

Спектральные измерения  
пространственно-временной  
изменчивости нисходящего  
радиоизлучения облачной атмосферы в  
К-диапазоне

*Аквилонова А.Б., Смирнов М.Т., Кутуза Б.Г., Егоров Д.П.*

*ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН (Фрязино)*

*ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН (Москва)*

# Цель работы

- Детальное исследование пространственно-временной изменчивости поля радиоизлучения облачной атмосферы, оценка вклада облачности, их структуры.

# Основные характеристики прибора

- 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
  
- Термостат МШУ и радиометра с точностью порядка 0,01 К
  
- Пространственная разрешающая способность радиометра на высоте 2.1 км составляет от 170 до 250 м в зависимости от частотного канала.

## Особенности измерений

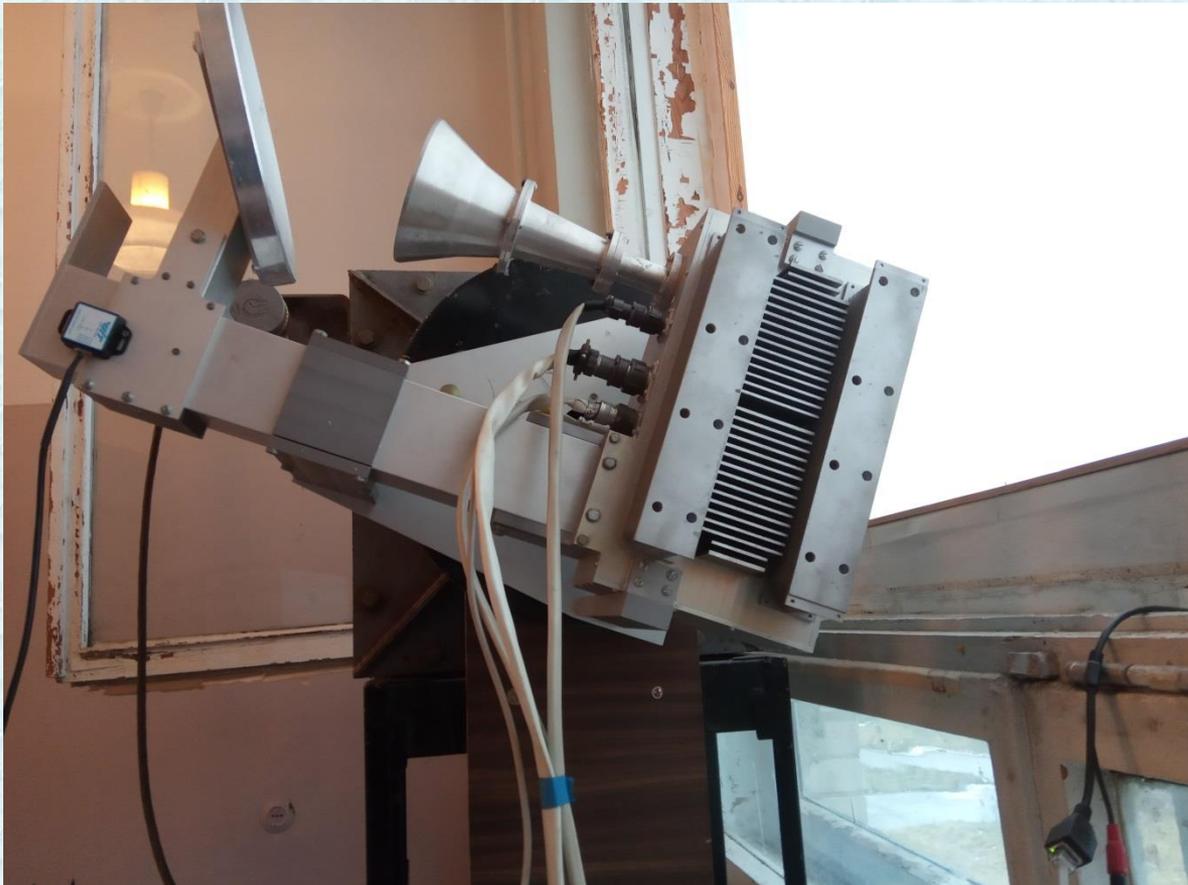
Круглосуточная работа.

Длительность одного сеанса 3 часа. За сутки 7-8 сеансов

Данные передаются на сервер с возможностью удаленного доступа

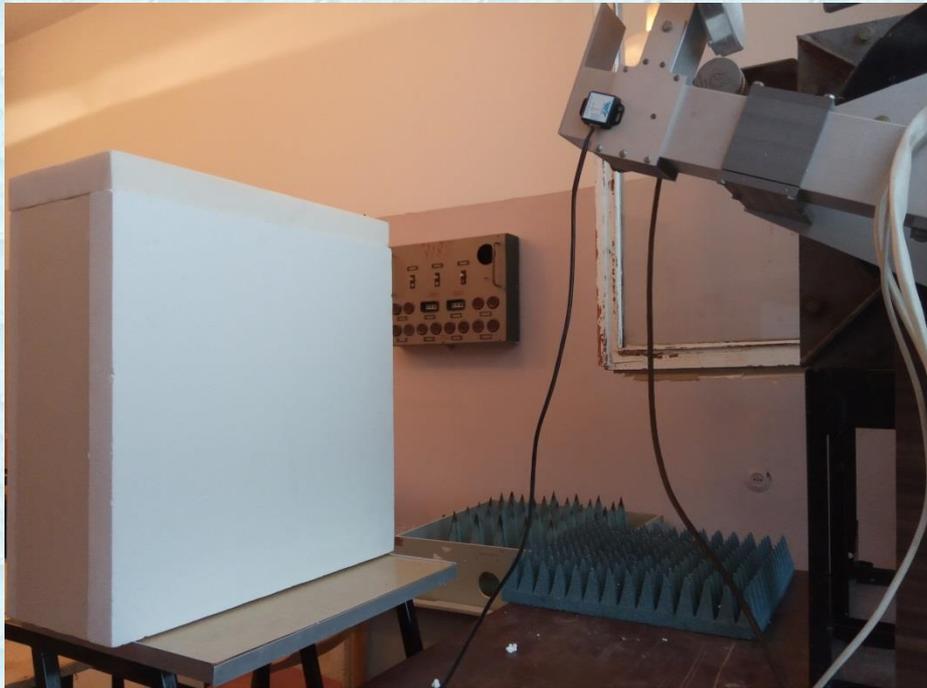
# Экспериментальная установка

- Измерения проводятся в лаборатории через окно, закрытое (полиэтиленовой/лавсановой) пленкой
- Угол наблюдения фиксированный -  $51^\circ$  от зенита



# Калибровочные устройства

Калибровка радиометра проводится в по черному телу, охлажденному жидким азотом, и по нему же при комнатной температуре

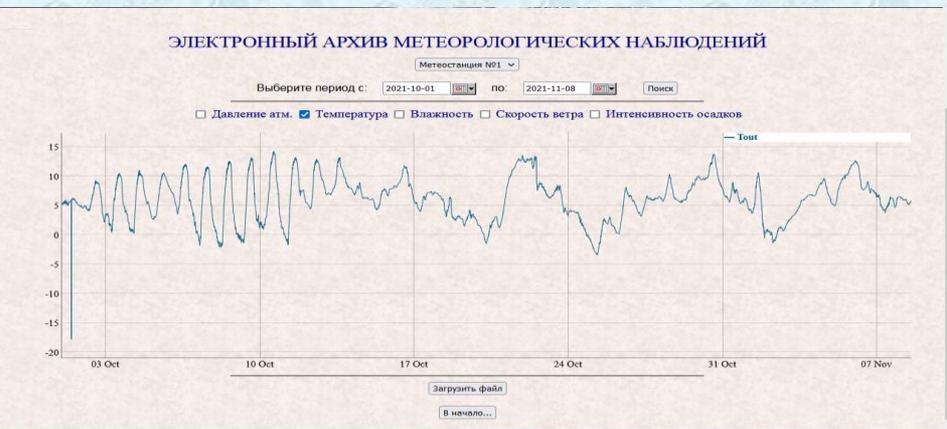


Макет проведения калибровки



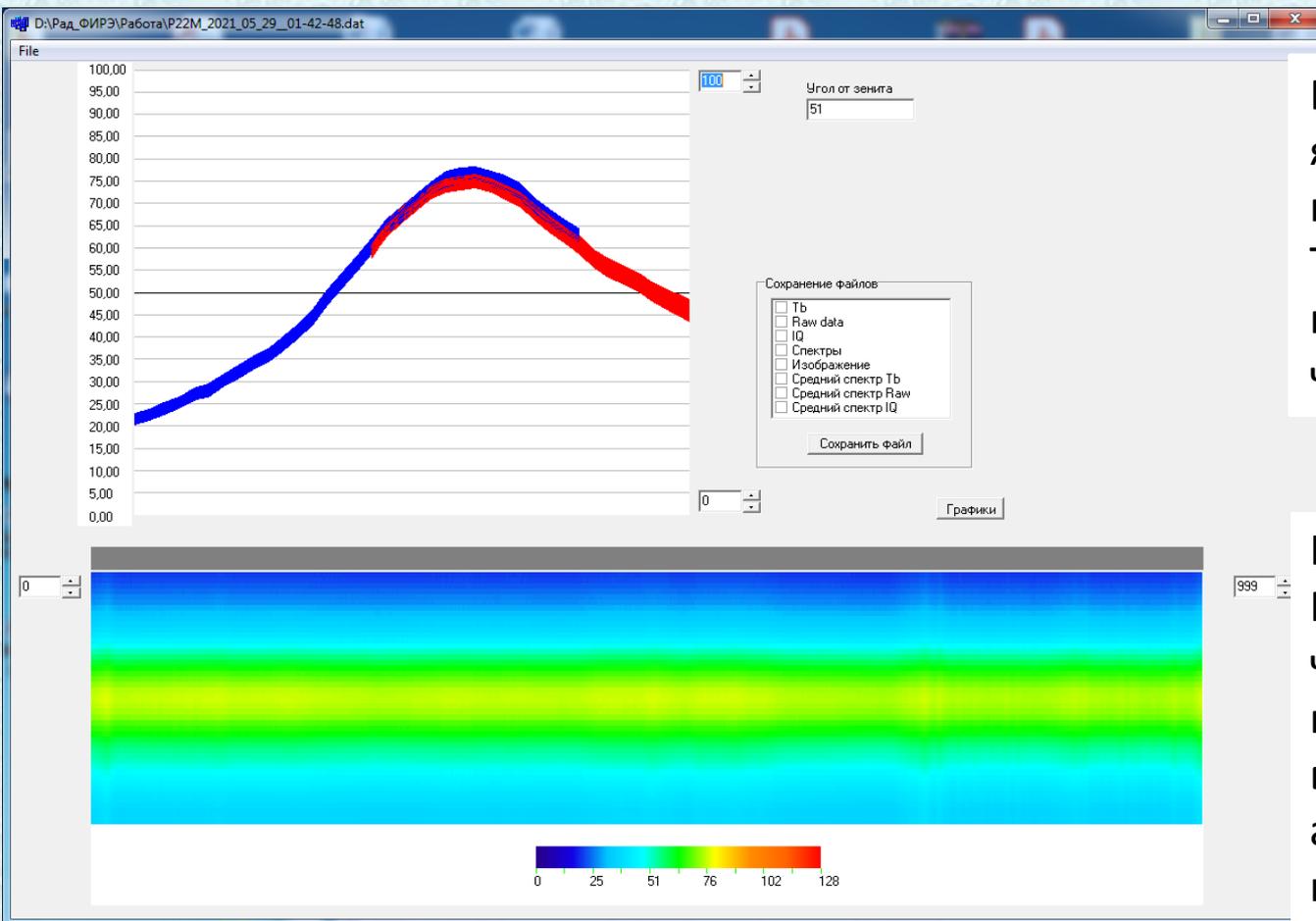
# Сопутствующие измерения

- Метеостанции – 2 шт.
  - Температура
  - Давление
  - Влажность
  - Скорость и направление ветра
  - Интенсивность осадков
- Видеокамера
- Радиозондовые данные



# Первичная обработка

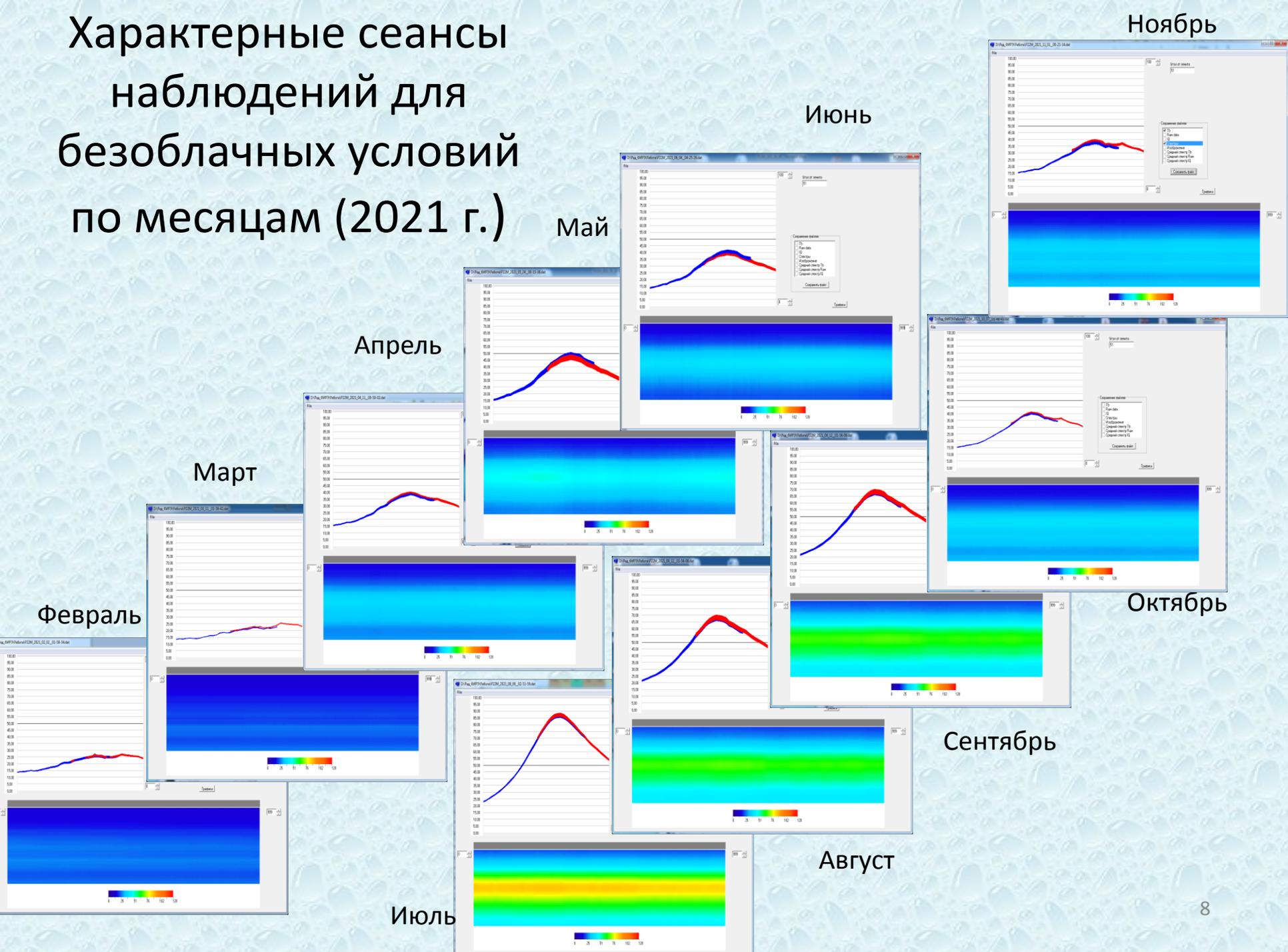
P22M\_2021\_05\_29\_\_01-42-48



Верхний рисунок – спектр яркостных температур:  
по вертикальной оси – Тя, °K;  
по горизонтальной оси – частота, ГГц;

Нижний рисунок:  
По вертикальной оси – частота,  
по горизонтальной – время,  
а яркостные температуры кодируются цветом.

# Характерные сеансы наблюдений для безоблачных условий по месяцам (2021 г.)



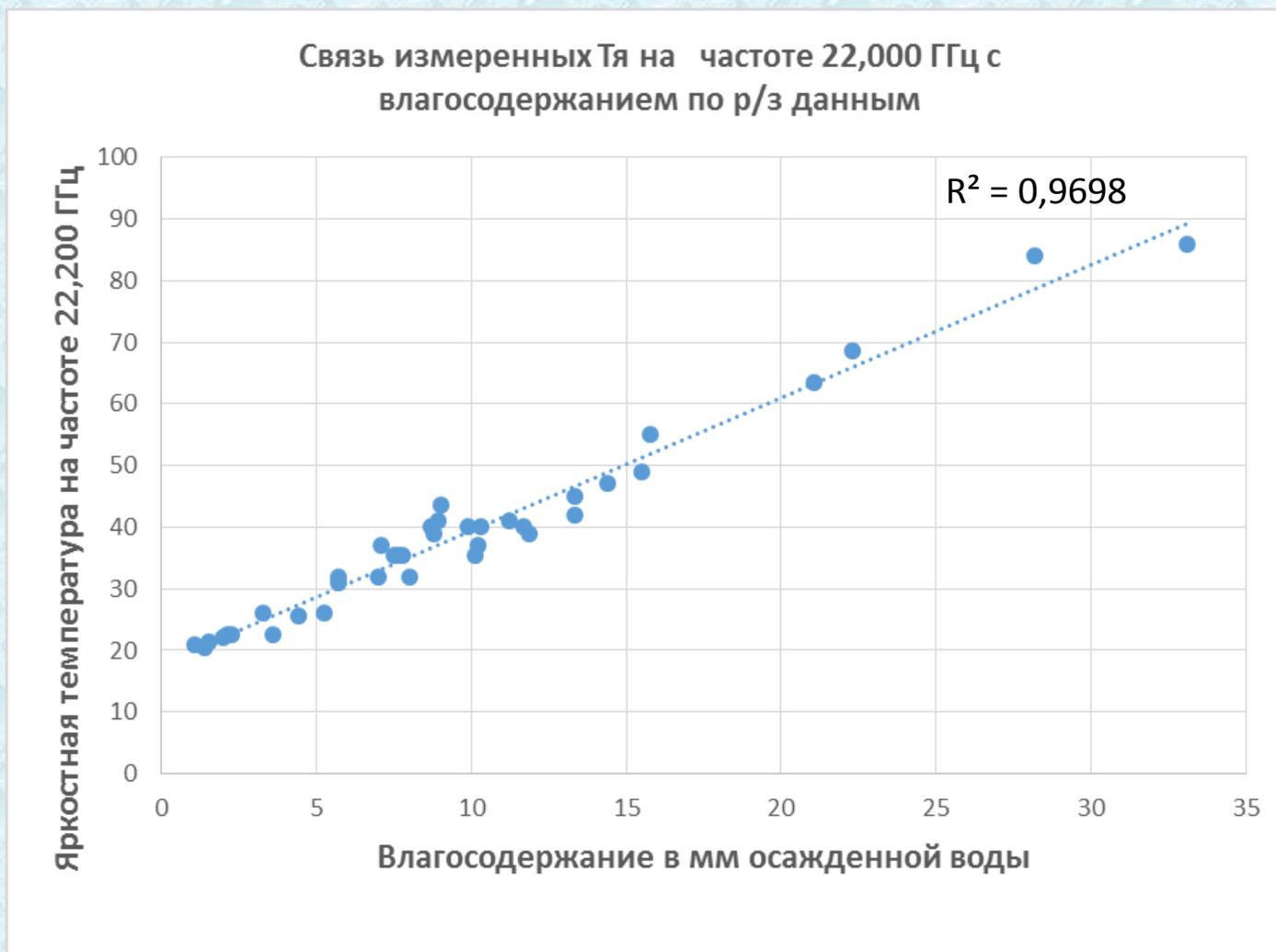
# Изменчивость характеристик излучения безоблачной атмосферы в различные сезоны

- Обработано **39** безоблачных сеансов.
- Для всех сеансов скачены радиозондовые данные с сайта University of Wyoming <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Изменчивость яркостной температуры на частоте 22,200 ГГц

Месяц	Тя, °К	Месяц	Тя, °К
Февраль	22,0 – 25,5	Июль	49 - 63
Март	20,5 – 40,0	Август	86
Апрель	32 – 43,5	Сентябрь	68,5
Май	47 - 55	Октябрь	32 - 40
Июнь	35,5 - 45	Ноябрь	32 - 37

# Связь измеренных Тя на частоте 22,200 ГГц с влажосодержанием по р/з данным

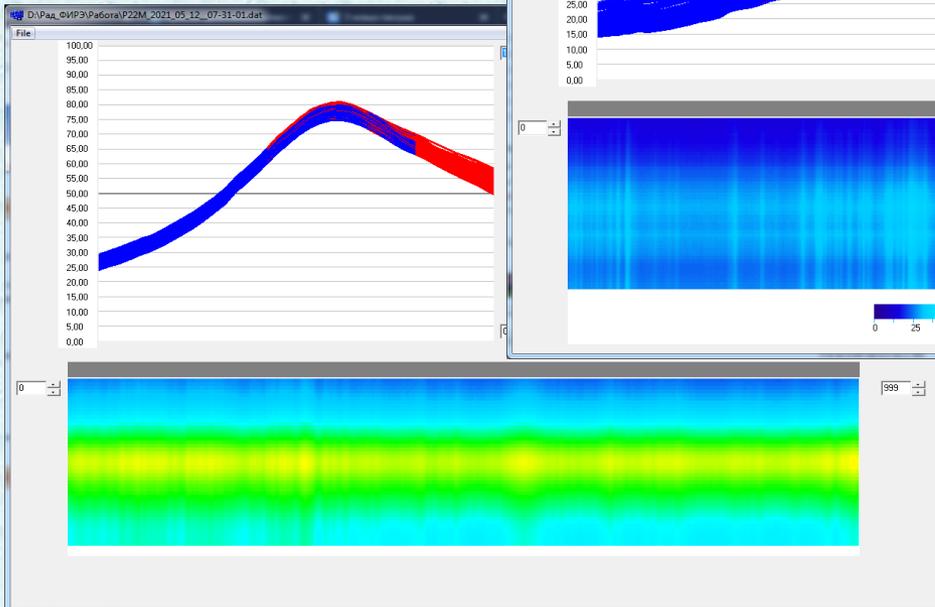
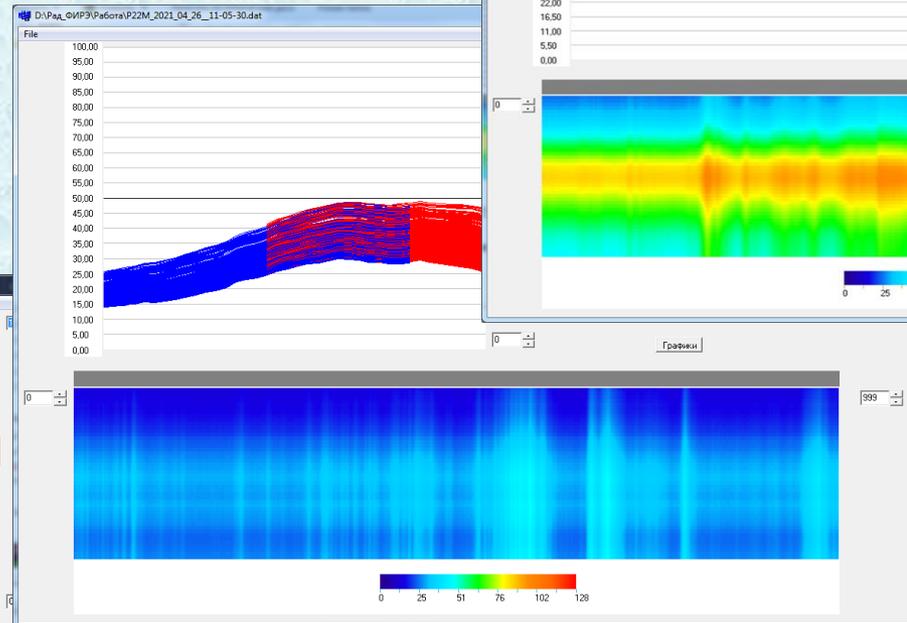
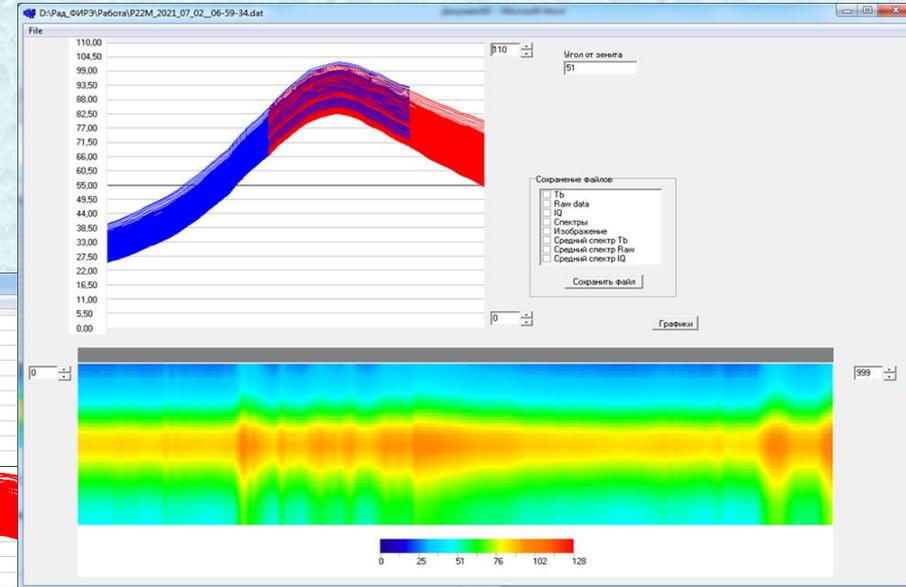


# Влияние облачности на спектр Тя

Слоисто-дождевая  
облачность

Кучевая облачность

Слоистая  
облачность

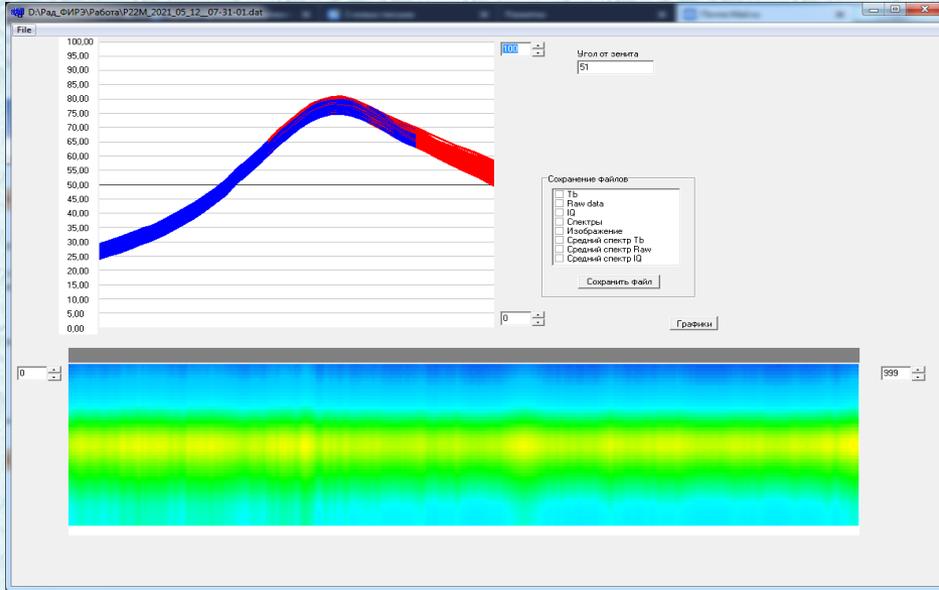


# Яркостные температуры облачной атмосферы

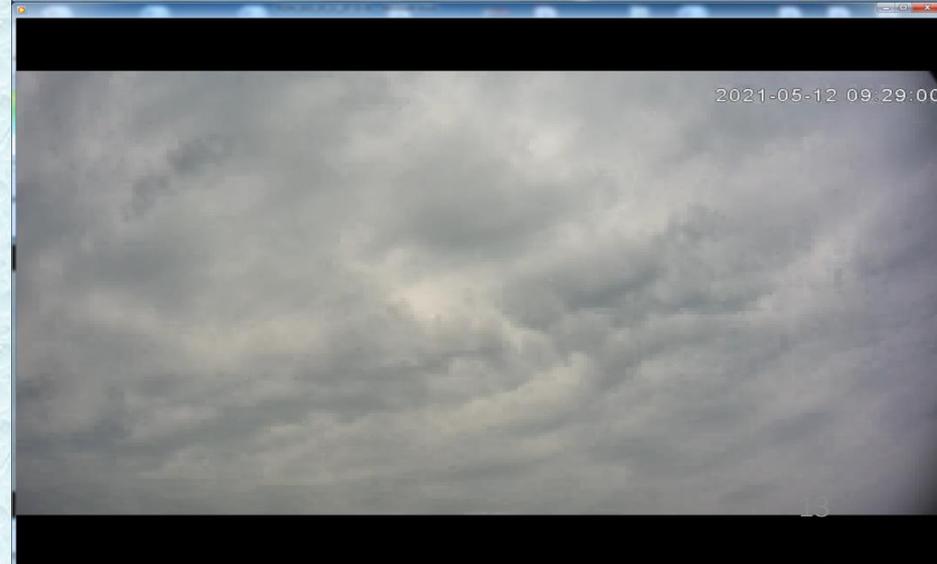
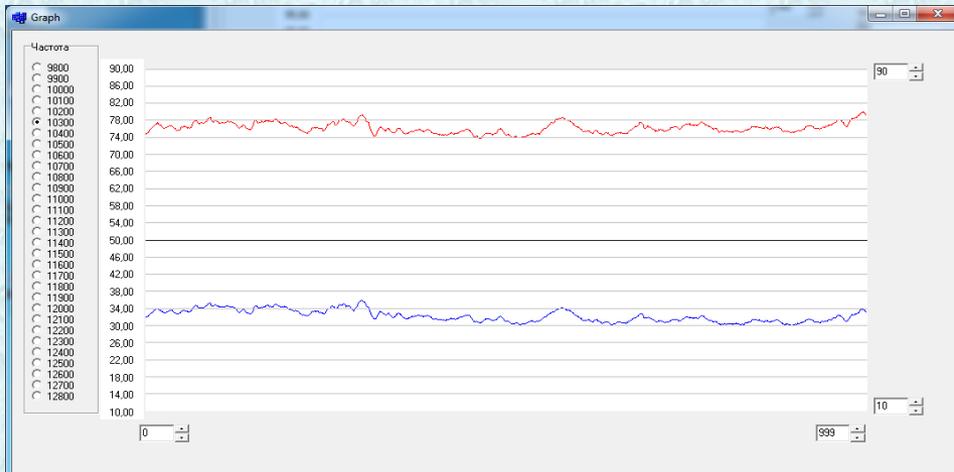
Сеанс/Частота, ГГц	18	22,2	27,2	Тип облачности
2021_04_26_ 11-05-30	15-26	30-47	27-48	Кучевая
2021_05_12_ 07-31-01	25-30	74-78	50-57	Слоистая
2021_07_02_ 06-59-34	26-39	82-100	49-77	Слоисто- дождевая

# Структура слоистой облачности по СВЧ-радиометрическим измерениям

P22M\_2021\_05\_12\_\_07-31-01



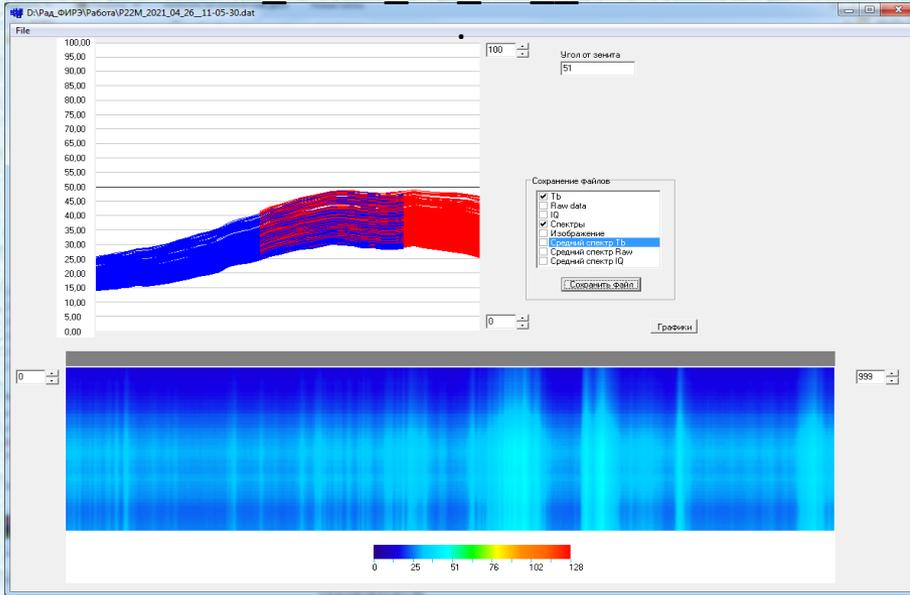
Структура T<sub>a</sub> на частотах 22,200 (—) и 19,000 ГГц (—)



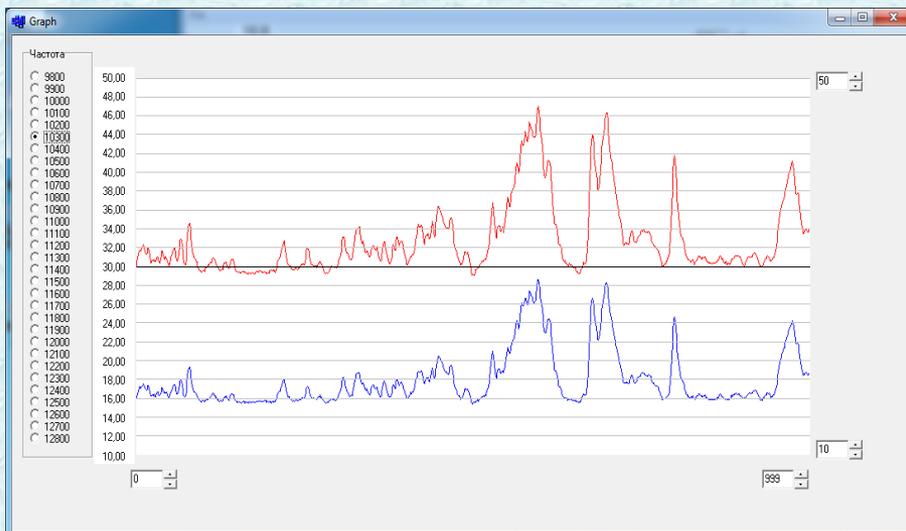
# Структура кучевых облаков по СВЧ-радиометрическим измерениям

P22M\_2021\_04\_26\_11-05-30

Кучевые облака

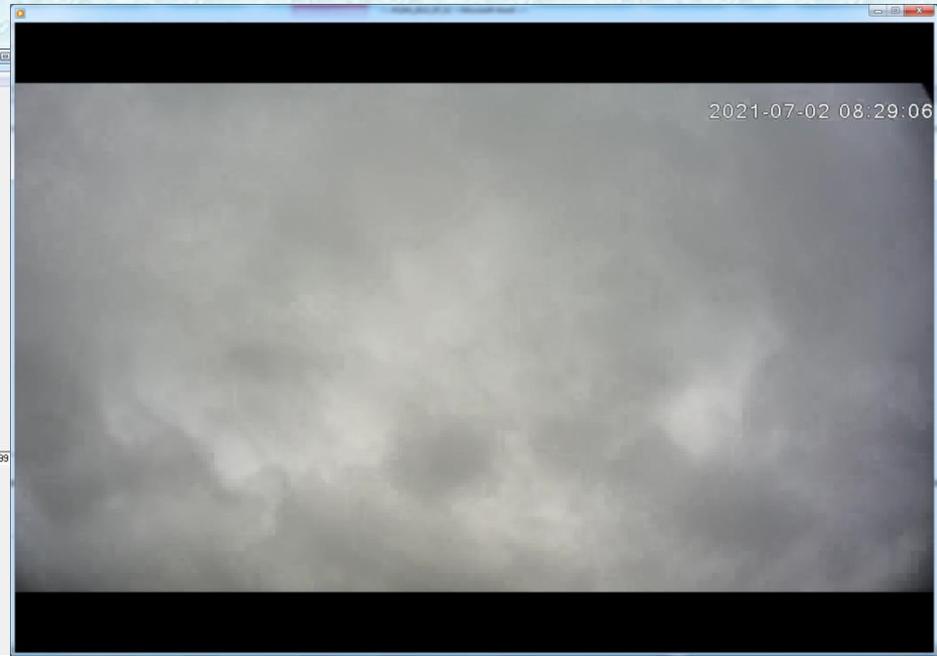
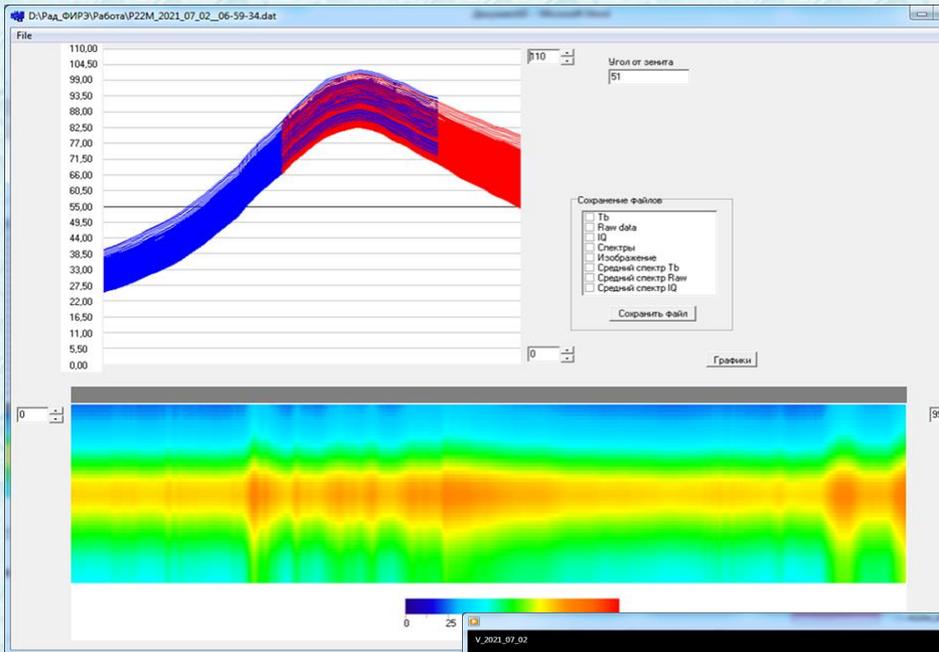


Структура Тя на частотах 22,200 (—) и 19,000 ГГц (—)



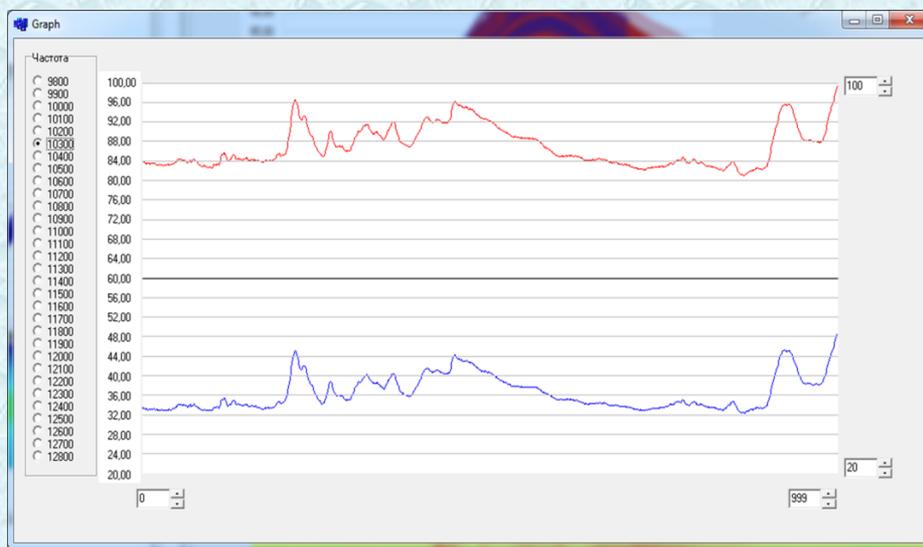
# Слоисто-дождевая облачность

P22M\_2021\_07\_02\_\_06-59-34

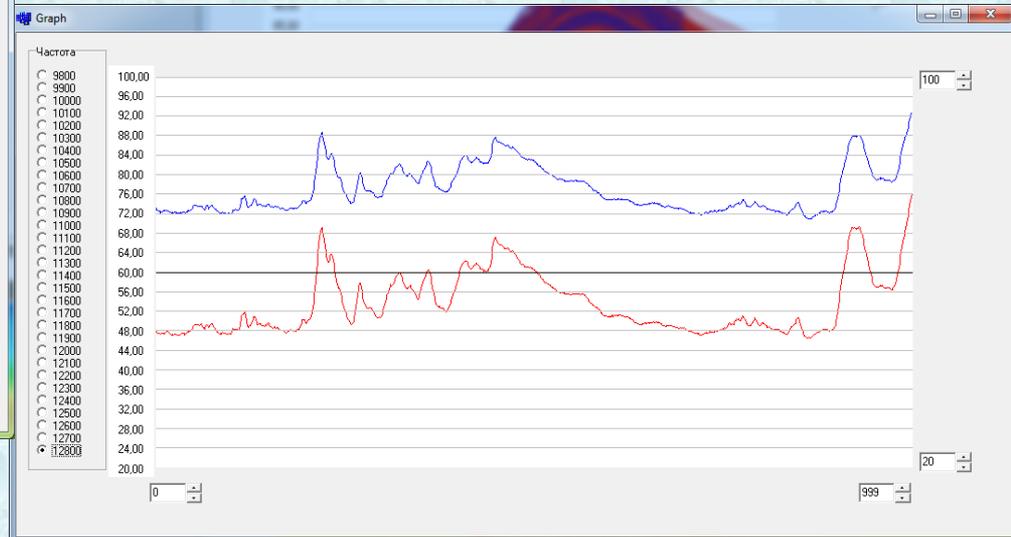


# Структура слоисто-дождевой облачности по СВЧ-радиометрическим измерениям

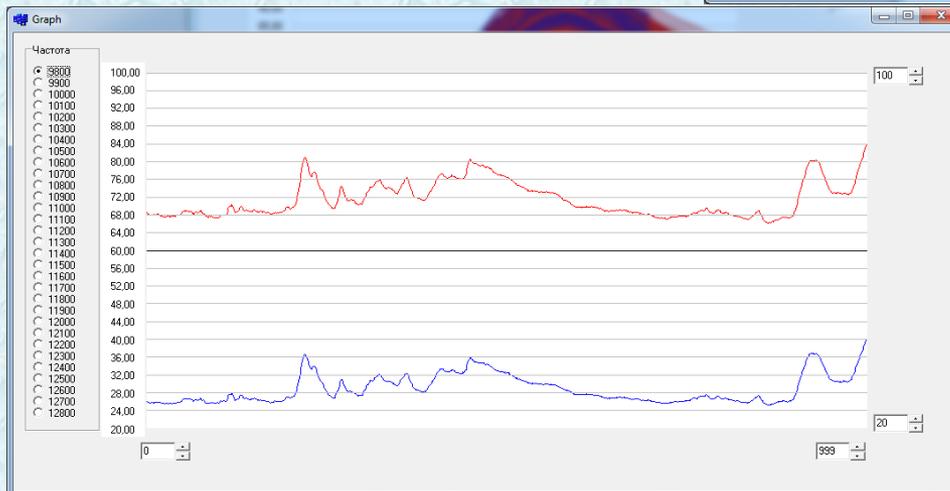
## 22,200 и 19,000 ГГц



27,200 и 24,000 ГГц

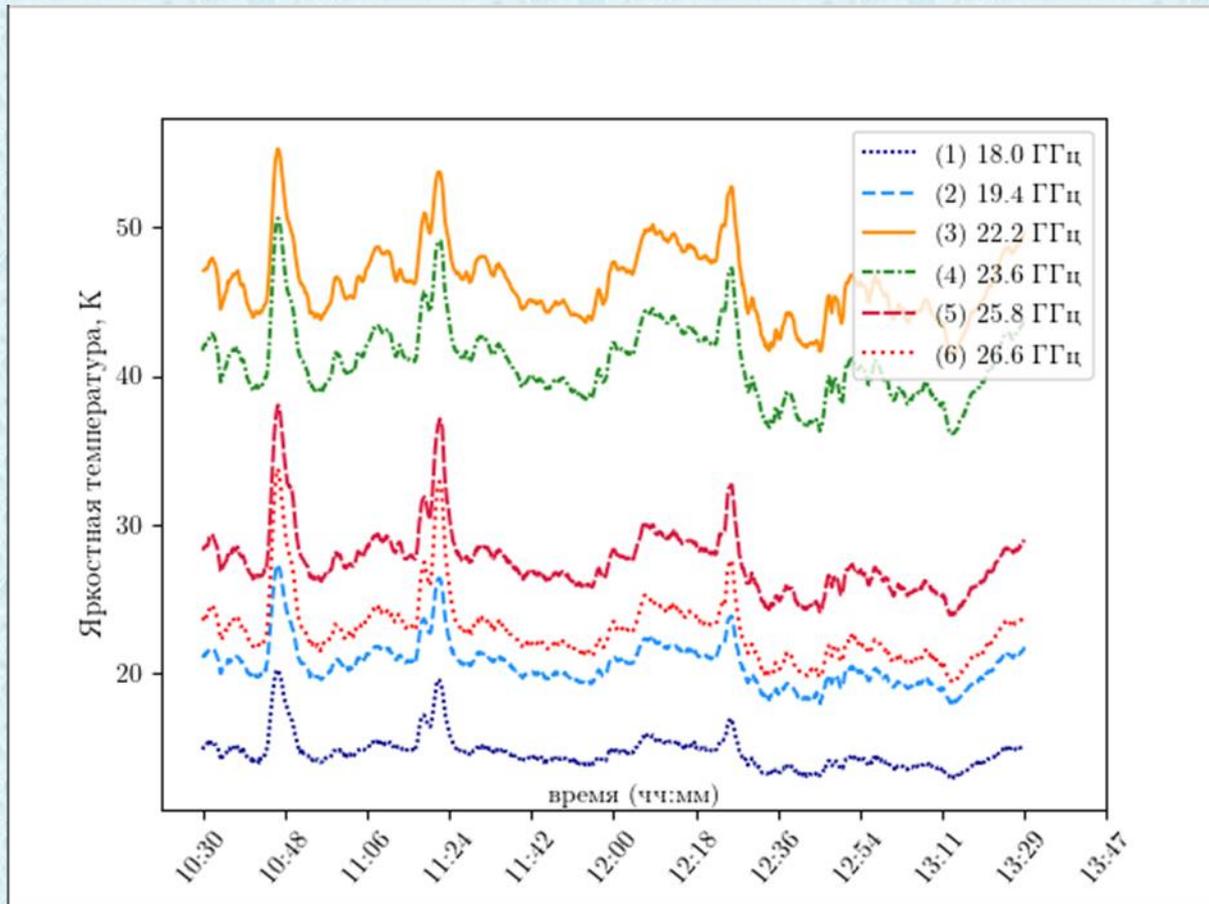


21,200 и 18,000 ГГц



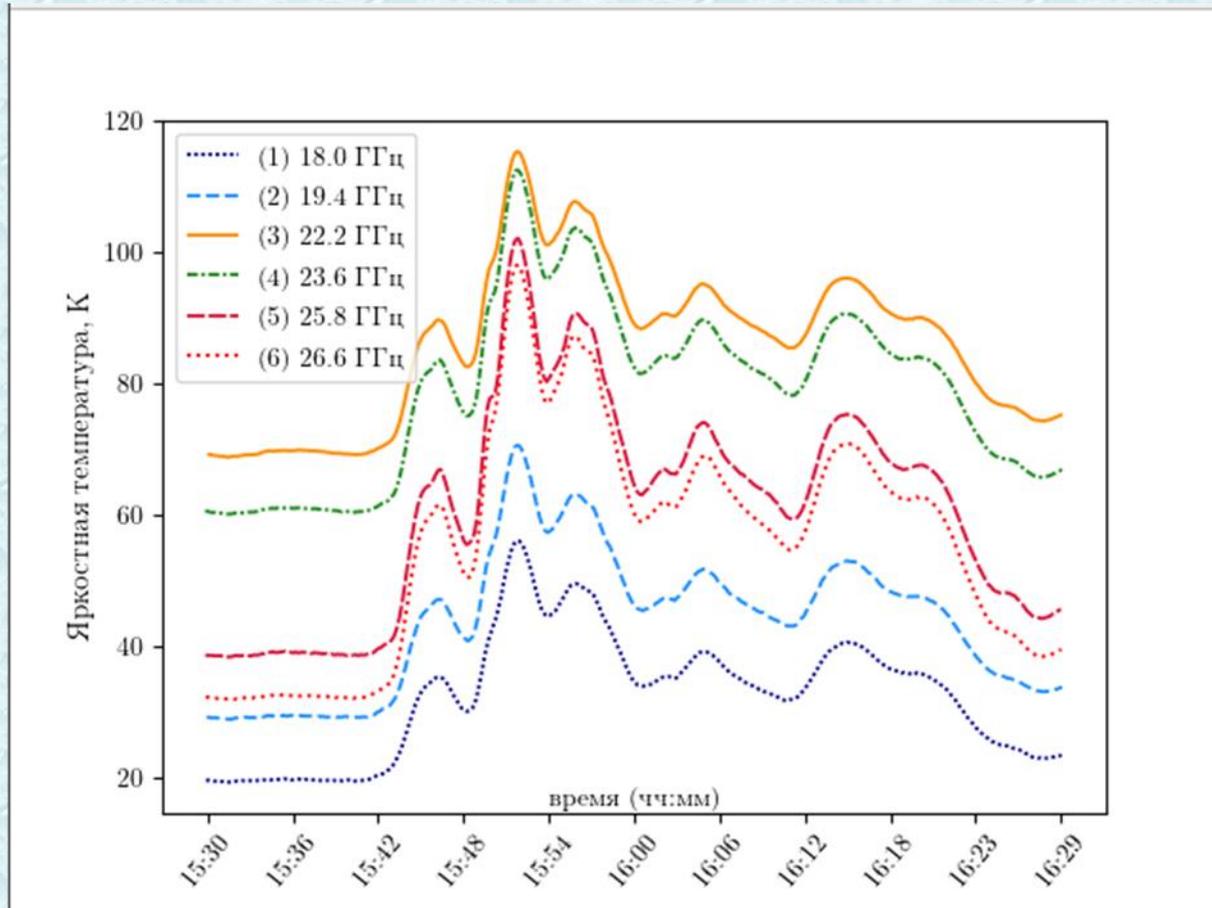
# Структура Тя на отдельных каналах

Сеанс 12-07-2018 - облака Cu hum



# Структура Тя на отдельных каналах

Сеанс 13-07-2018 - облака Cu song



# Вариации Тя для разных типов облаков

Частота, ГГц	Слоистая	Кучевые облака	Слоисто- дождевая
18,0	1-12	1-5	1 - 15
22,200	2-17	1-5	2-17,5
27,2	1-22	2 - 7	2- 21

# Основные результаты

СВЧ радиометрические измерения в диапазоне 18-27,2 ГГц, осуществляемые с августа 2017 г. до настоящего времени в ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, позволили:

- проследить сезонную изменчивость радиоизлучения безоблачной атмосферы в диапазоне частот 18-27,2 ГГц.
- С использованием радиозондовых данных показана линейная зависимость между яркостной температурой безоблачной атмосферы и интегральным влагосодержанием атмосферы.
- Вариации яркостной температуры облачной атмосферы на частоте 22,2 ГГц в зависимости от типа облачности могут составлять от единиц до 20°К и более .
- Показана возможность исследовать тонкую пространственную структуру облаков.

Спасибо за внимание !