

# Развитие матричного направления в радиометрии на РАТАН-600

*Берлин А.Б.<sup>1</sup>, Нижельский Н.А.<sup>2</sup>, Парийский Ю.Н.<sup>2</sup>,  
Мингалиев М.Г.<sup>2</sup>, Цыбулев П.Г.<sup>2</sup>, Кратов Д.В.<sup>2</sup>,  
Удовицкий Р.Ю.<sup>2</sup>, Смирнов В.В.<sup>3</sup>, А.М.Пилипенко<sup>4</sup>.*

*1 Санкт-Петербургский филиал САО РАН, Санкт-Петербург*

*2 Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п. Нижний Архыз*

*3 НПО «Феррит-Домен», Санкт-Петербург*

*3 ОАО НПП «Сатурн», Киев, Украина*

# От единичных радиометров – к матрицам

Первые эксперименты – конец 80-х  
Активная фаза – обеспечение программы  
«Космологический Ген» - проект «МАРС»

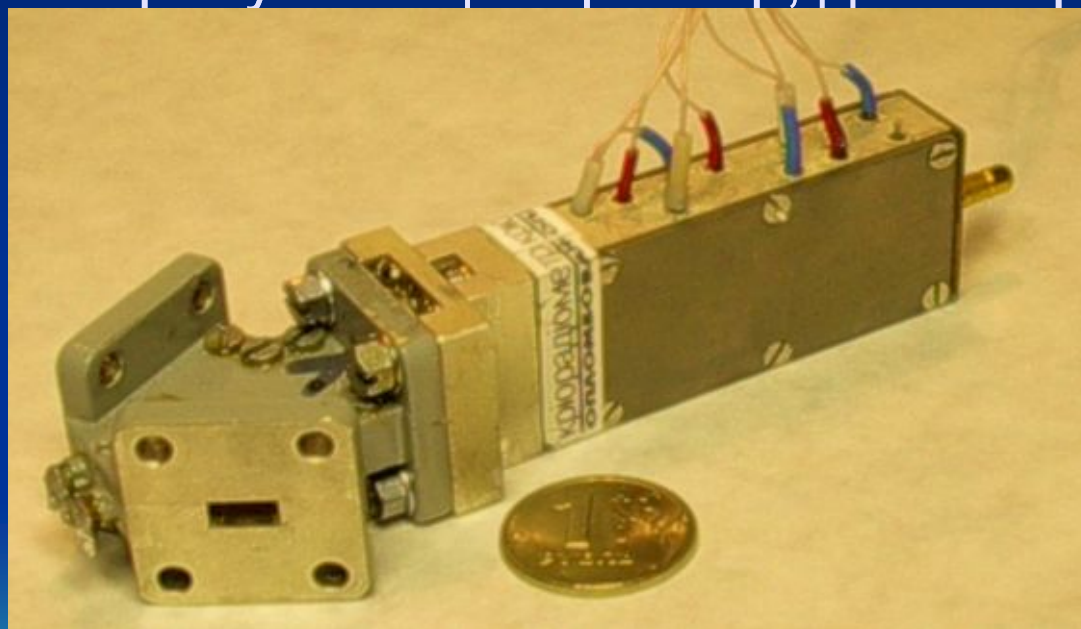
## Этапы «МАРС-1» - «МАРС-2»- «МАРС-3»

- «МАРС-1» (2001) - 1 радиометрический модуль, исследованный в схемах «Total power», радиометра с добавлением шумов (РДШ), модуляционной (МОД)
- «МАРС-2»(2003) - круглосуточно работающая более 5 лет 3-канальная система (МОД) с параметрами:
  - Центральная частота 30 ГГц
  - Полоса приема 4 ГГц
  - $T_{\text{сис}} = 240 - 250\text{K}$  ( 6 -7мК/с<sup>1/2</sup> каждый канал)
- «МАРС-3»(2006-8) - 16-канальная (32 входа)система (МОД) с полосами 5 ГГц, расчетная  $T_{\text{сис}} = 230 - 240\text{K}$ , 5 мК/с<sup>1/2</sup>

## Основа матричных систем

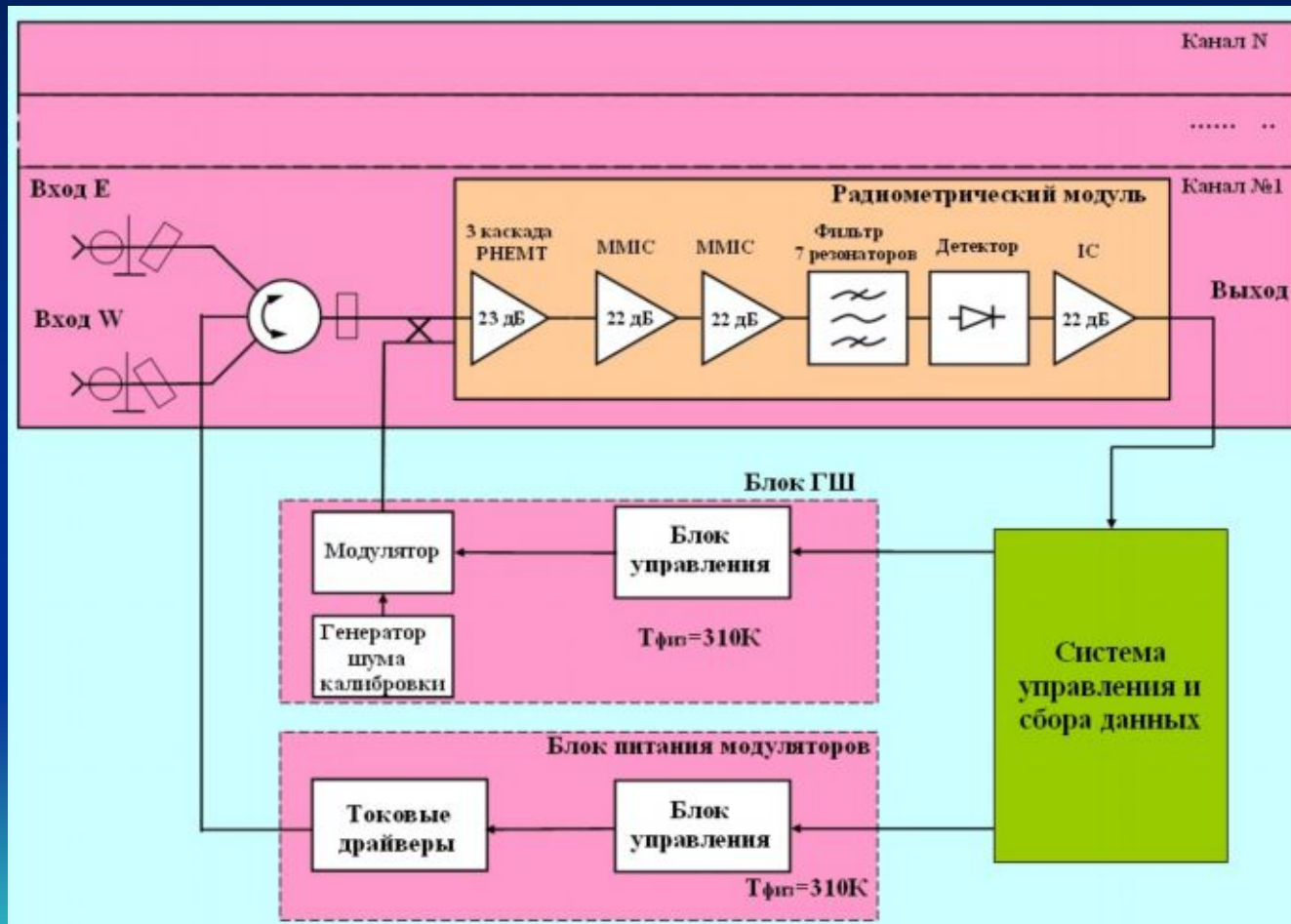
### «МАРС-1» - «МАРС-2» – «МАРС-3»-

радиометрический модуль, включающий в себя все элементы классического радиометра: входной МШУ, выходные усилители, развязывающие устройства, полосно-пропускающий фильтр, детектор, ПУНЧ



- Радиометрический модуль «МАРС-2» с широкополосным (4 ГГц) ферритовым быстродействующим модулятором

# Структурная схема 3-канальной матричной радиометрической системы «МАРС-2»

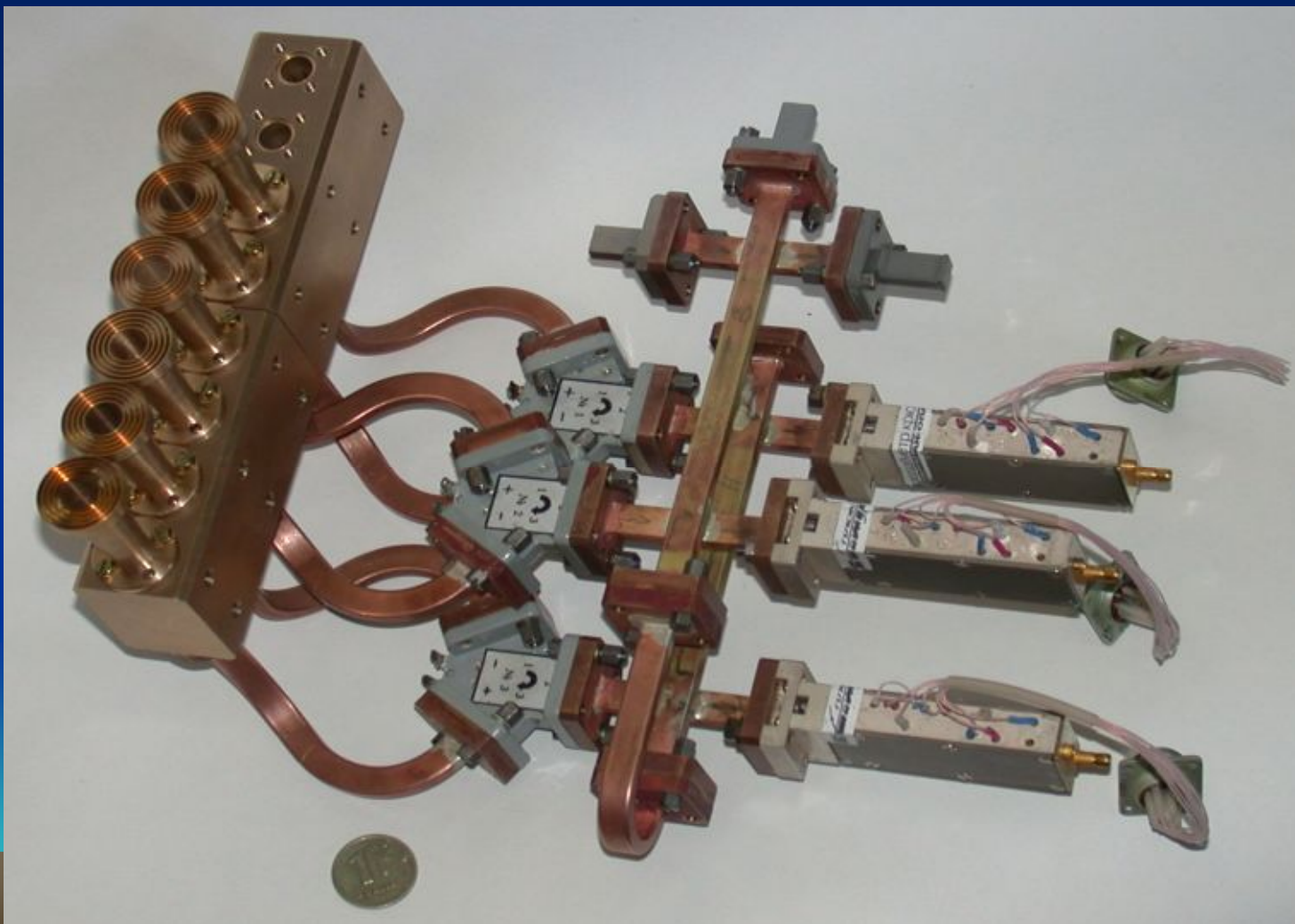


# Фокальная линия вторичного зеркала №1 РАТАН-600 с первичными облучателями

Слева – трехканальная матричная система «МАРС-2», справа –  
трехчастотный облучатель с совмещенными фазовыми центрами  
на волны 13-31-49 см



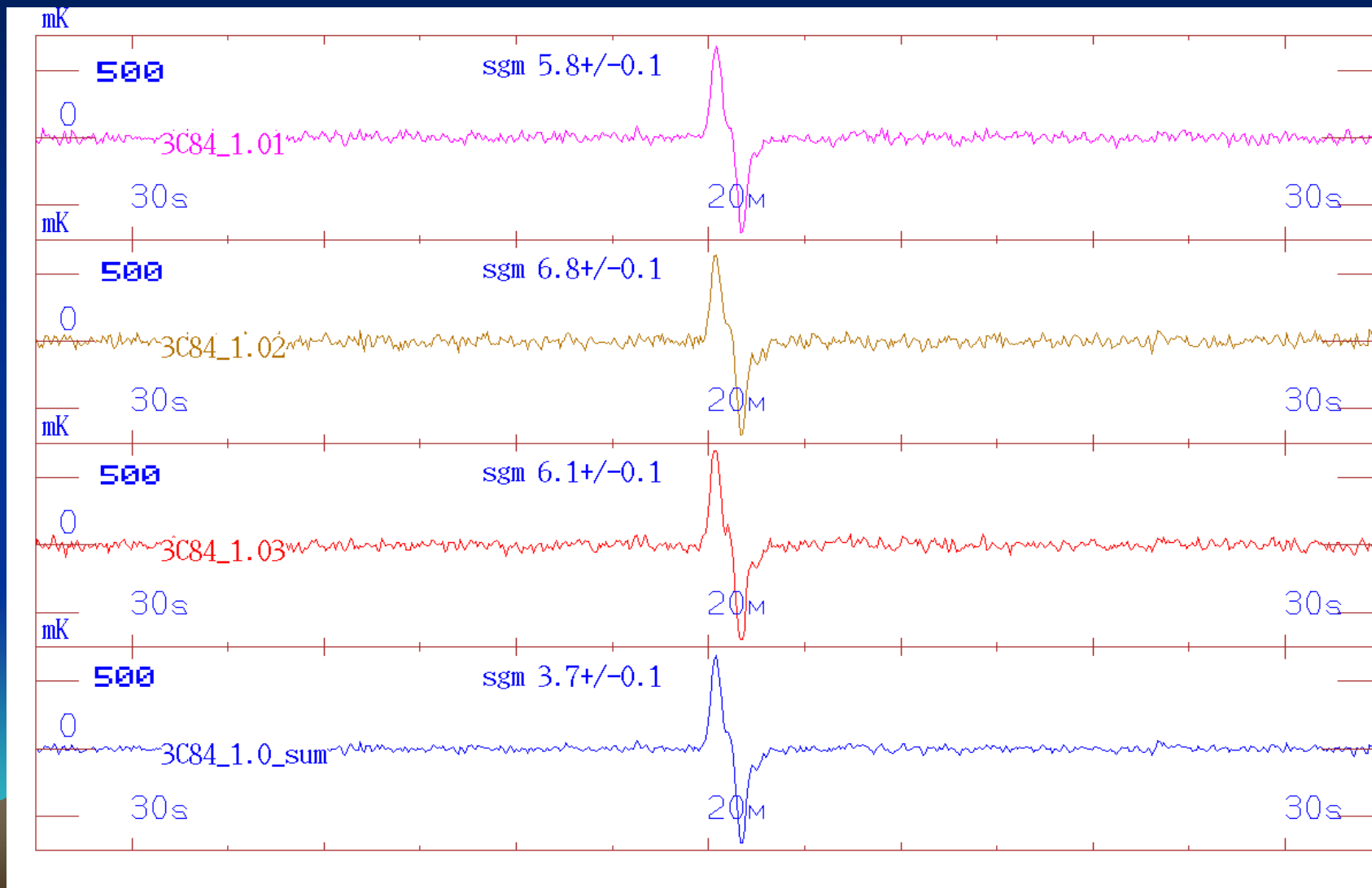
# СВЧ часть трехканальной матричной системы «МАРС-2», работающей на РАТАН-600 более 5 лет



В 2004 году в системе «МАРС-2» подверглась реконструкции входная часть (добавлена возможность смены положений анализаторов линейной поляризации на  $\pm 45^\circ$ )

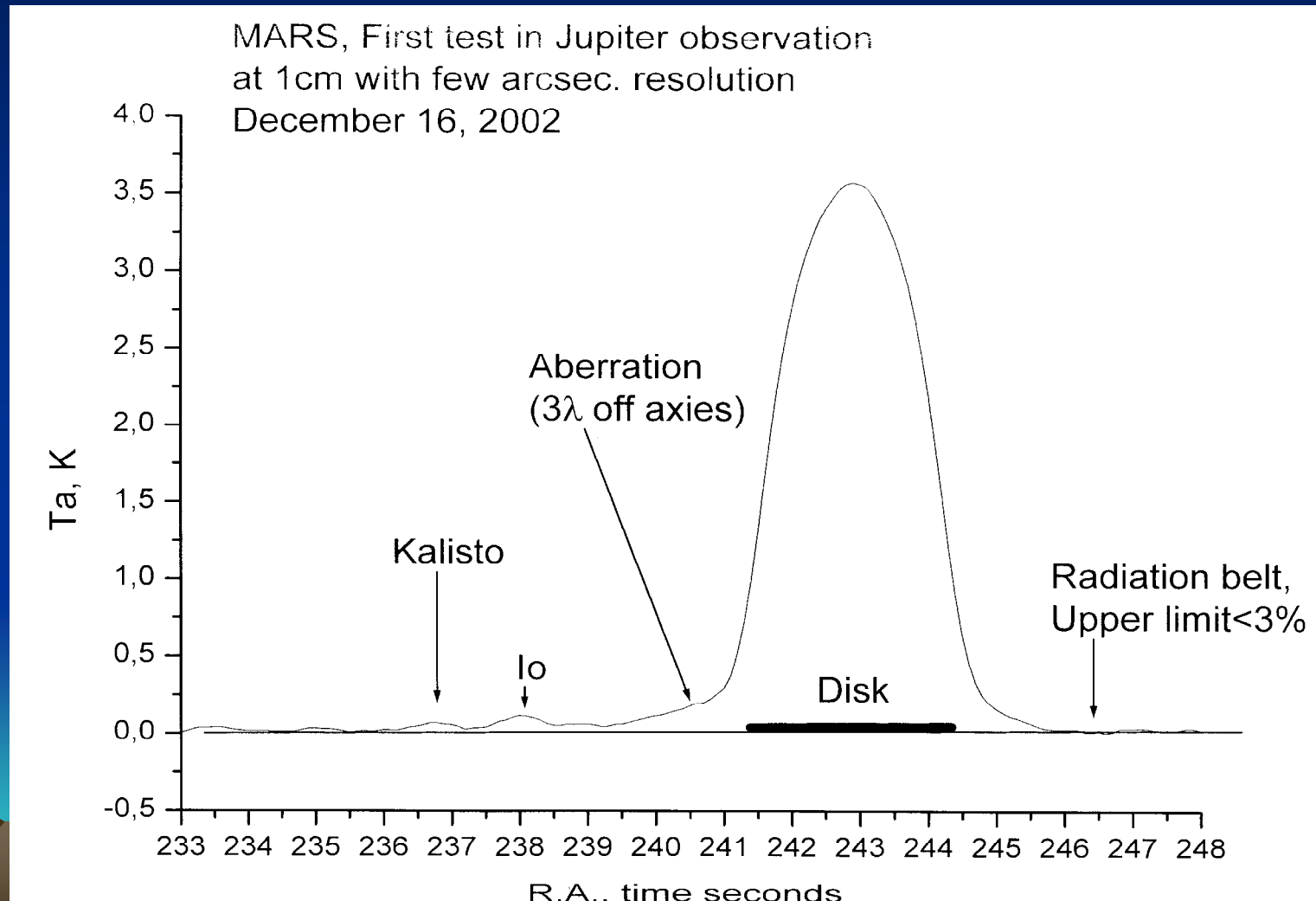


# Суммирование 3 каналов приводит к чувствительности, лучшей, чем на одиночном криогенном радиометре близкого диапазона

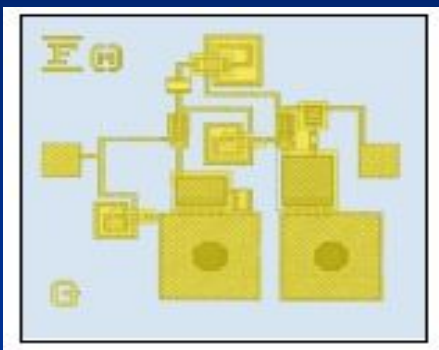




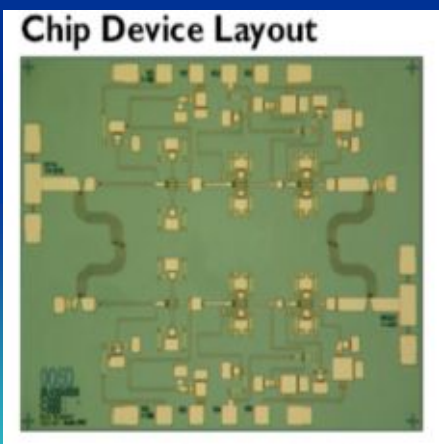
# Исследование радиационных поясов Юпитера с высоким разрешением на РАТАН-600



## Новая элементная база приемного модуля «МАРС-3»



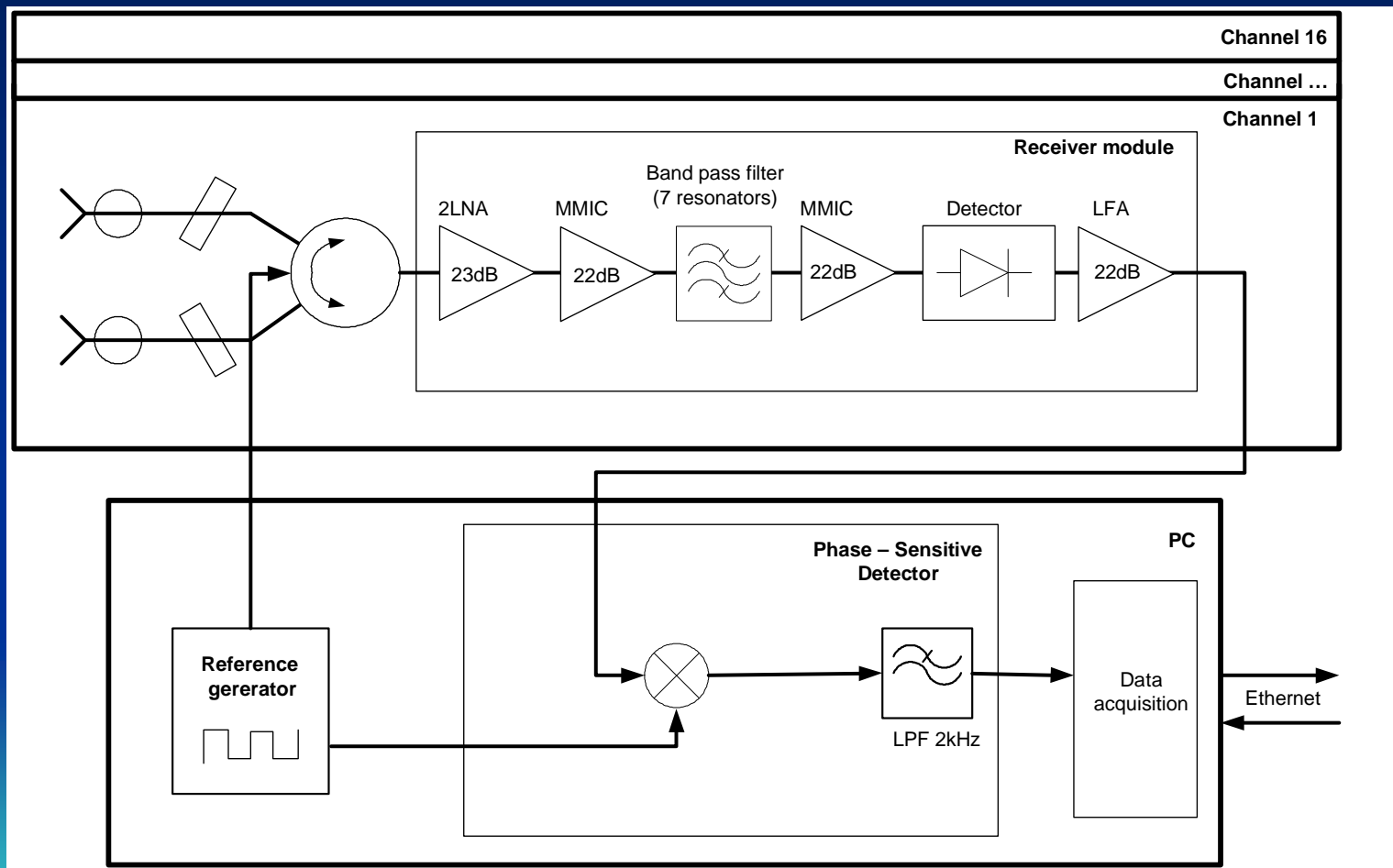
1. Вместо гибридного входного малошумящего усилителя (3 каскада РНЕМТ) применена готовая монокристаллическая микросхема (FMM5702X ф. Fujitsu) с шумами (120-130 К) ниже, чем у гибридной схемы.



2. В выходных каскадах установлены монолиты класса "безусловно стабильные", с однополярным питанием (+6V), меньшими шумами (230 К) и значительно сниженным против использованных в «МАРС-2» тепловыделением (6V 120 mA).

(XL1002 Mimix Broadband Inc., US, G=23 dB)

# Структурная схема 16-канальной матричной радиометрической системы «МАРС-3»

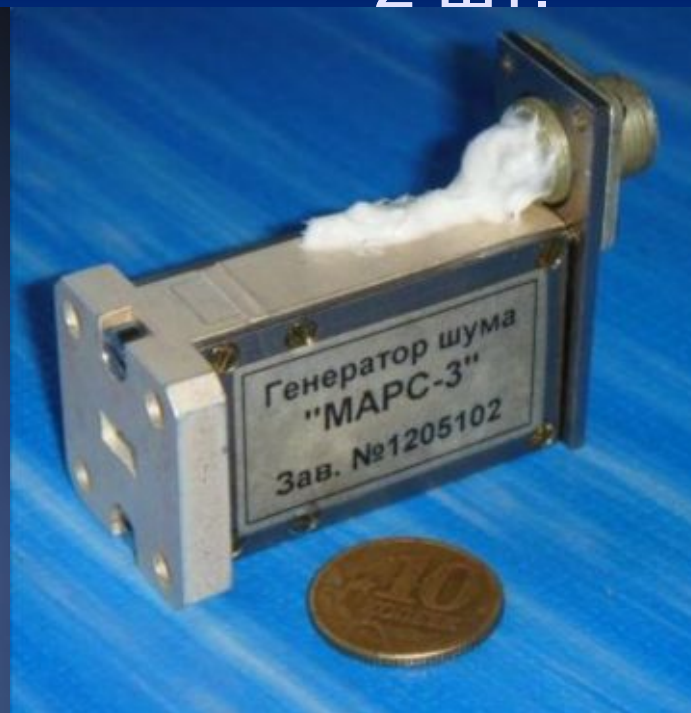


Радиометрический модуль МАРС-3 с широкополосным (5 ГГц) модулятором (слева) и модуль генератора шума (справа)

20 шт.

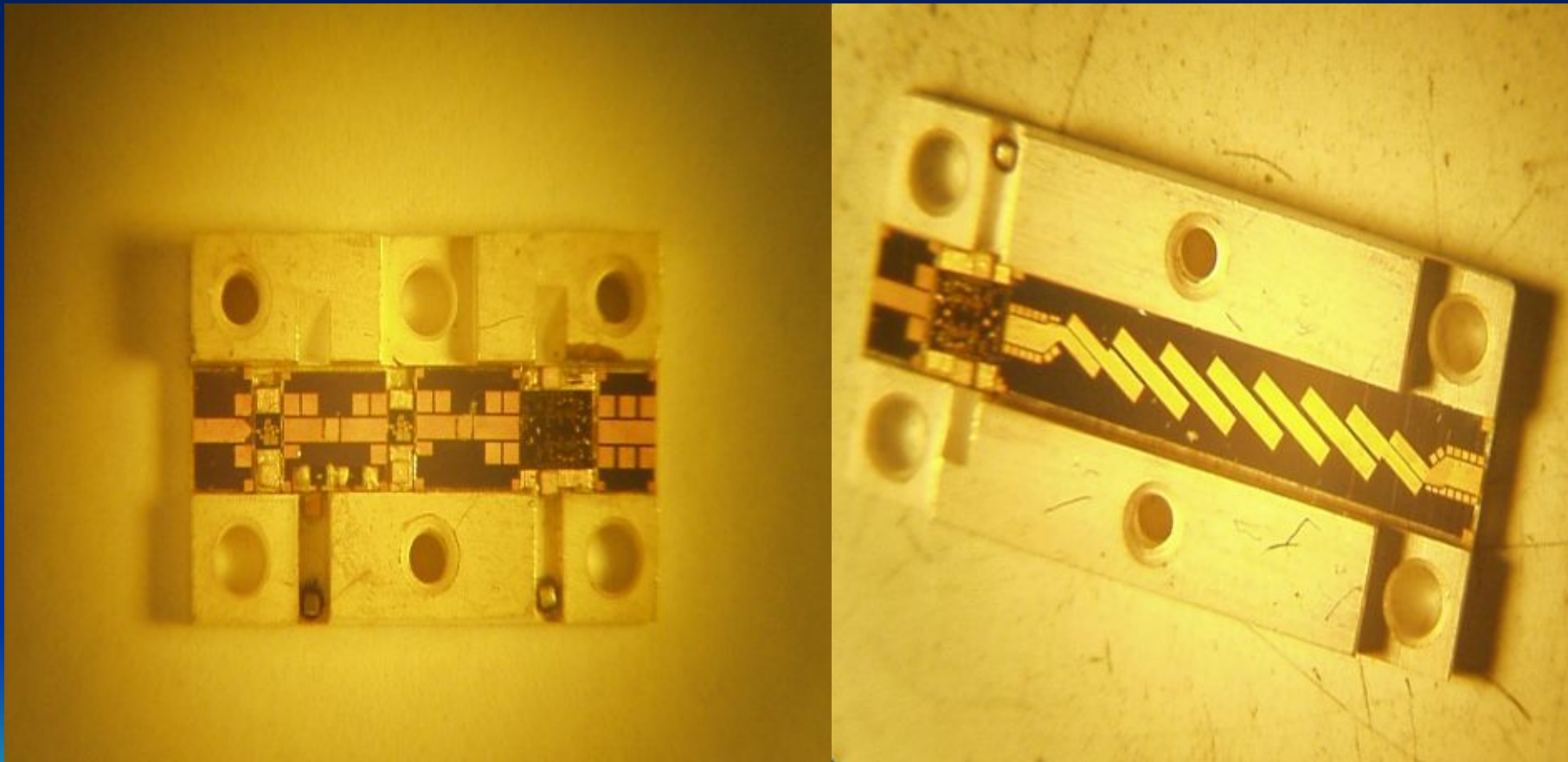


2 шт.



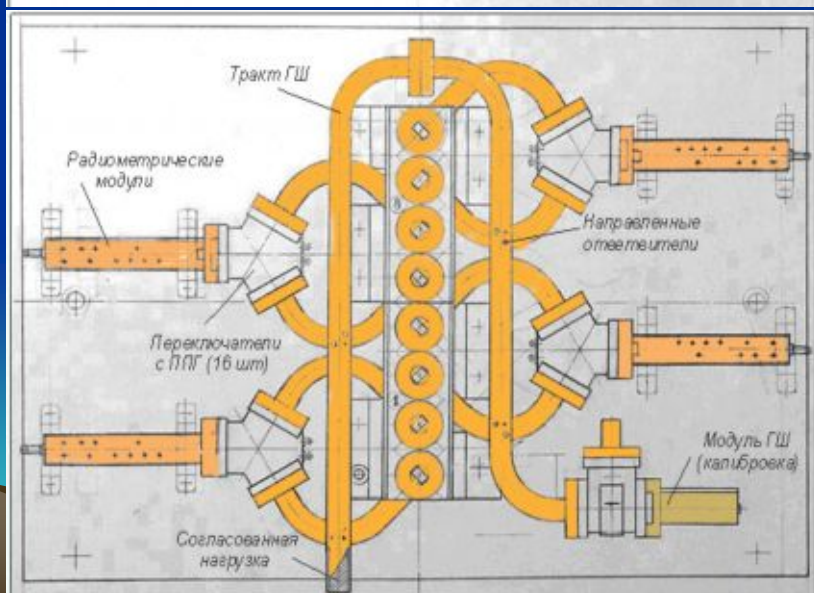
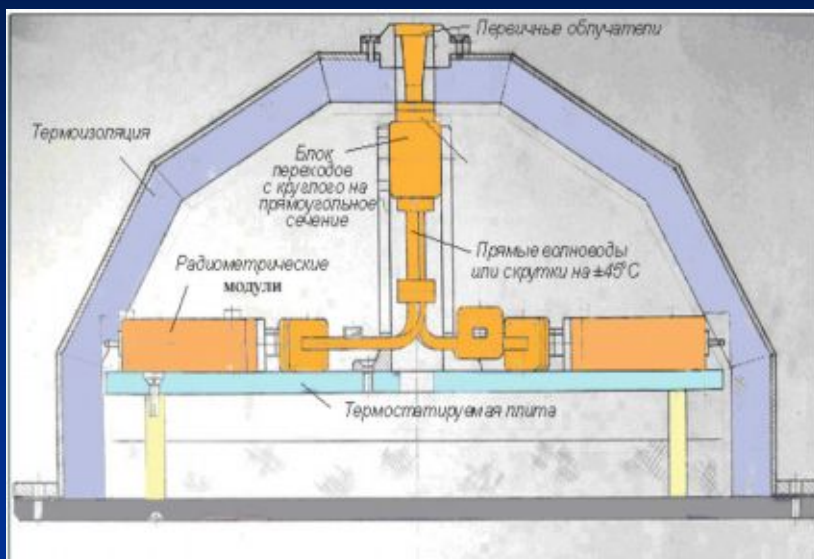
- Шумовая температура модулей 160-180 К в полосе частот 5 ГГц

# Входные усилители и полосно-пропускающий фильтр (7 резонаторов)



# «МАРС-3»

## Эскиз СВЧ блока



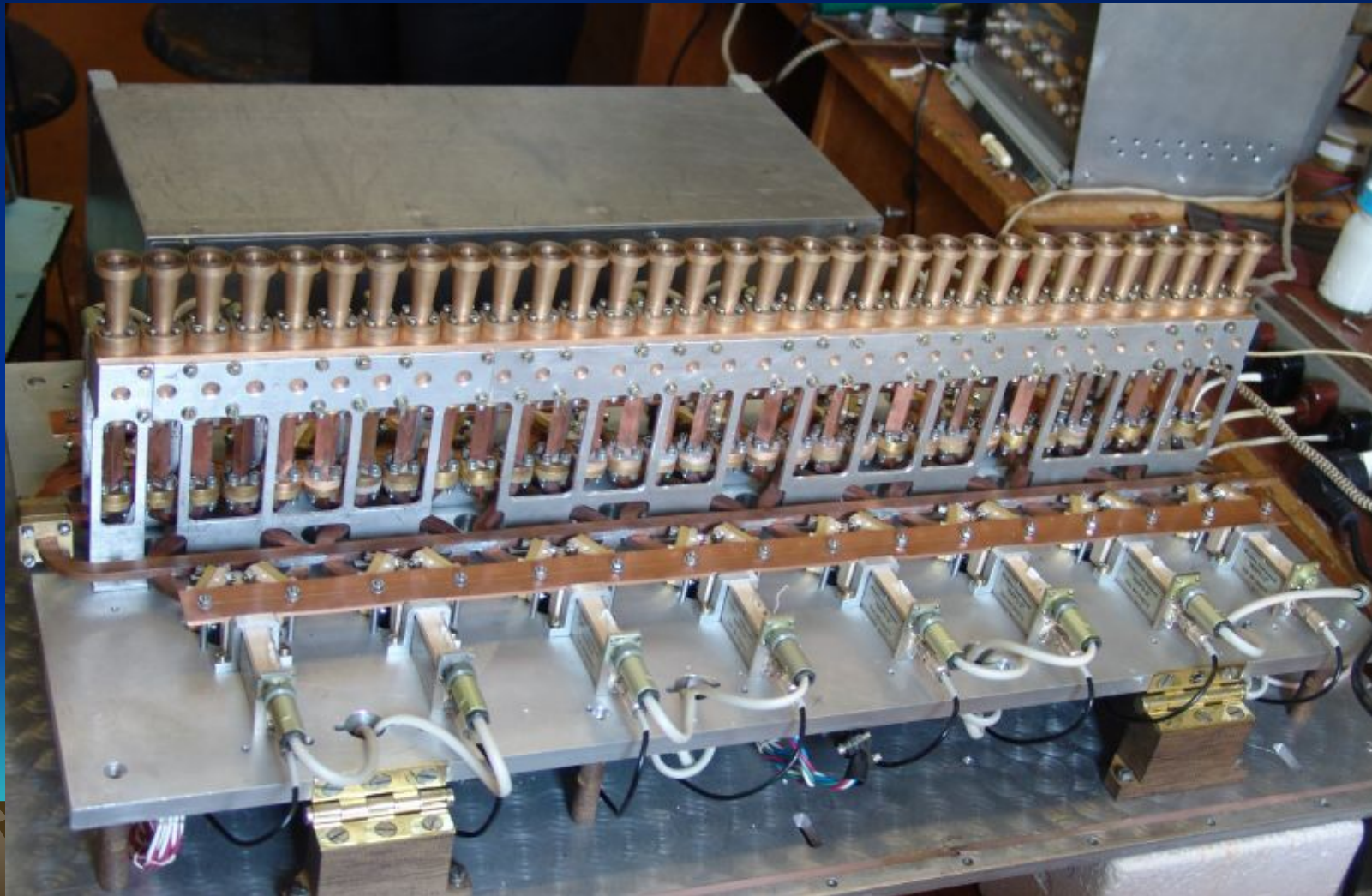
- Входная часть:
- Первичные облучатели
- переходы с возможностью вращения на  $\pm 45^\circ$
- волноводы или скрутки  $\pm 45^\circ$
- повороты с ответвителями для калибровки
- модуляторы (16 шт.)

Радиометрические модули  
(16 шт.)

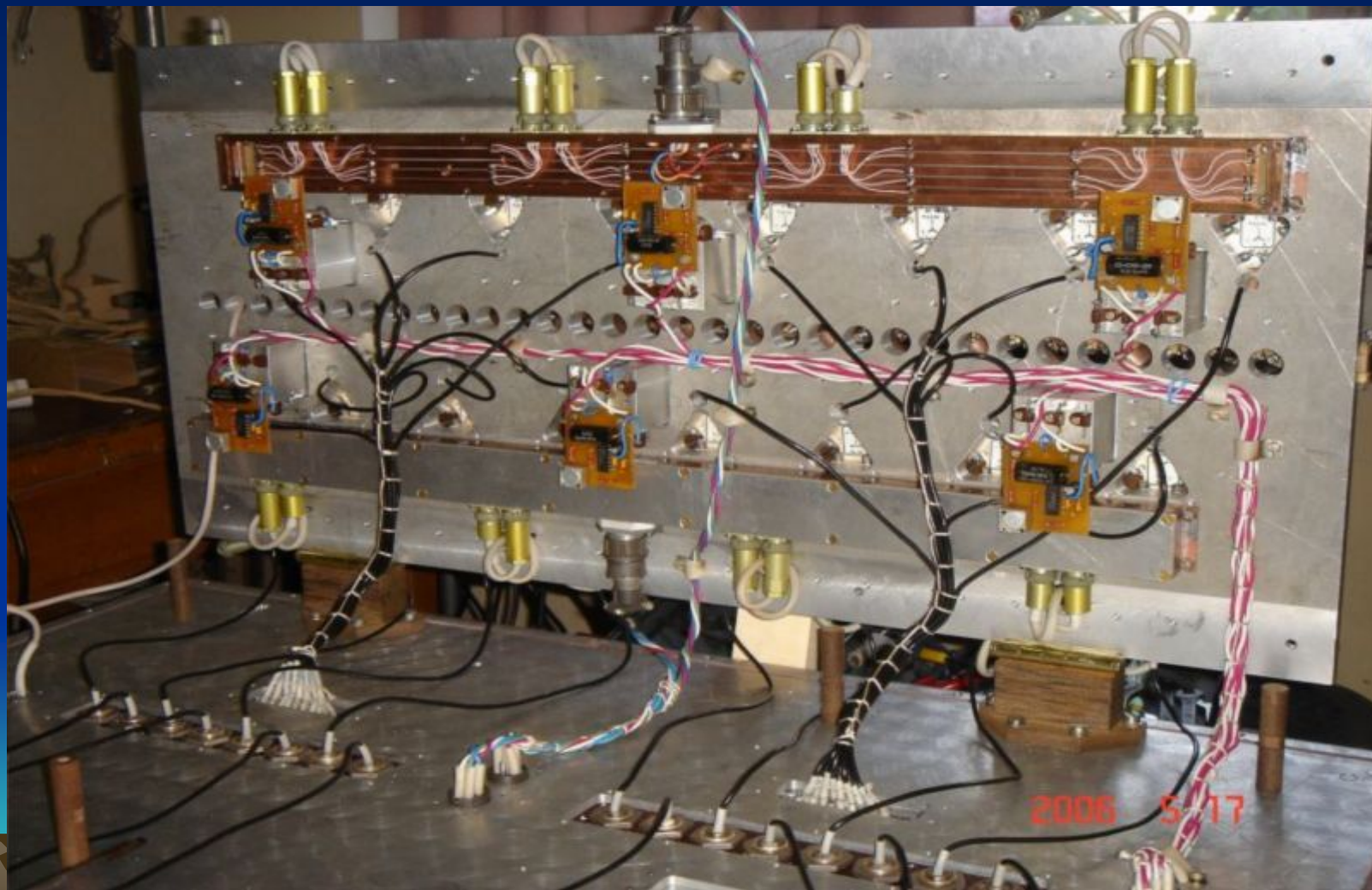
на новой элементной базе

# СВЧ часть системы «МАРС-3»

Входные тракты, модуляторы и приемные модули смонтированы на общей термостатируемой плите.



На нижней стороне монтажной платы установлены линейки питания модулей и термостаты





# Использование промышленных первичных источников питания

(«Микроакустика», Екатеринбург, 12 блоков),  
удовлетворяющих «радиометрическим» требованиям  
(нестабильность напряжения, дрейф, пульсации,  
наработка на отказ и т.п.)



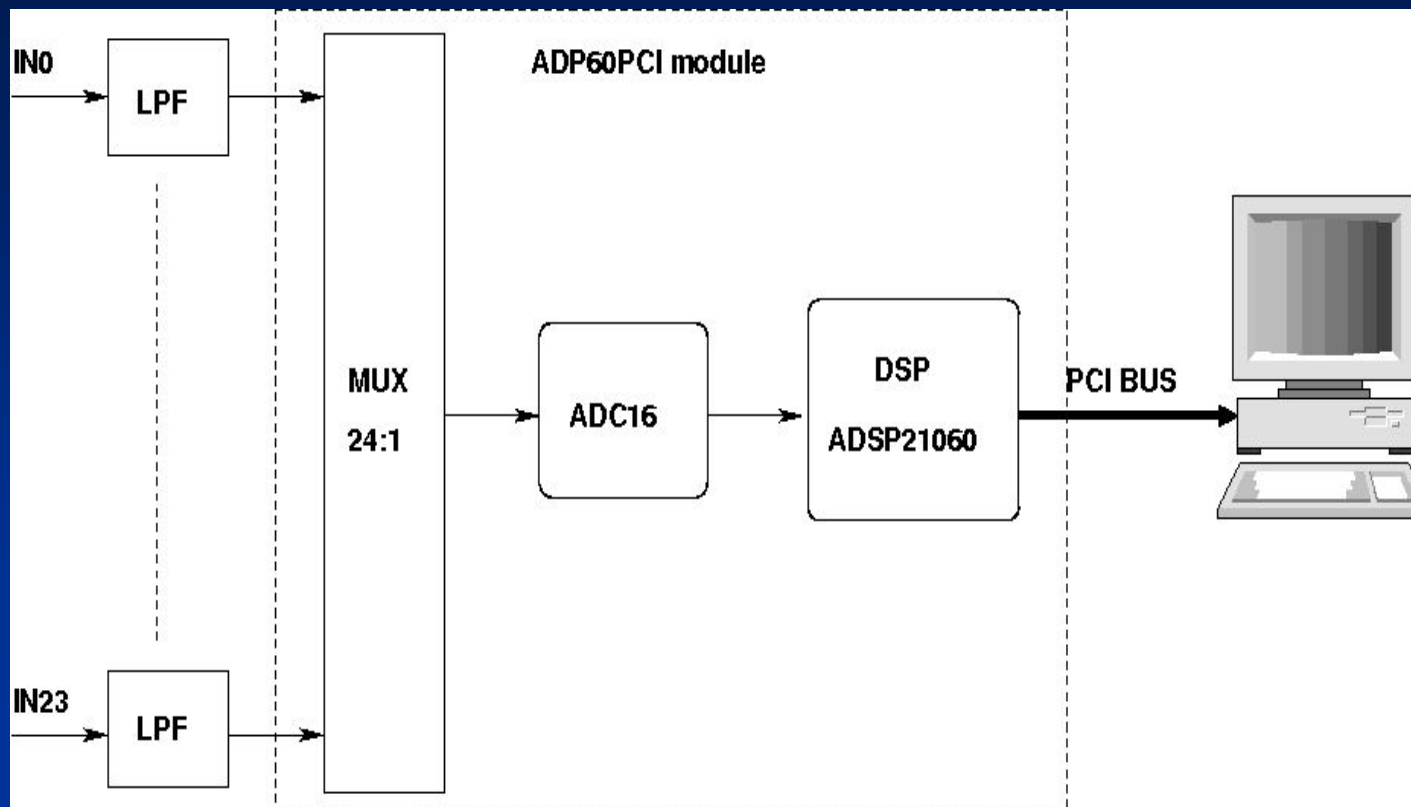
В ноябре 2006 года система МАРС-3 была установлена для тестовых измерений и пробных наблюдений на специализированном зеркале №5 РАТАН-600, имеющем большую безаберрационную зону



# Внутренний вид кабины облучателя тип 5 с системой МАРС-3



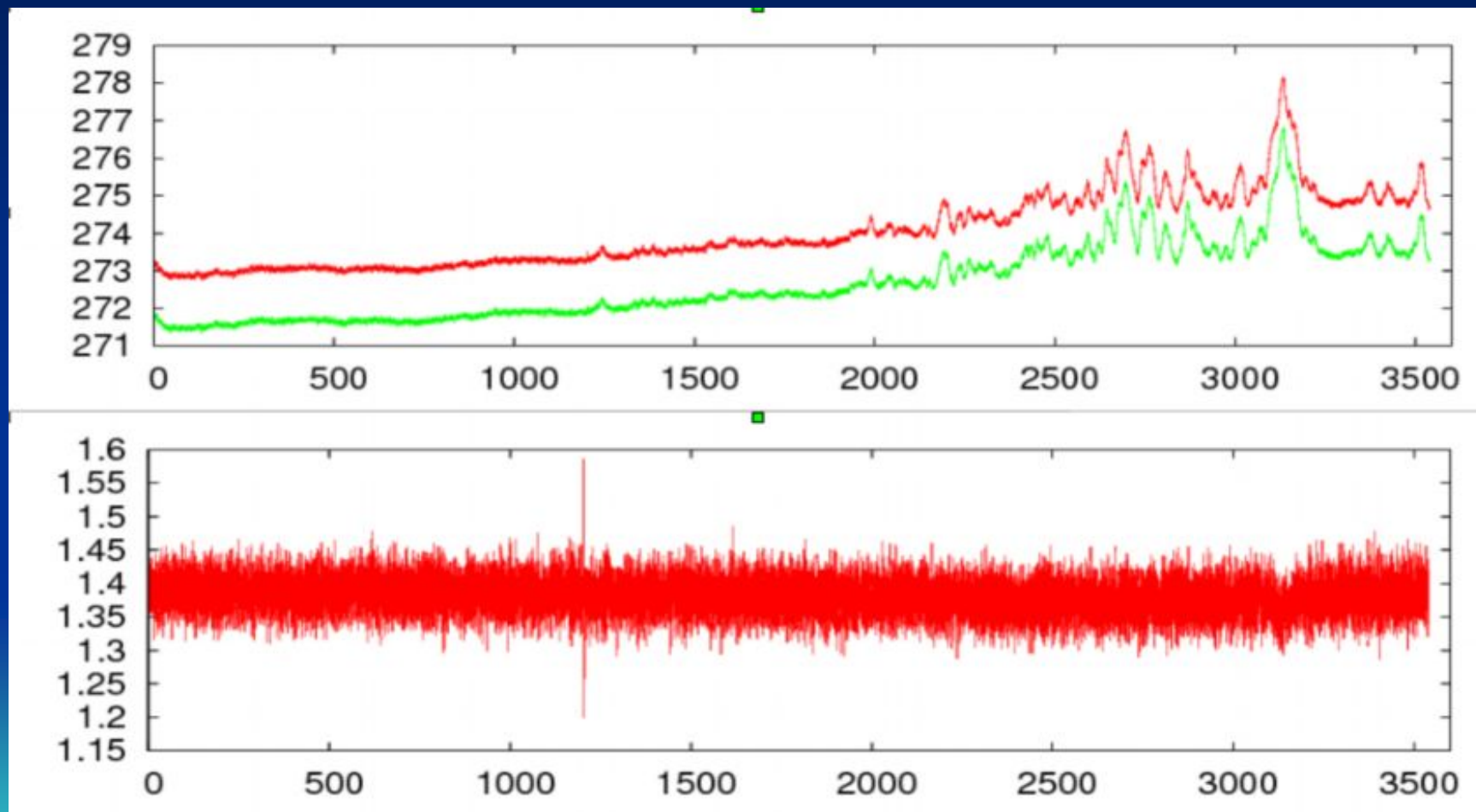
## Система сбора данных и управления радиометрическим комплексом облучателя №5



### Возможности:

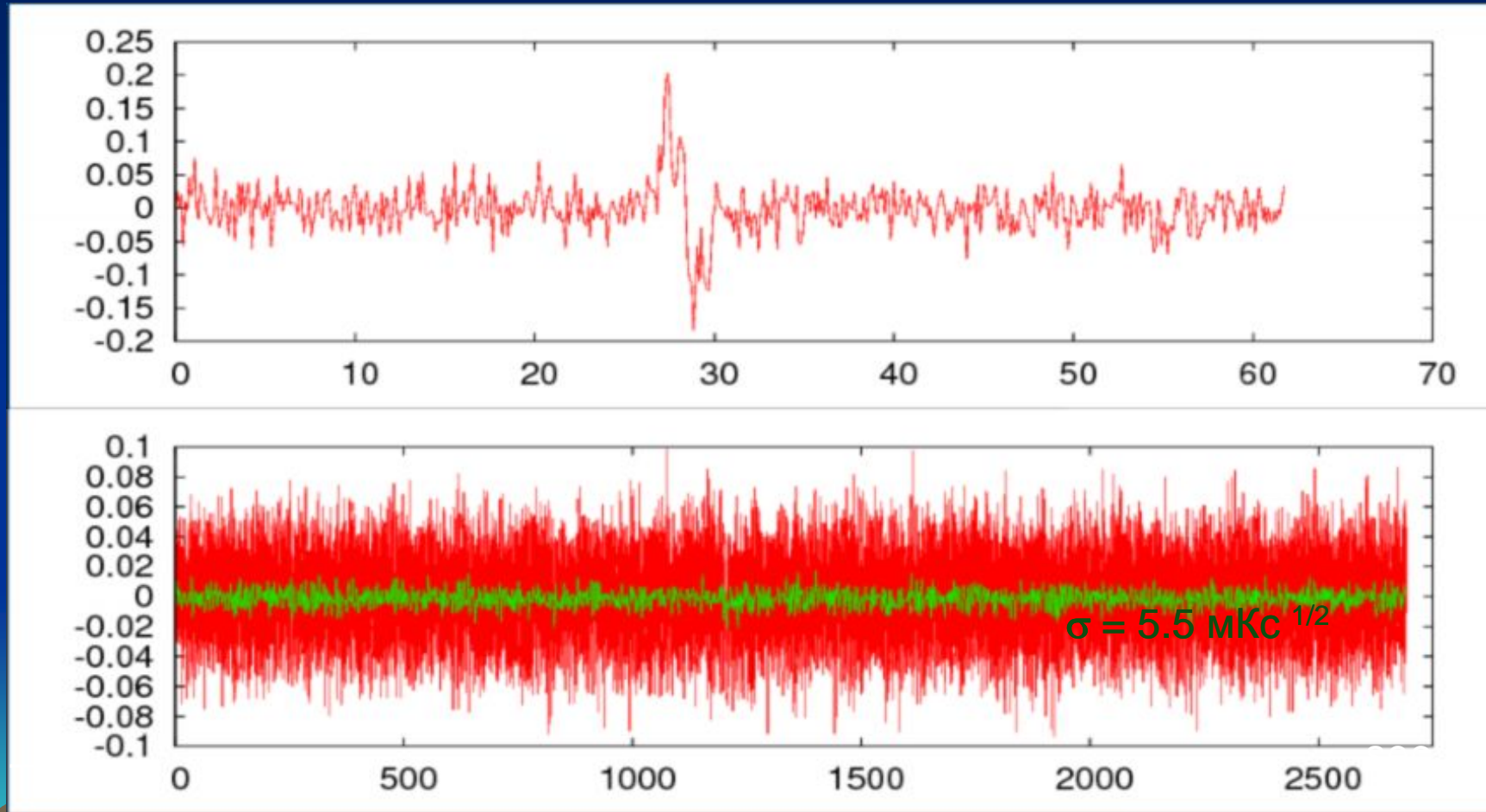
- Режим Total Power – входные переключатели (модуляторы) радиометров остановлены в заданном положении
- Режим 2-х каналов половинной мощности («Half Power») для каждого радиометра, когда регистрируются одновременно сигналы каждого полупериода модуляции
- Синхронное детектирование в пост-обработке путем вычитания сигналов полупериодов для каждого радиометра.

Пример часовой записи на одном из 16 радиометров  
МАРС-3 с источником ЗС84  
20.09.08 Северный сектор РАТАН-600  
Внизу – разность двух полупериодов (входов)



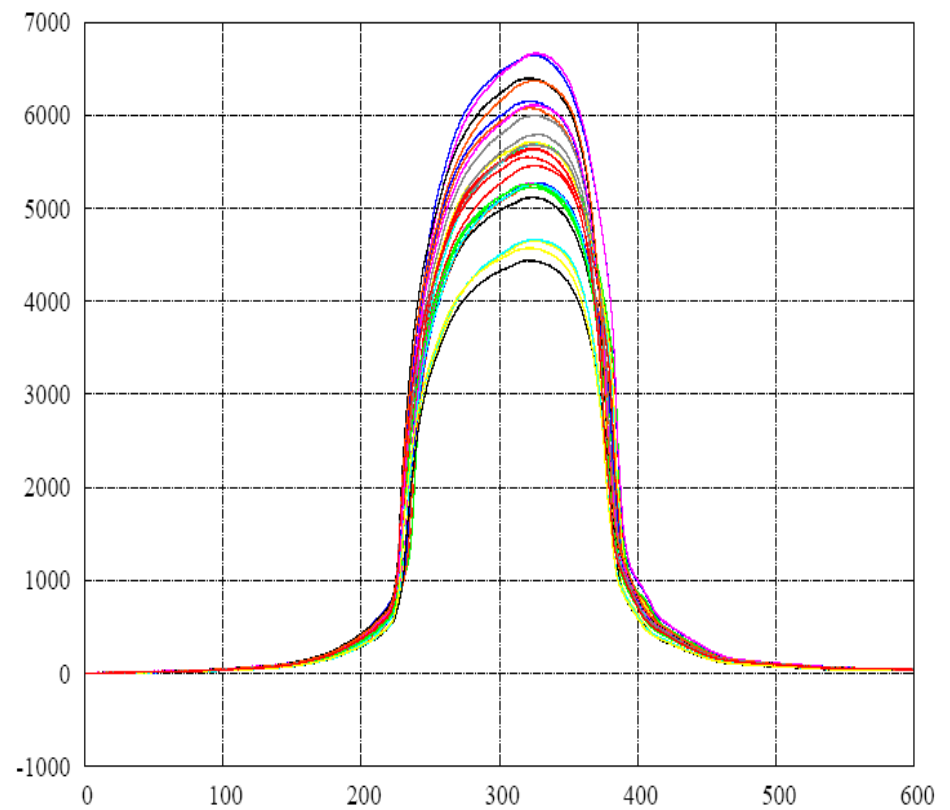
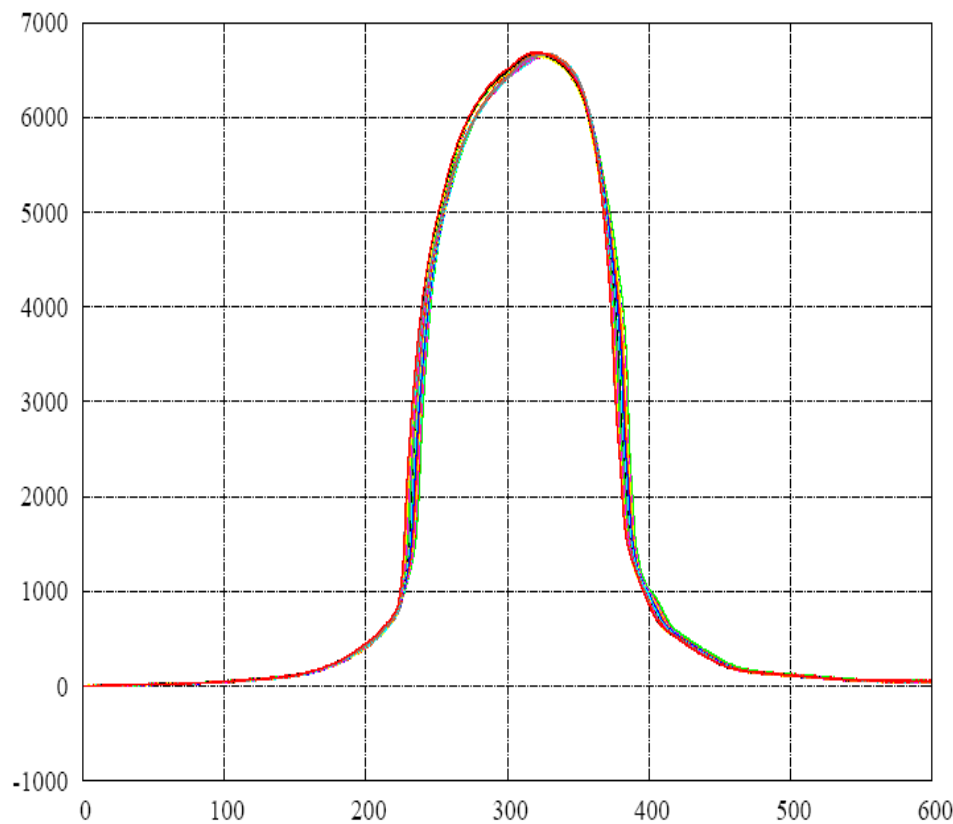
# Фрагмент этой же записи с выделением радиоисточника ЗС84

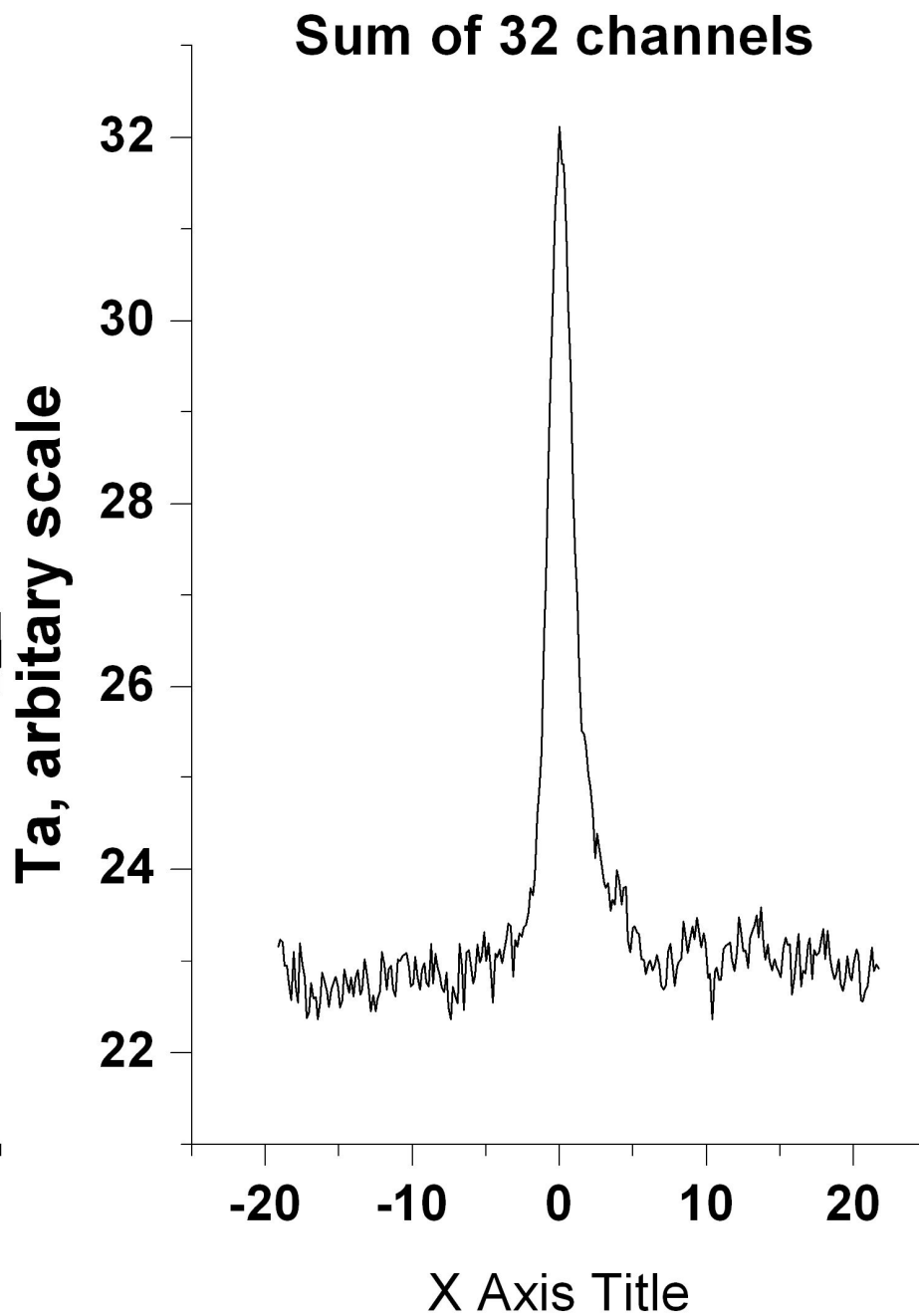
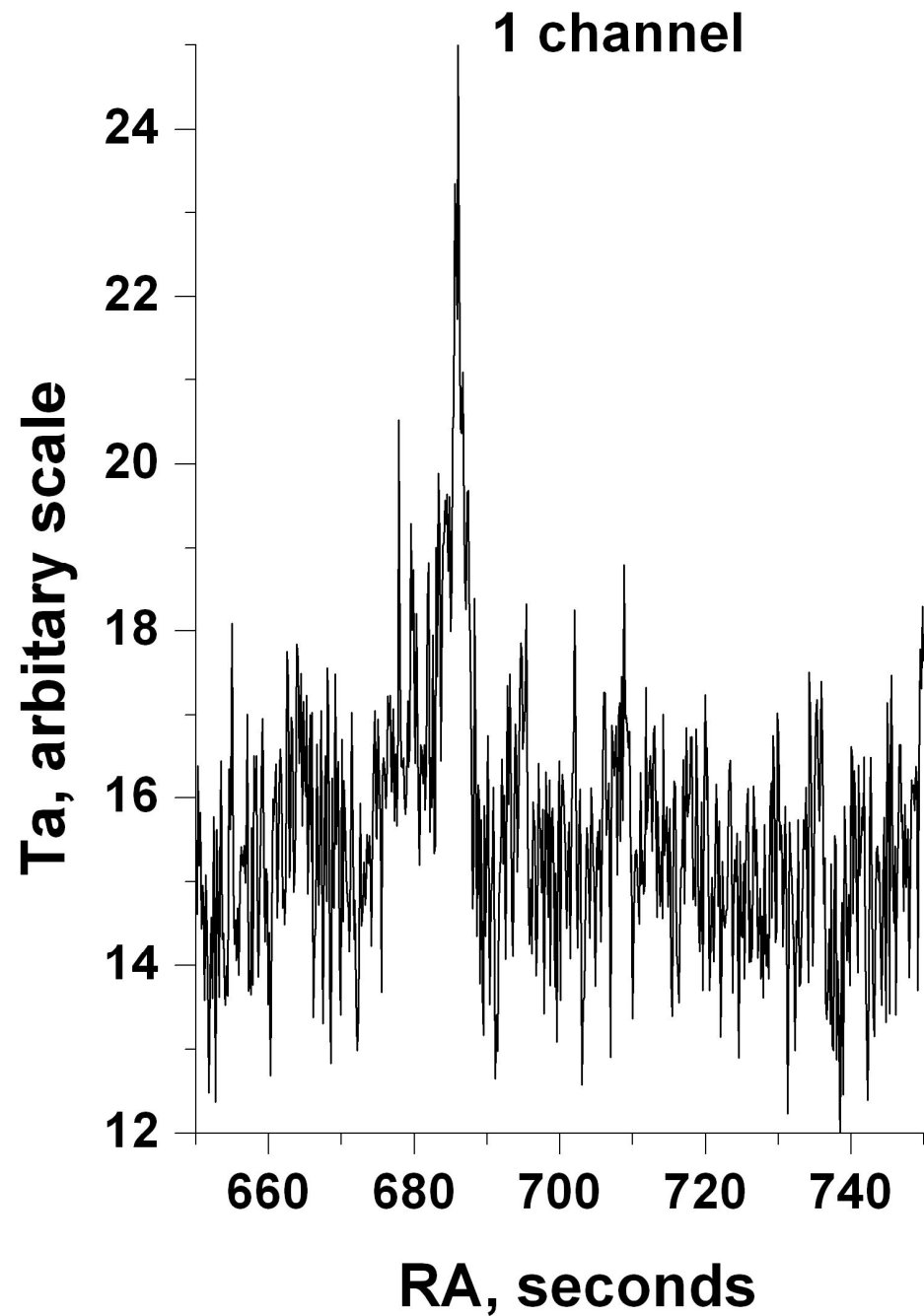
Внизу – реальная запись с частотой оцифровки 10 Гц и  
приведением к постоянной времени 1 сек ( $\sigma = 5.5 \text{ мКс}^{1/2}$ )



Time, sec

# Асимметрия каналов МАРС-3, обусловленная разбросом усиления радиометрических модулей (Луна)







# Возможность охлаждения и тиражирования

- Использованные нами модули с малым энерговыделением в принципе допускают охлаждение вплоть до криогенных температур. Однако быстрый прогресс шумовых и эксплуатационных параметров монолитных модульных микросхем позволяет надеяться на дальнейшее увеличение чувствительности таких систем и без охлаждения.
- Новые технологии изготовления и относительная дешевизна по сравнению с «классическими» радиометрическими устройствами дают возможности тиражирования матричных систем с числом элементов до сотен и более.



# Другие схемы построения

- Использование разделителей линейных поляризаций (РЛП) и сменных секций для измерения линейных и круговых поляризаций
- Применение одноканальной или двухканальной модуляционной схем (2 или 4 усилительных модуля на каждую поляризацию и т.д.)

*А.Б.Берлин. Матричная Радиометрическая система (МАРС). Что дальше?*

*Обзор вариантов технических предложений для следующего шага (МАРС-3)*

*Отчет САО №292, 2002 г.*



# Выводы:

- 1. Использование новых технологий и высокого уровня интеграции показало рентабельность построения матричных систем в фокальной плоскости РАТАН-600, который допускает увеличение числа элементов до 100 и более.
- 2. Матрица МАРС-3 явилась первой крупной матрицей на РАТАН-600 и превосходит по числу волноводных входов ряд зарубежных аналогов в микроволновом диапазоне.
- 3. С началом регулярных наблюдений по программе «Космологический Ген» за время, сопоставимое с проектами типа COBE, WMAP, PLANCK в сочетании с высоким угловым разрешением планируется получить новые результаты, недоступные перечисленным проектам.

**СПАСИБО**  
*за внимание!*

