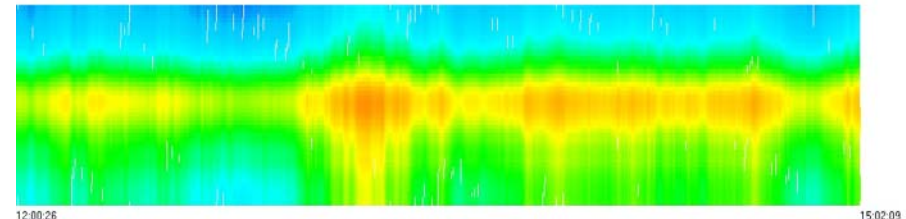
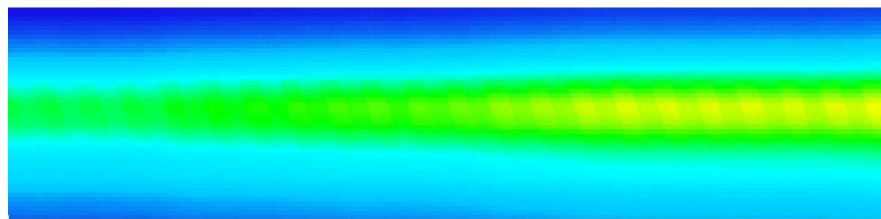
Спектр



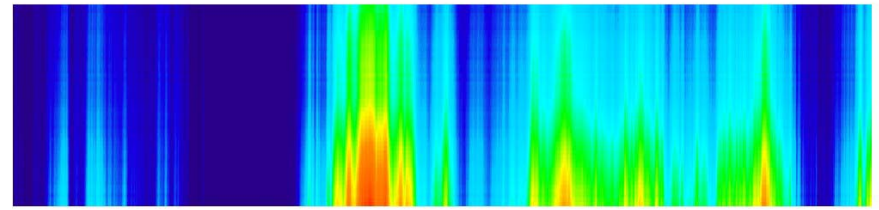
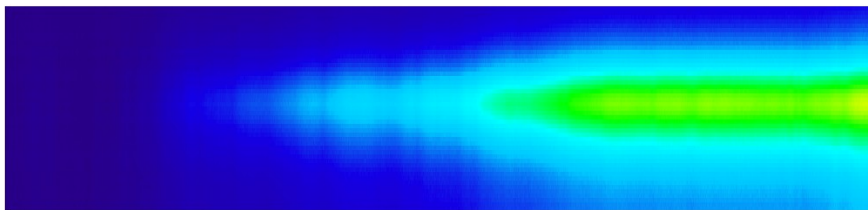
Разность относительно опорного спектра

# Водяной пар или облака?

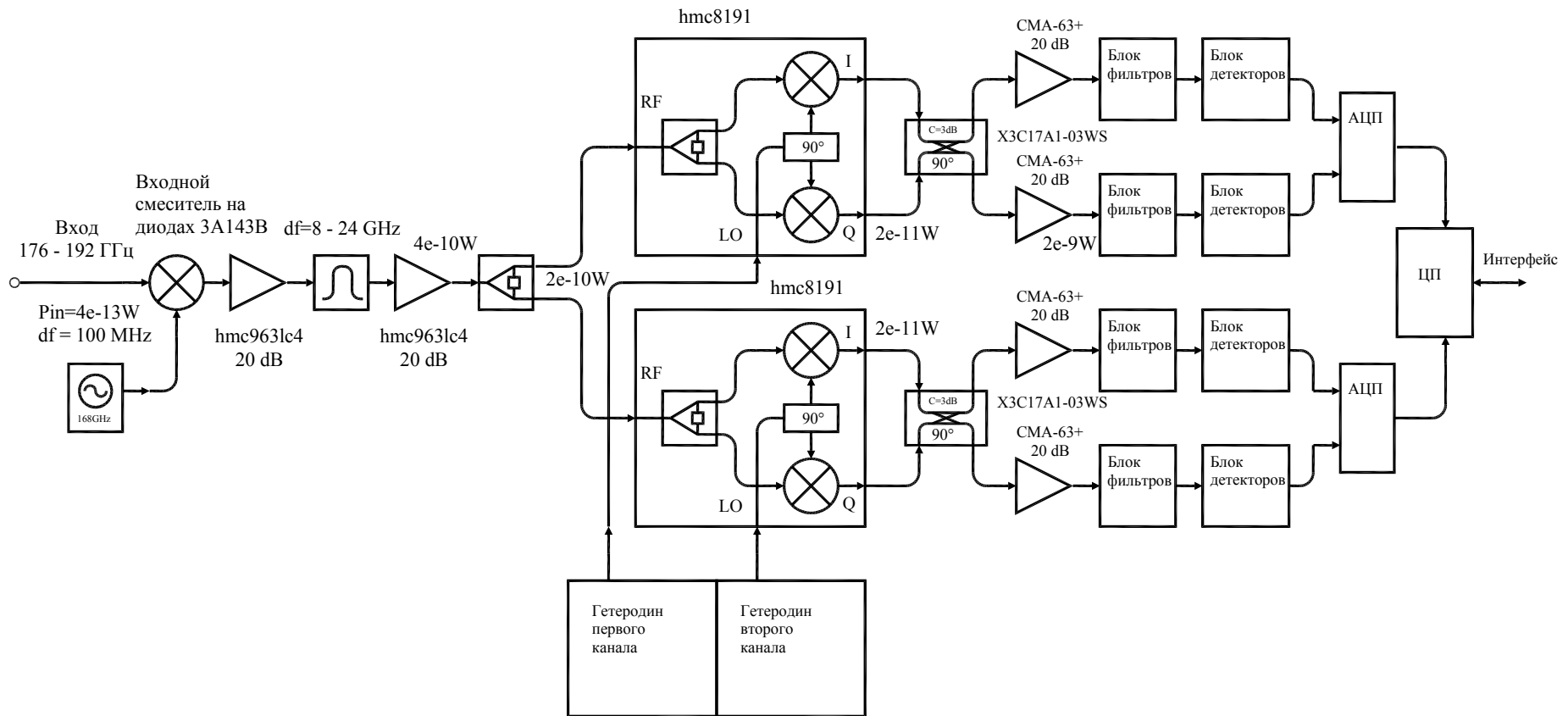
## Спектры



## Разность относительно опорного спектра



# Перспективный СВЧ спектрометр





# Основные результаты и перспективы

- Получен практически непрерывный ряд измерений в течение двух месяцев
- Методика визуализации спектральных измерений позволяет легко интерпретировать результаты
- Разрабатываются программы для решения обратной задачи – определения профилей влажности атмосферы
- Разрабатывается СВЧ спектрометр на диапазон 180 ГГц

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-07-00956  
Госзаданием «ЦОХКИ-1» – регистрационный номер –  
01201354304