

Солнечный радиотелескоп РТ-1.8 Уссурийской астрофизической обсерватории

Ю. В. Векшин

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Солнечный радиотелескоп РТ-1.8



- Новый солнечный радиотелескоп был разработан в ИПА РАН и установлен в ноябре 2022 г. в Уссурийской астрофизической обсерватории.
- Радиотелескоп предназначен для измерения интенсивности и степени поляризации солнечного радиоизлучения на длине волны 10.7 см.
- Солнечные вспышки вызывают геомагнитные возмущения и радиопомехи, которые влияют на спутники и распространение сигналов в околоземном космическом пространстве.
- Актуальной задачей является мониторинг солнечной активности и прогнозирование радиовспышек, оперативное предупреждение пользователей.



Антенная система РТ-1.8



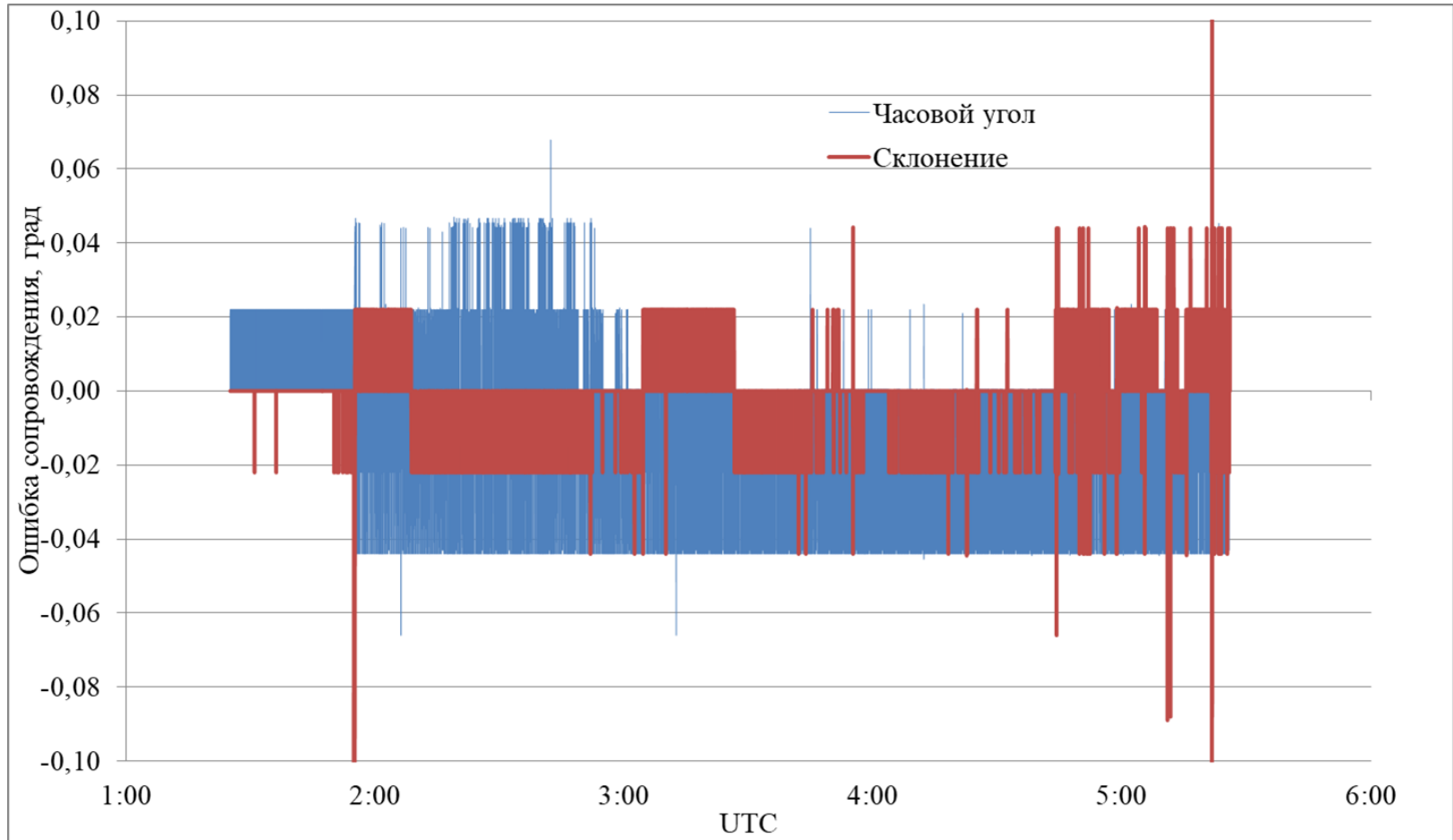
Антенная система РТ-1.8 представляет собой зеркало в форме осесимметричного параболоида диаметром 1.85 м с приемником в первичном фокусе, фокусное расстояние составляет 660 мм.



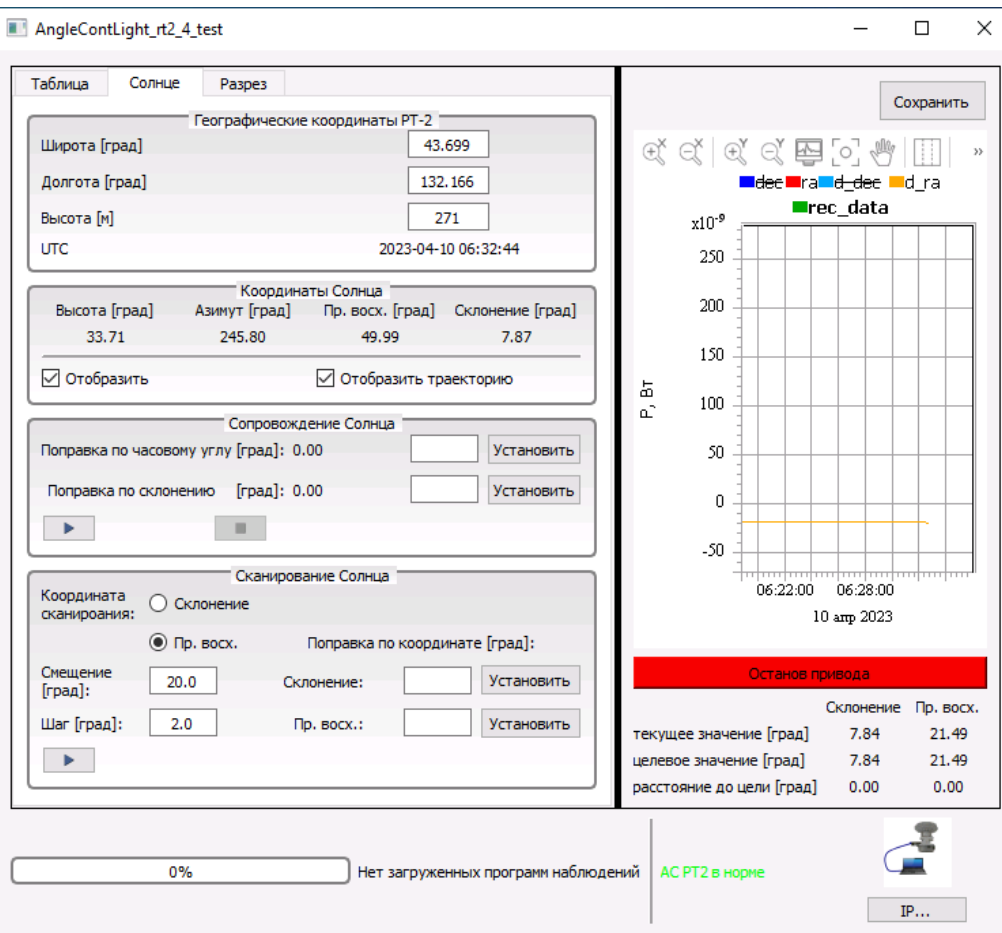
Основные характеристики антенной системы

Параметр	Значение
Диаметр рефлектора, м	1.85
Монтировка	экваториальная
Максимальная скорость, °/с Часовой угол Склонение	5 5
Максимальное ускорение, °/с ² Часовой угол Склонение	10 10
Погрешность сопровождения, °	±0.05
Диапазон рабочих температур, °С	Минус 40 ...+40
Напряжение питания, В	230/50Гц
Потребляемая мощность, не более, Вт	500
Масса, кг	450

Запись сеанса от 10.04.2023



Погрешность сопровождения ± 0.05 град (доверительный интервал 95%)

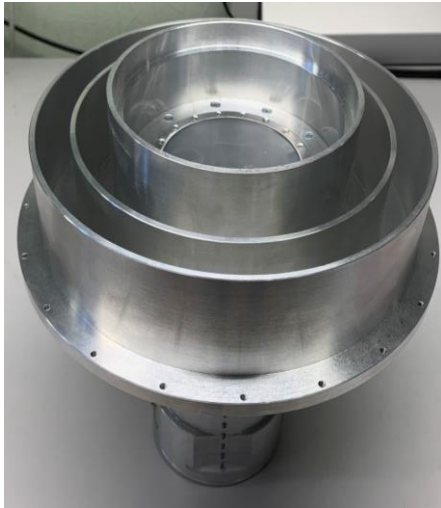


- Управление антенной системой RT-1.8 в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режиме;
- Сопровождение Солнца в автоматическом режиме;
- Ручная установка поправок по углам;
- Выполнение программы наблюдений по файлу расписания;
- Сохранение данных системы наведения в файле на компьютере

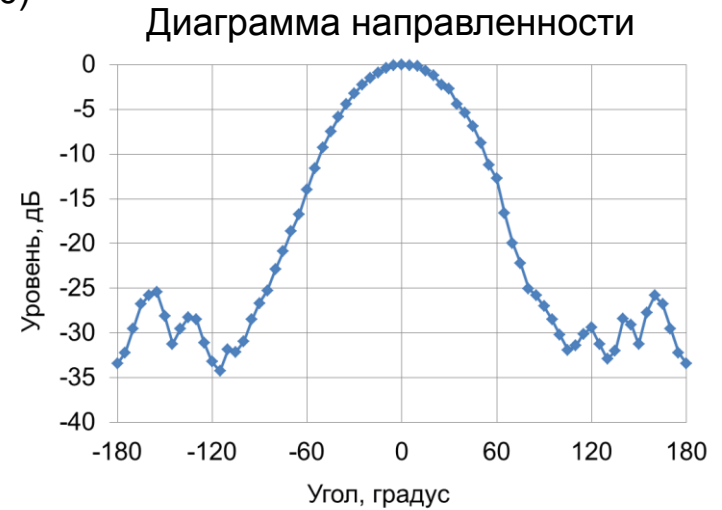
Интерфейс пользователя управления RT-1.8

Облучатель

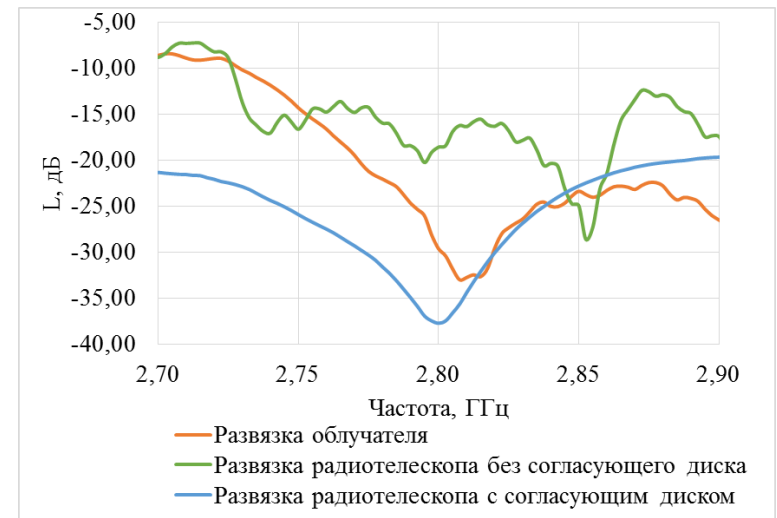
Скалярный рупор для антенн с отношением F/D в пределах 0.36–0.40, имеющих угол облучения рефлектора $\pm(65-70)^\circ$



Габариты : диаметр 199 мм, длина 248 мм

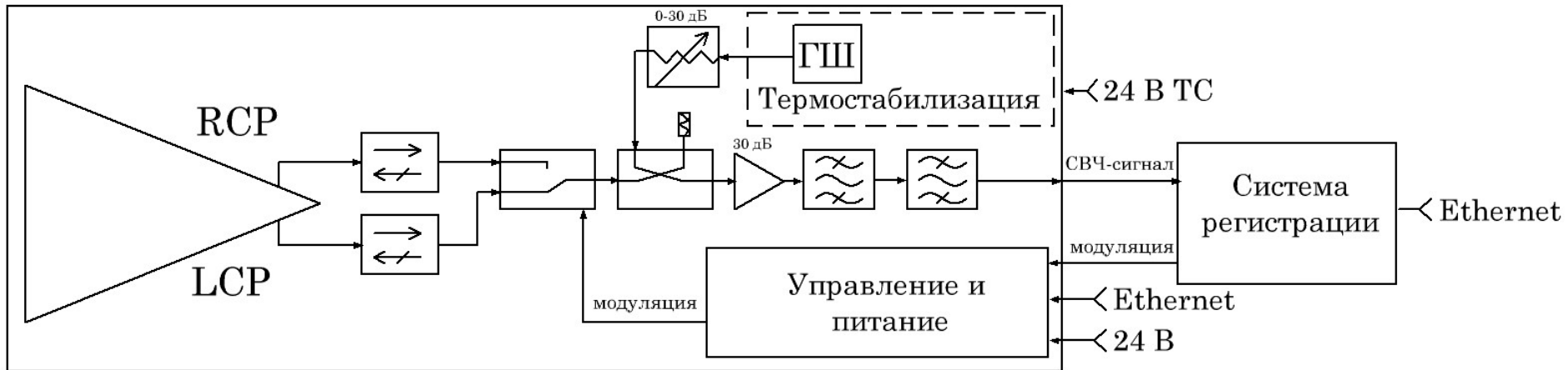


Развязка поляризаций

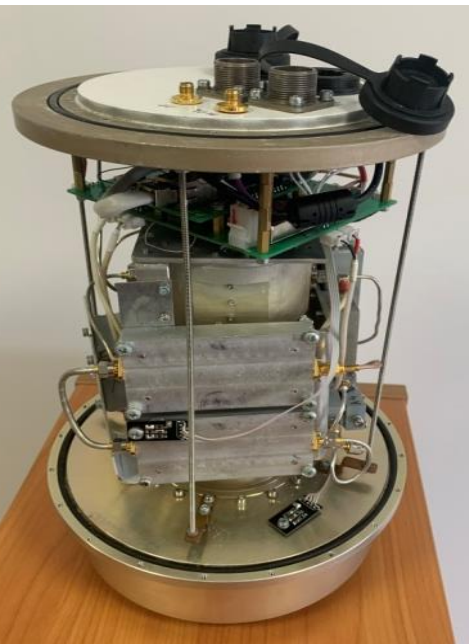


Характеристика	Значение
Диапазон частот, МГц	2785–2815 МГц
Поляризация	Правая и левая круговые
Уровень ДН в направлении кромок рефлектора, дБ	-15
Уровень боковых лепестков, дБ	-22
Развязка, дБ	≥ 20
Эллиптичность, дБ	≤ 0.4
КСВН	≤ 1.2

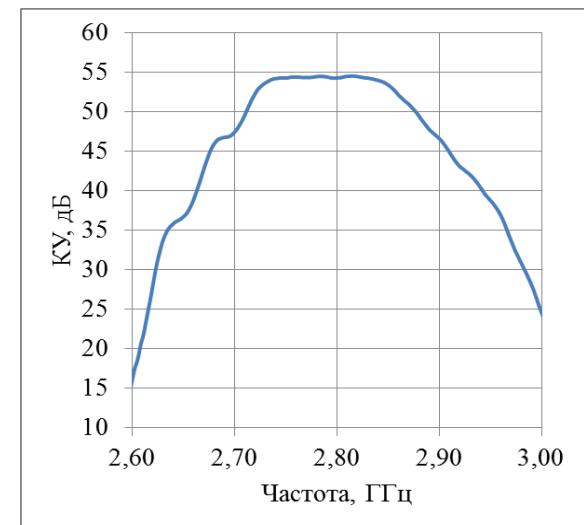
Приемная система РТ-1.8



Модуляционный режим: переключение между ГШ, правой, левой поляризациями, их суммой



Диапазон частот	2790–2810 МГц
Коэффициент усиления	28 дБ
Шумовая температура	450 К



Интерфейс Ethernet 10/100

- Питание усилителя и контроль потреб. тока;
- Питание ГШ и его контроль
- Управление и контроль управляемыми аттенюаторов;
- Управление и контроль р-и-п переключателем;
- Контроль температуры (Облучателя, усилителя, ГШ и интерфейсного фланца);
- Контроль внешней температуры и влажности.

Управление приемником РТ-1.8 (win32)

Файл Инструменты ?

Общие настройки и инфо

Блок: Supervisor

Адрес: 172.022.004.133

Порт: 10001

Сообщения: Receipt

Ошибки: ОК

Авто-подтверждение

Авто-статус ?? с

Писать FS log

Сервер

Адрес: 172.22.4.112

Порт: 10020

Таймаут: 3.0 с

Приемник РТ-1.8

Информация о состоянии

Датчик SHT75: **Норм** Датчик BMP085: **Норм** PLED: **ОТКЛЮЧЕНО**

Датчик влажности SHT75

Влажность: 50.61 % Нагреватель: **Откл**

Температура: 21.84 C Низ.батарея: **NOT DETECTED**

Барометрический датчик BMP085

Давление: 100841 Па 1008.41 мБар 756.37 мм.рт.ст.

Высота (по станд.атм.): 40.37 м

Температура: 21.1 C

Питание МШУ1: **Откл** 0 mA Аттенюатор (1): **0** дБ [1500]

Питание МШУ2: **Откл** 0 mA

Принудительное управление: **ОТКЛЮЧЕНО** Внешняя модуляция: **Не обнаружен**

Генератор шума: **Непрерывный** 11.476 mA Аттенюатор ГШ (0): **0** дБ [255]

Модулятор1: **Открыт**

Модулятор2: **Открыт**

Датчики температуры

Датчик 0: 21.75000 расположение0 Датчик 1: 20.75000 расположение1

Датчик 2: 21.12500 расположение2 Датчик 3: 20.87500 расположение3

Датчик 4: 21.62500 расположение4

Общие команды

Сброс Подтверждение СТАТУС Версия Сеть Сброс ошибки Настройка

Команды

Питание МШУ1 **Питание МШУ2** Аттенюатор (1): 0 Уст. Сохр. Загрузить

Принудительное управление:

Генератор шума	Модулятор1	Модулятор2
<input type="radio"/> Непрерывный	<input checked="" type="radio"/> Открыт	<input checked="" type="radio"/> Открыт
<input checked="" type="radio"/> Откл	<input type="radio"/> Закрыт	<input type="radio"/> Закрыт
<input type="radio"/> Противофаза	<input type="radio"/> Противофаза	<input type="radio"/> Противофаза
<input type="radio"/> Фаза	<input type="radio"/> Фаза	<input type="radio"/> Фаза

Атт: 67d Уст.

Сохр. Загрузить

Нагреватель SHT75 PLED

2022.09.13 18:05:42 <-- (172.022.004.133:10001) R 00 [0.028 s]

2022.09.13 18:05:47 --> (172.022.004.133:10001) '21 0000029E' [0.000 s]

2022.09.13 18:05:47 <-- (172.022.004.133:10001) E RCV_OK_2D [0.027 s]

2022.09.13 18:05:48 --> (172.022.004.133:10001) '02 00000000' [0.000 s]

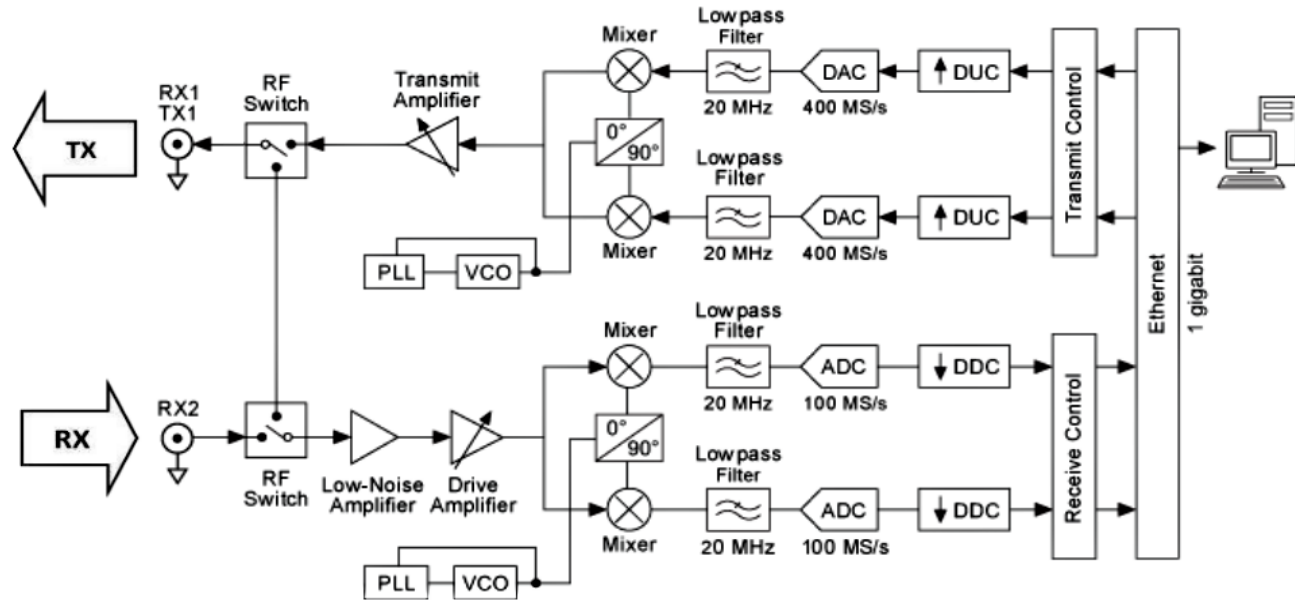
2022.09.13 18:05:48 <-- (172.022.004.133:10001) R 00 [0.028 s]

QUIT

Система регистрации РТ-1.8



Программно-определяемое радиоустройство National Instruments USRP-2922

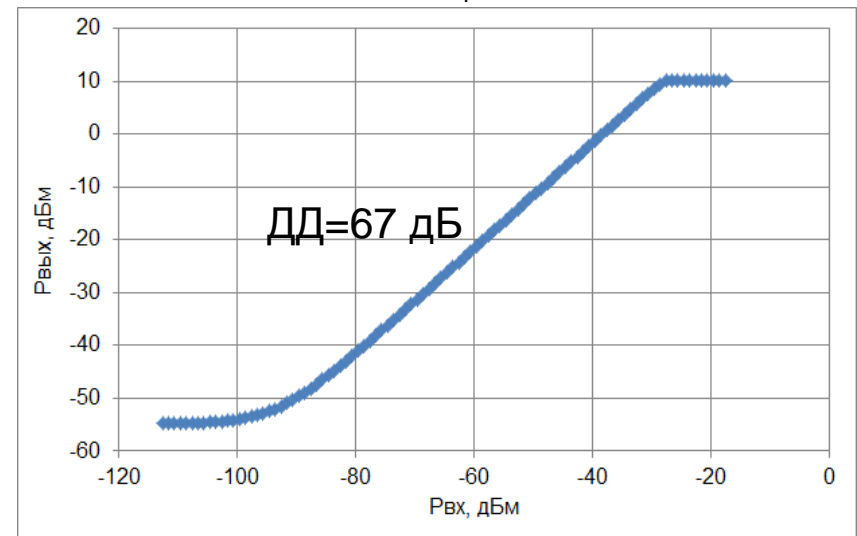
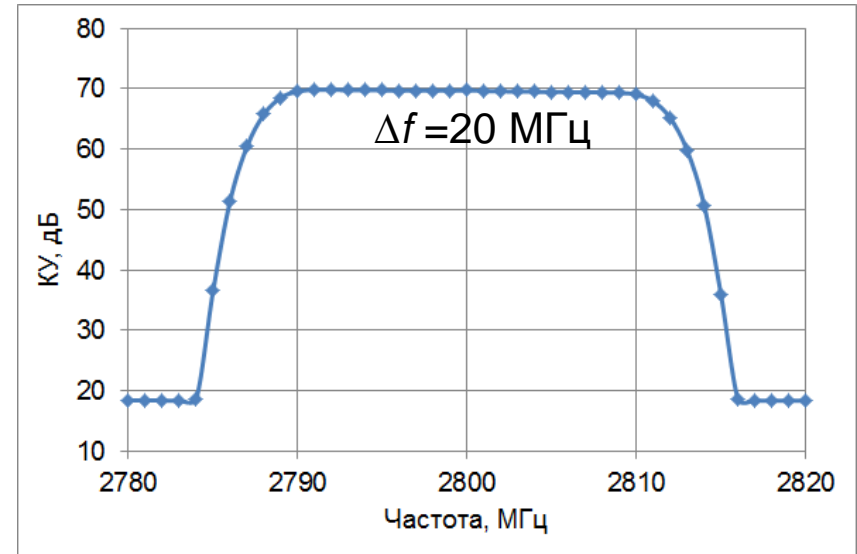


Коэффициент усиления, дБ	10-41.5 дБ
Шумовая температура, К	623
Полоса частот, МГц	25
Разрядность, бит	16
Поток данных, Мбит/с	800
Интерфейс передачи	1G Ethernet
Время накопления	0.1 с

Характеристики приемно-регистрирующей системы



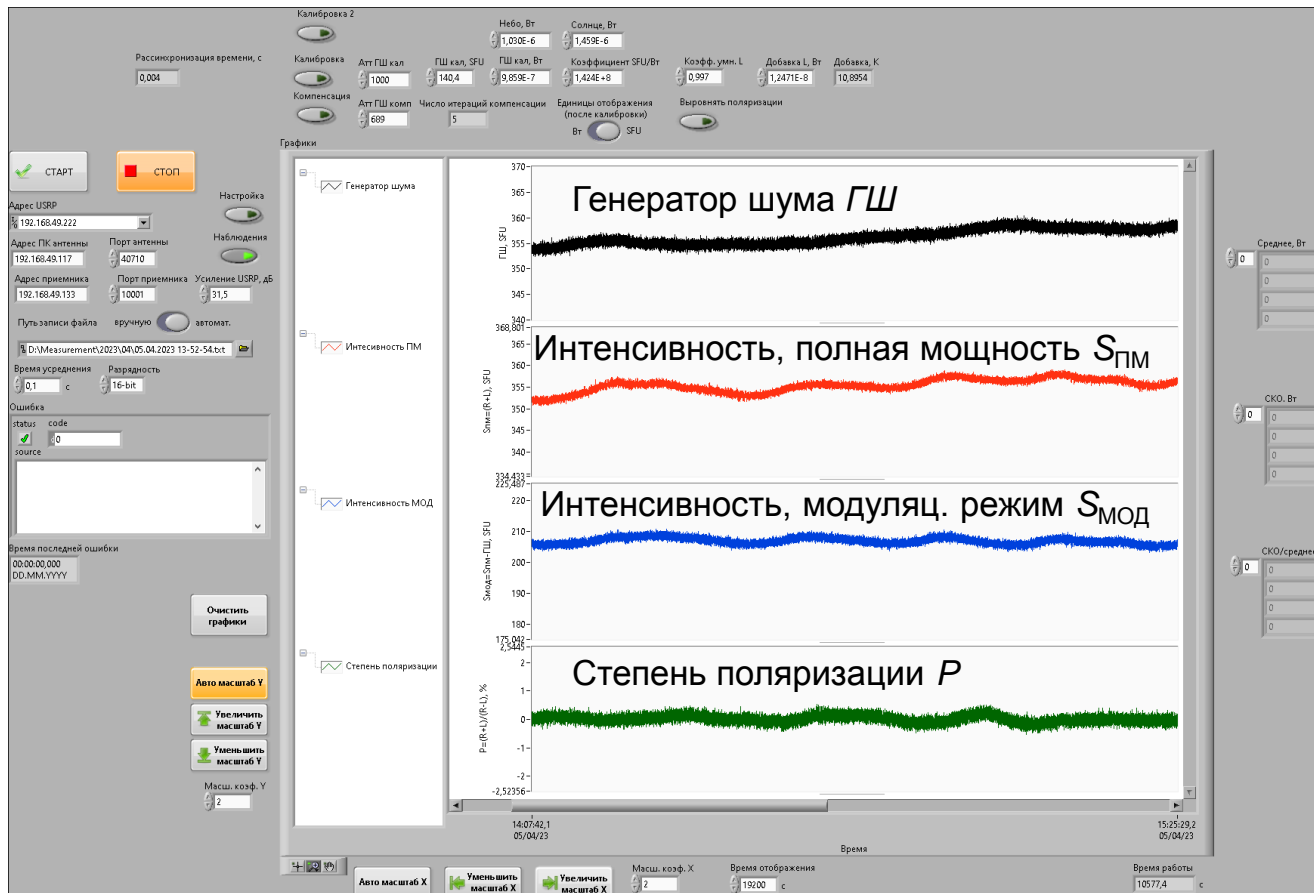
	$G_{\text{рег}}=10$ дБ	$G_{\text{рег}}=41.5$ дБ
Полоса частот	2790–2810 МГц	
Коэффициент усиления	38.5 дБ	70 дБ
Шумовая температура	850 К	450 К
Чувствительность ($\tau=0.1$ с) (режим полной мощности)	1.2 К	0.6 К
Чувствительность ($\tau=0.1$ с) (модуляционный режим)	1.7 К	0.9 К
Точка 1-дБ компрессии по входу	-28.5 дБм	-60 дБм
Точка 1-дБ компрессии по выходу	10 дБм	10 дБм
Минимальная мощность по входу	-96 дБм	-99 дБм
Минимальная мощность по выходу	-57 дБм	-29 дБм
Динамический диапазон	67 дБ	39 дБ



Программа регистрации РТ-1.8



1. Выработка управляющих сигналов для переключателя.
2. Вычисление спектра сигнала в полосе 25 МГц, цифровая фильтрация помех.
3. Синхронное детектирование сигналов ГШ, R, L, R+L на $\tau = 1$ мс.
4. Усреднение сигналов на $\tau = 0.1$ с, вычисление и визуализация интенсивности и степени поляризации.
5. Запись в файл результатов измерений.
6. Автоматическая калибровка и компенсация сигнала в модуляционном режиме.
7. Автоматическая синхронизация времени системы регистрации с компьютером.



Интерфейс пользователя
В LabVIEW

$$S_{ПМ} = S_R + S_L$$

$$S_{МОД} = S_{ПМ} - \text{ГШ}$$

$$P = \frac{S_R - S_L}{S_R + S_L} \cdot 100\%$$

Предварительные измерения:

- Измерение шумовых температур и сигналов ГШ калибровки методом двух отсчетов (метод Y-фактора) с помощью нагрузки, охлаждаемой жидким азотом.

$$T_{cal} = \frac{T_h - T_c}{P_h - P_c} \cdot (\Gamma_{Ш_{ON}} - \Gamma_{Ш_{OFF}}) \quad T_{пр} = \frac{T_h - \frac{P_h}{P_c} \cdot T_c}{\frac{P_h}{P_c} - 1}$$

- Измерение SEFD и КИП радиотелескопа по данным потока Солнца от других обсерваторий (Пенкиттон, Канада)

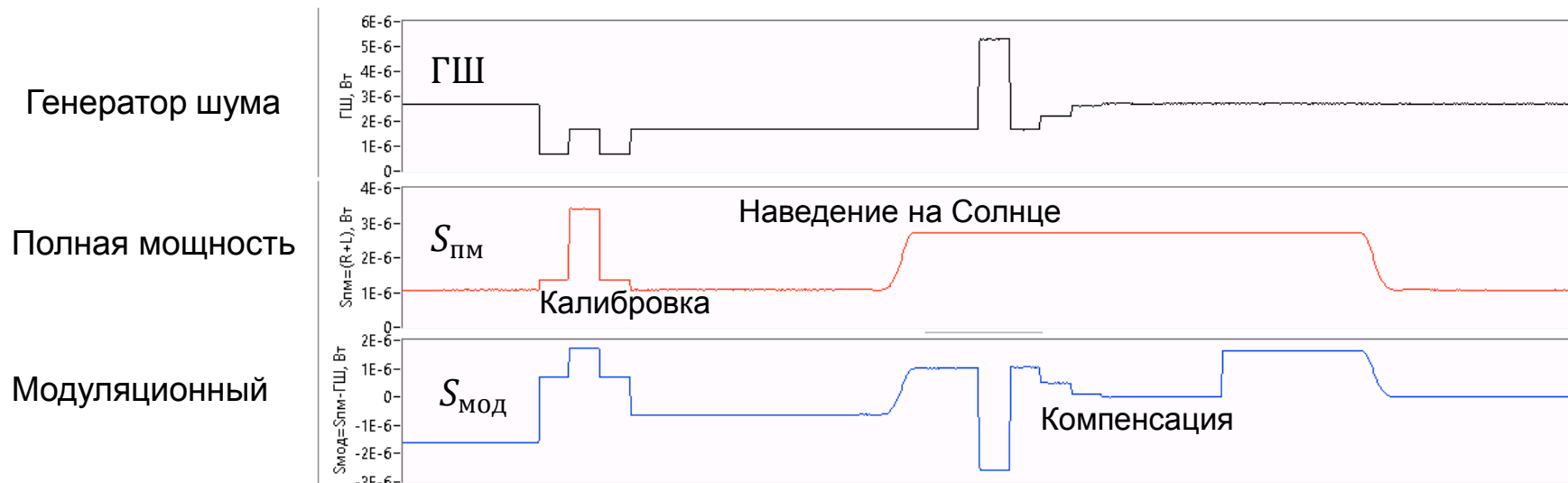
Регулярная автоматическая калибровка в начале наблюдений:

- Привязка мощности выходного сигнала к единицам потока по сигналу ГШ калибровки.

$$S[\text{sfu}] = K \cdot S[\text{W}], \quad K = \frac{\Gamma_{Ш_{ON}} - \Gamma_{Ш_{OFF}} [\text{sfu}]}{\Gamma_{Ш_{ON}} - \Gamma_{Ш_{OFF}} [\text{W}]}$$

- Компенсация выходного сигнала для устранения нестабильности коэффициента усиления. (с помощью регулировки ГШ устанавливается в ноль разность сигналов от антенны и ГШ).

$$S_{\text{мод}} = S_{\text{пм}} - \Gamma_{Ш} \rightarrow 0$$



Характеристики радиотелескопа РТ-1.8



Полоса частот Δf	2790-2810 МГц
Шумовая температура приемника $T_{пр}$	450 К
Шумовая температура системы $T_{сист}$	460 К
Чувствительность ΔT ($\tau = 0.1$ с)	0.9 К
System Equivalent Flux Density (SEFD), $sfu = 10^4$ Ян	93 sfu
Чувствительность по потоку ΔF ($\tau = 0.1$ с)	0.2 sfu
Чувствительность по степени поляризации	0.1 %
Коэффициент использования поверхности	0.56
Эффективная площадь	1.5 м ²
Ширина диаграммы направленности по уровню -3 дБ	4°

$$\Delta T = \frac{\sqrt{2} \cdot T_{сист}}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau / 4}}$$

$$\Delta F = \frac{\sqrt{2} \cdot SEFD}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau / 4}}$$

Тсис от угла места

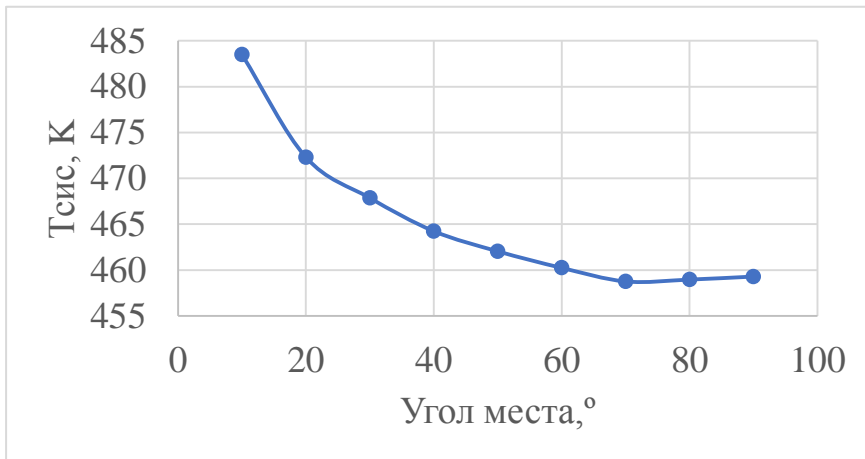
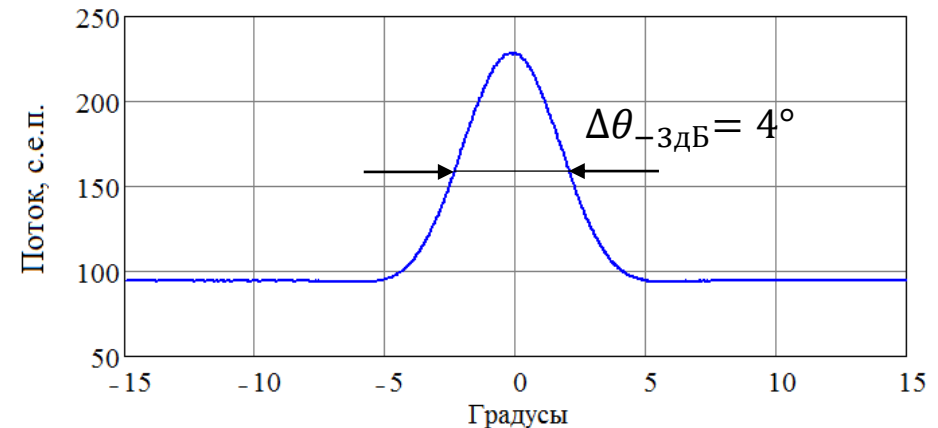


Диаграмма направленности

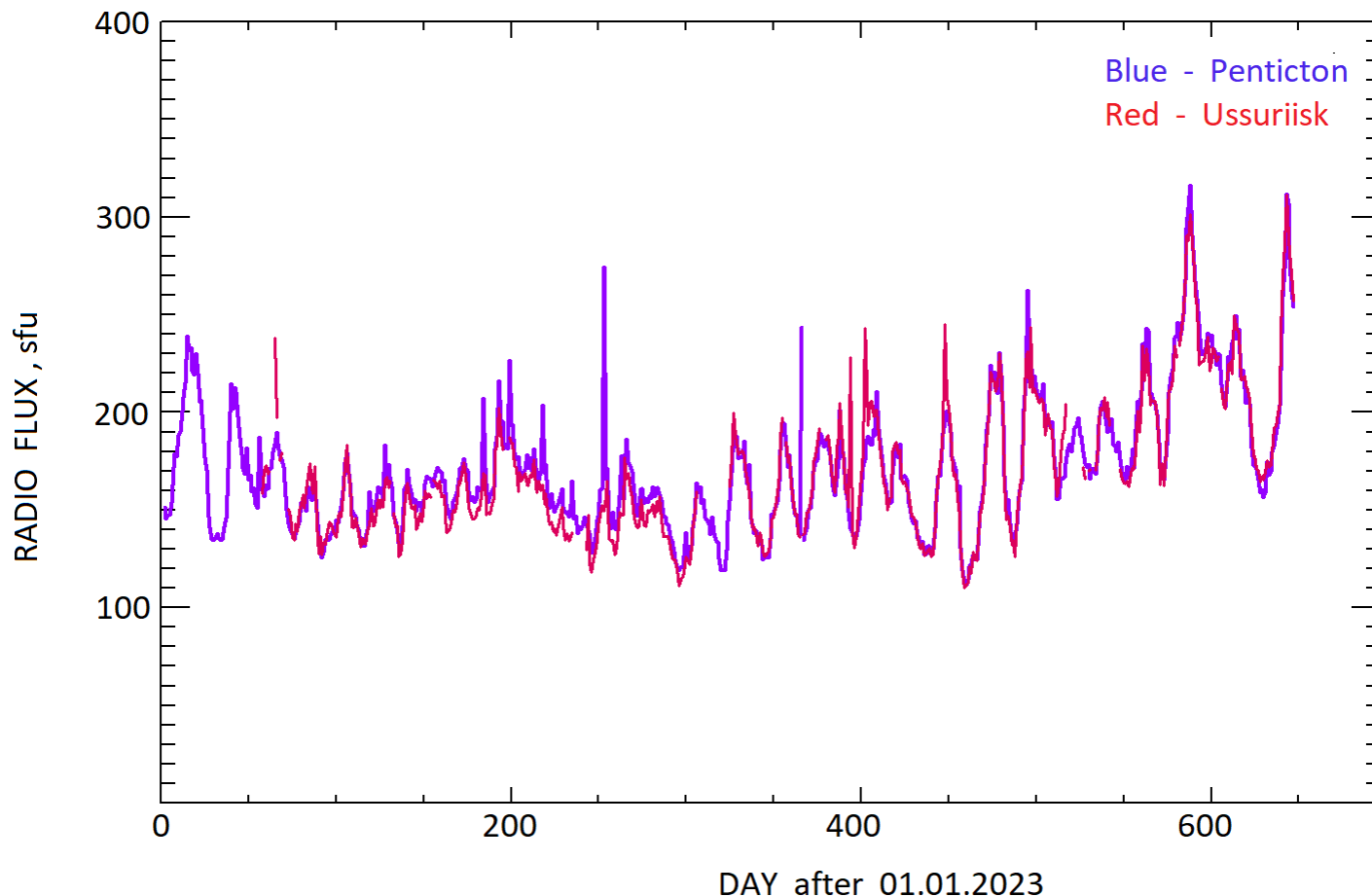


Сравнение измерений интегрального радиопотока Солнца в УАФО ИГА РАН и на станции Penticton (Канада)



Измерения станции Penticton считаются эталонными для определения индекса солнечной активности F10.7. (<https://www.spaceweather.gc.ca/forecast-prevision/solar-solaire/solarflux/sx-5-flux-en.php>)

Временной ход радиопотока Солнца на 2800 МГц за 2023-2024 г.
(1 sfu = 10^{-22} Вт/м²Гц)

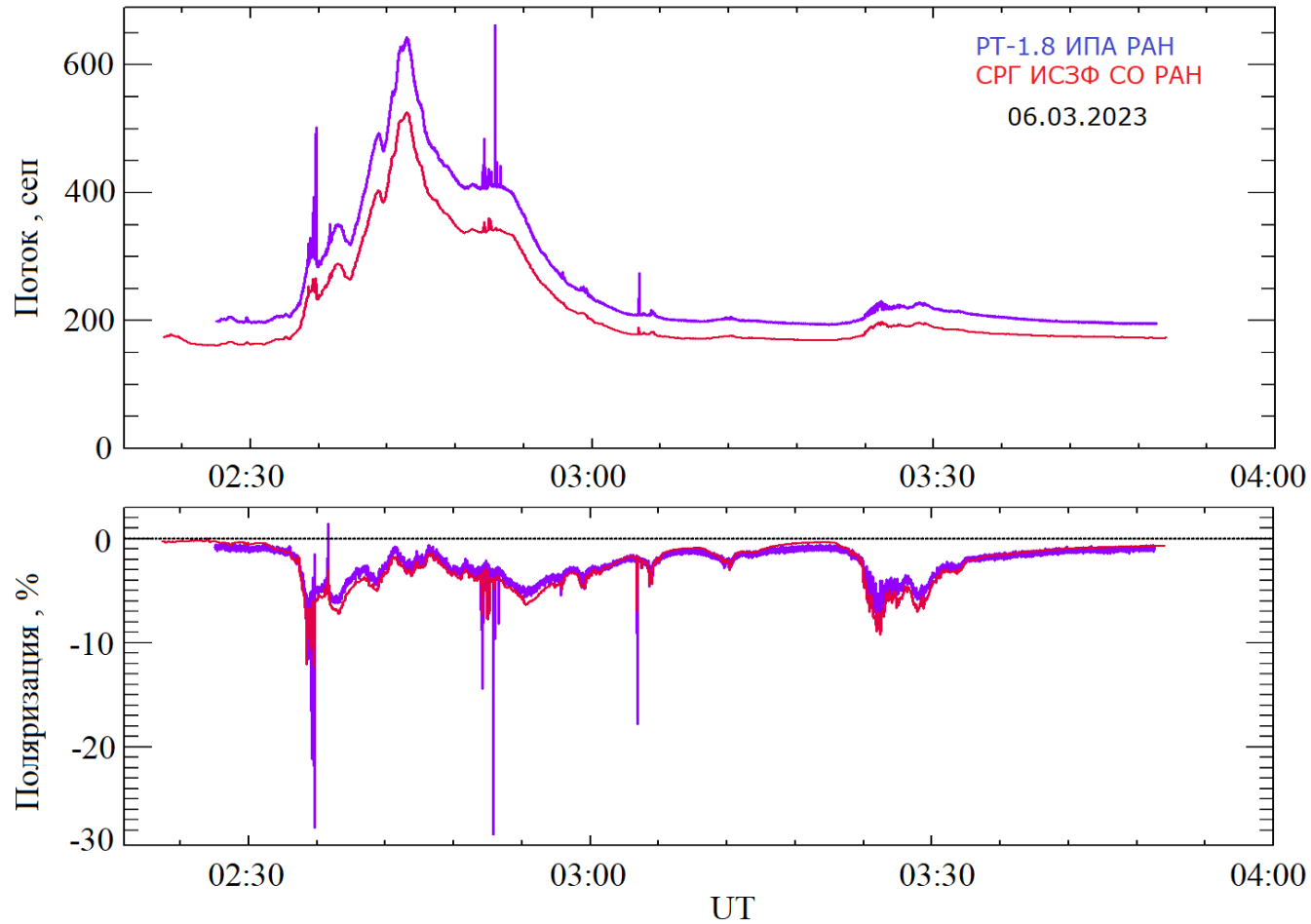


Хорошая корреляция $R= 0.946$, несмотря на разницу во времени наблюдений ~ 5 ч

Радиовсплеск 06.03.2023, связанный со вспышкой класса М



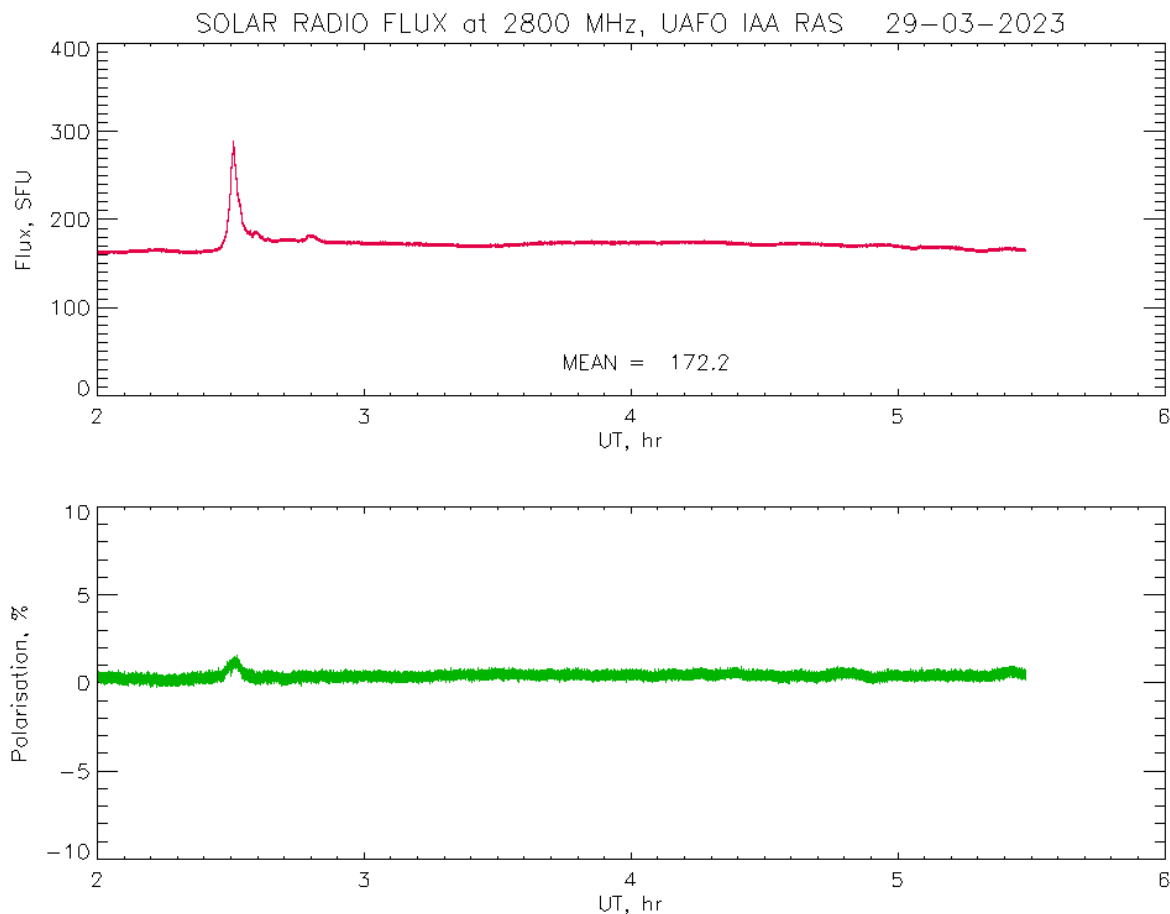
Представлены измерения РТ-1.8 (фиолетовая линия) и Сибирского радиогелиографа (СРГ) ИСЗФ СО РАН (красная линия) (<ftp://ftp.rao.istp.ac.ru/SRH/corrPlot/>)



Различия связаны с разной калибровкой радиопотока и разным временным разрешением РТ-1.8 (0.1 с) и СРГ (3.2 с).

С марта 2023 г. результаты наблюдений РТ-1.8 публикуются на сайте ИПА РАН <https://iaaras.ru/observations/uaf0/> в графическом виде и в виде файлов формата FITS

Пример графика с сайта ИПА РАН (29.03.2023 г.)



1. Радиотелескоп позволяет измерять интенсивность и степень поляризации солнечного радиоизлучения с временным разрешением 0.1 с и чувствительностью 0.9 К или 0.2 sfu по интенсивности и 0.1 % по степени поляризации.
2. С января 2023 года в Уссурийской астрофизической обсерватории на РТ-1.8 проводятся ежедневные наблюдения солнечного потока.
3. Результаты наблюдений интегрального потока Солнца на частоте 2,8 ГГц на РТ-1.8 показывают высокую корреляцию ($R=0.946$) с эталонными результатами станции Penticton (Канада).
4. Зарегистрированы радиовсплески, связанные со вспышками на Солнце. Характер радиовсплесков соответствует данным других обсерваторий.
5. Установка солнечных радиотелескопов в разнесенных по долготе обсерваториях позволит осуществлять непрерывный мониторинг солнечной активности.

И-ИИ

Спасибо за внимание!