

Спектральный комплекс диапазона 400 МГц РТ-22 ФИАН

Г.Т.Смирнов, И.А. Алексеев, В.И. Касеко, С.В. Логвиненко

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

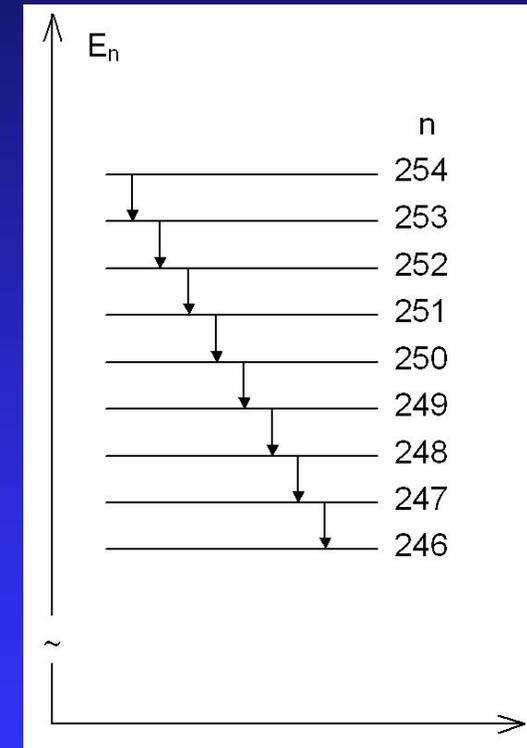
Назначение

- Спектральный комплекс диапазона 400 МГц предназначен для исследования галактических космических лучей (КЛ).
- Протонная составляющая КЛ низких энергий (1-10 МэВ) должна приводить к частичной ионизации водорода в холодных облаках МЗС и при последующей рекомбинации на возбужденные уровни - к излучению рекомбинационных радиолиний.
- Ожидаемая интенсивность линий в дециметровом диапазоне $\tau \sim 3 \cdot 10^{-4}$. Для регистрации таких линий требуется повысить чувствительность существующих комплексов примерно на порядок.

Повышение эффективности спектральных наблюдений

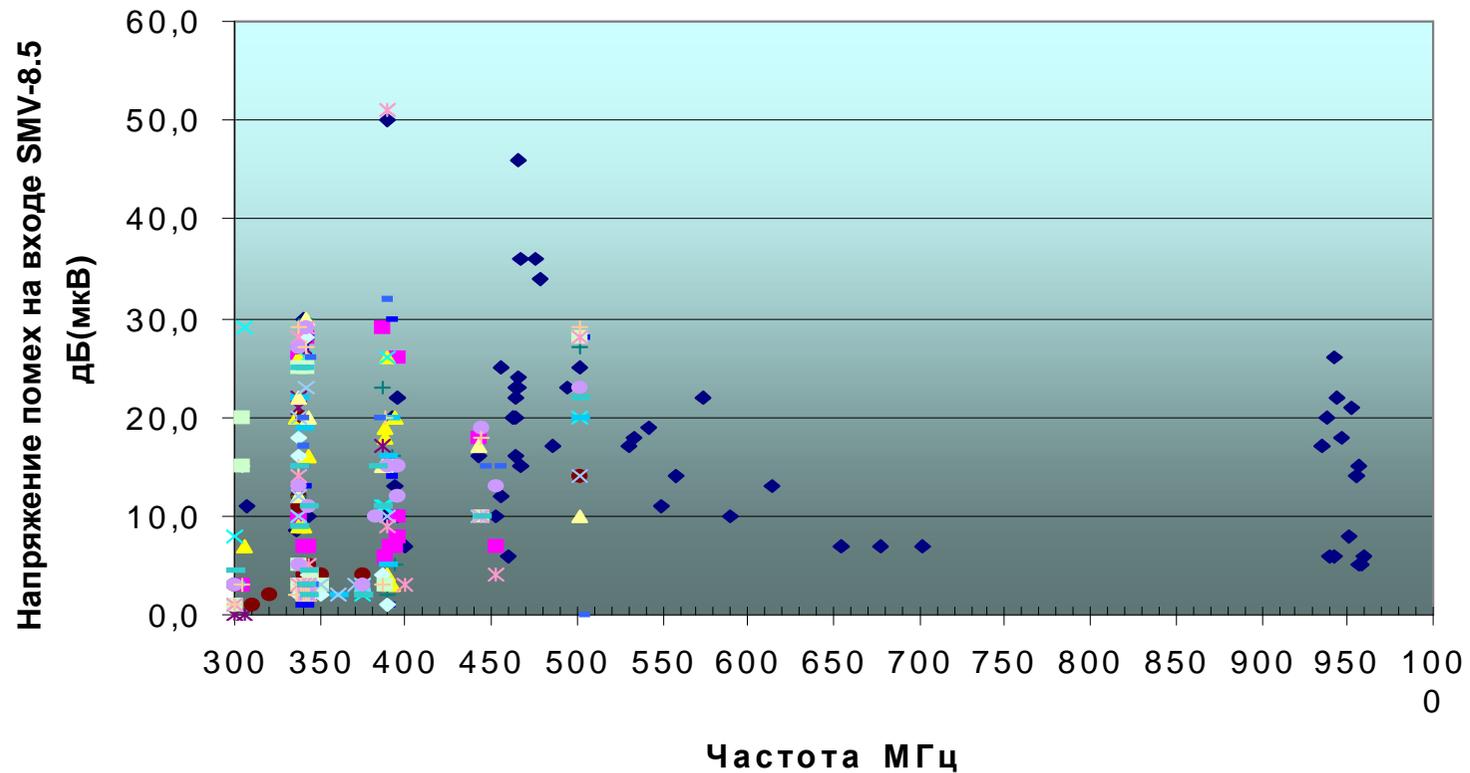
$$\frac{\delta T}{T} = \frac{1}{\sqrt{\Delta \nu \cdot t_{\text{int}} N_{\text{pol}} N_{\text{lines}}}}$$

- Одновременный прием ортогональных поляризаций
- Одновременный прием большого числа спектральных линий
- Рекомбинационные радиолнии наблюдаются во всем радиодиапазоне от дециметровых до мм волн
- Расстояние между линиями в дециметровом диапазоне несколько МГц

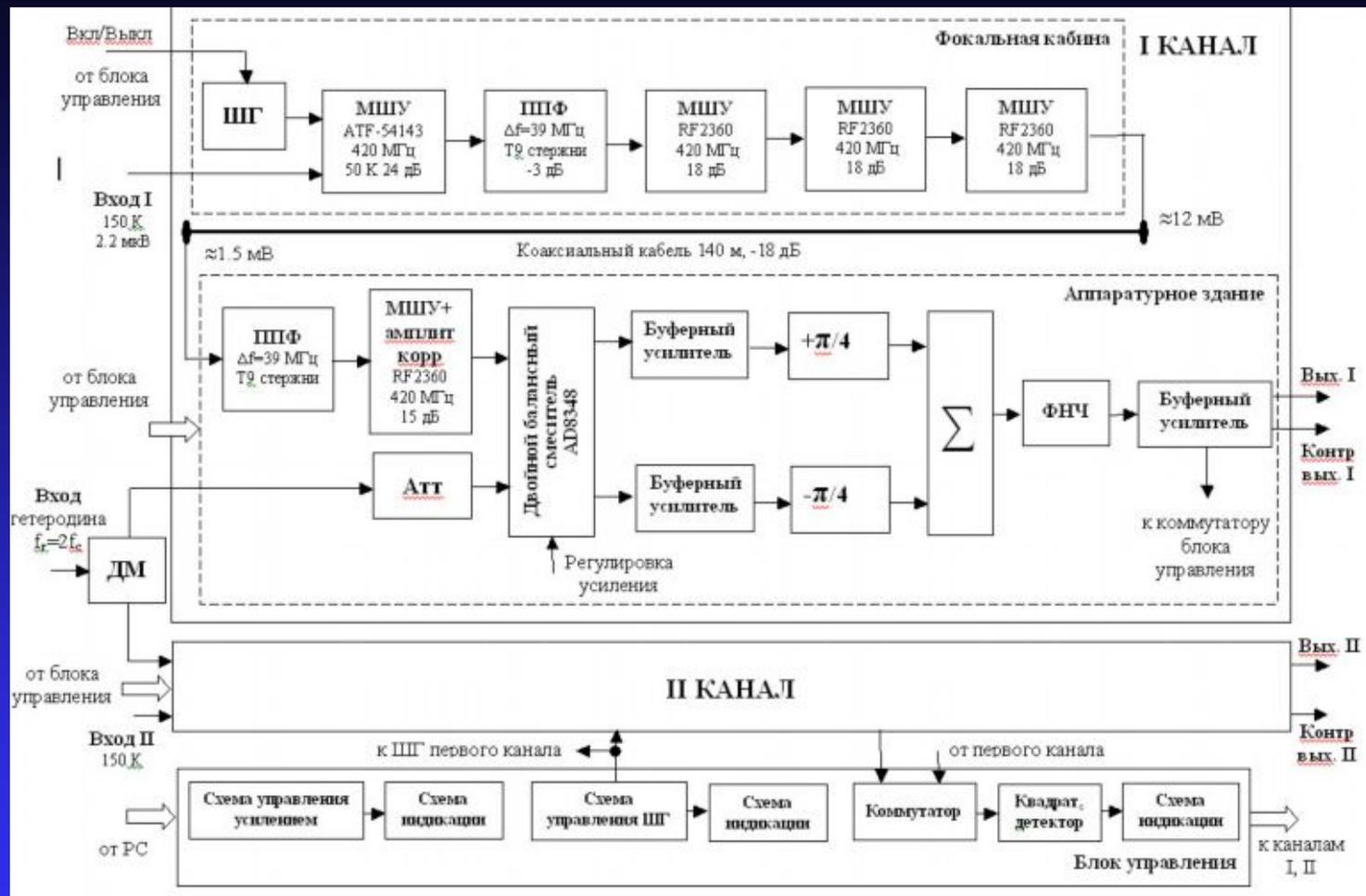


Энергетические уровни высоковозбужденного атома

Помеховая обстановка в ПРАО



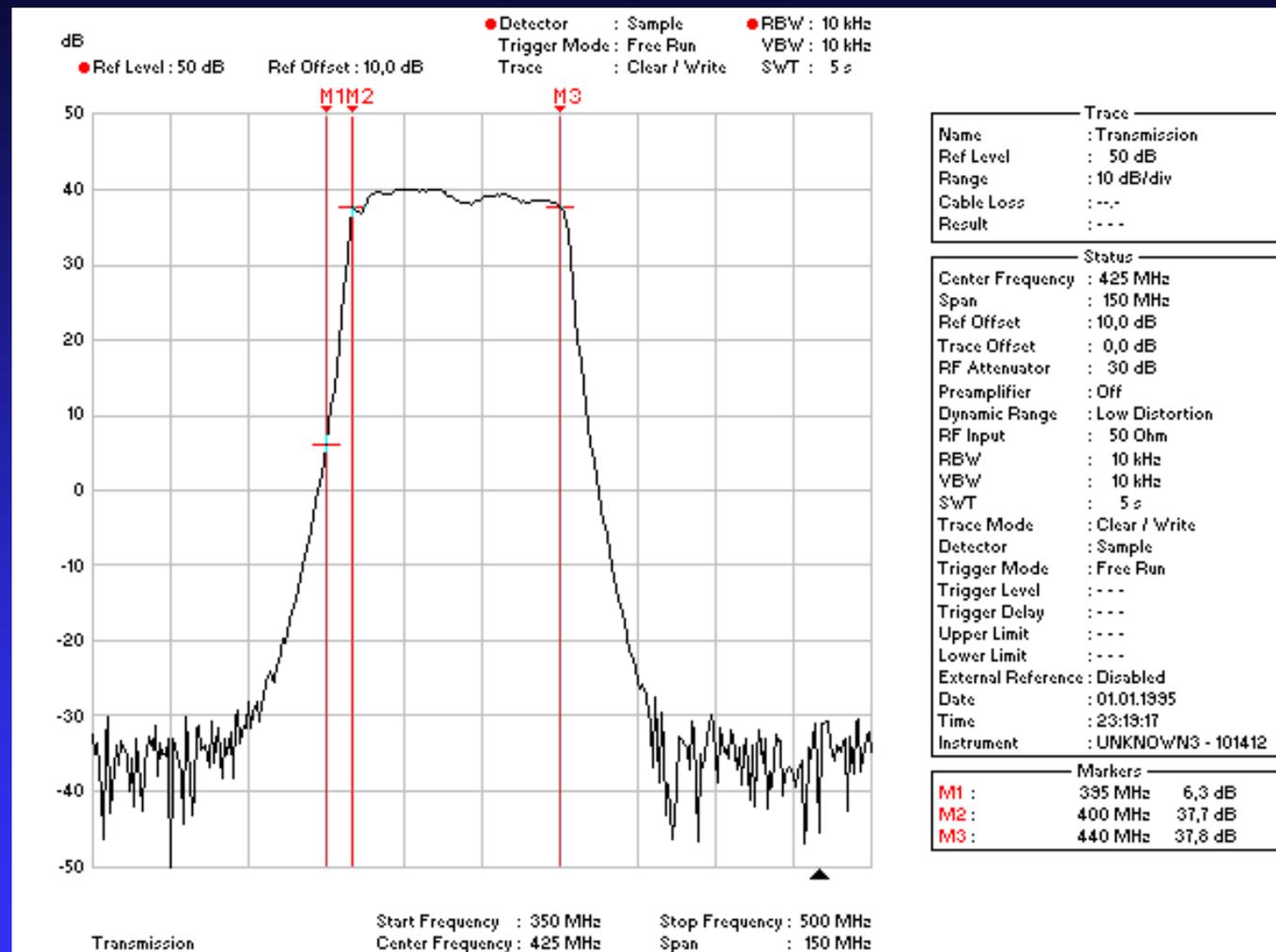
- Уровень помех до 50 дБ(мкВ)
- Полоса 400 ÷ 440 МГц свободна от помех
- В полосу попадает 8 рекомбинационных радиолиний



Структурная схема радиометра диапазона 400 МГц

Полосовой фильтр на связанных отрезках симметричных полосковых линий

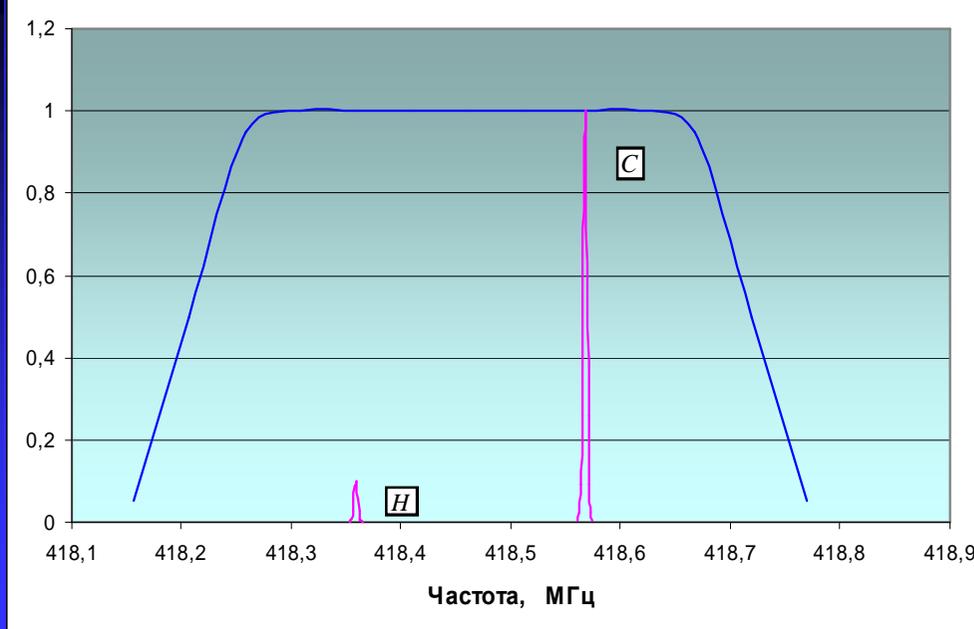
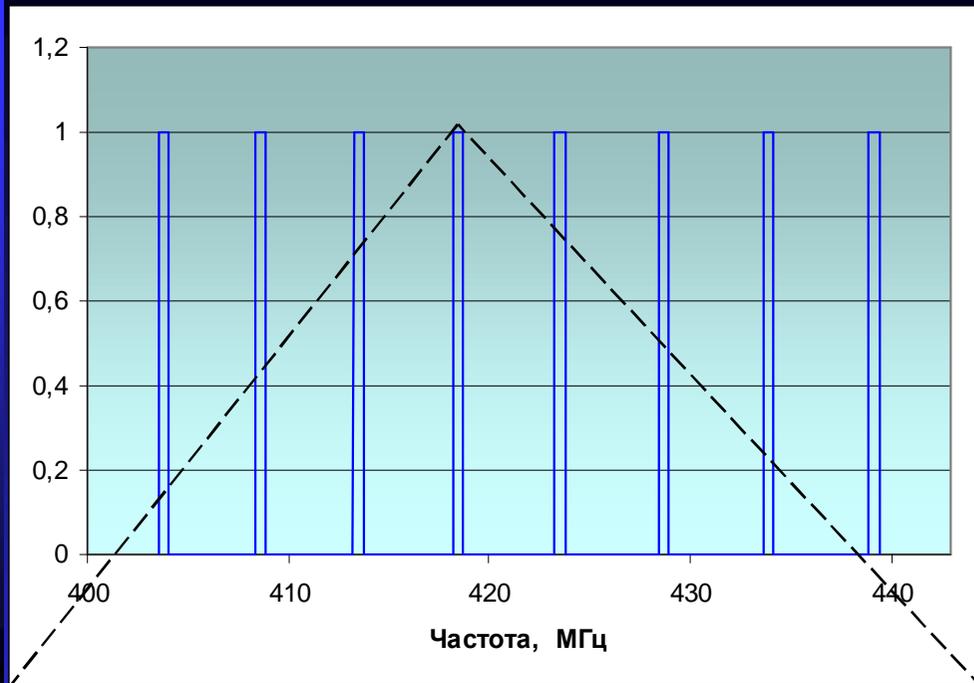


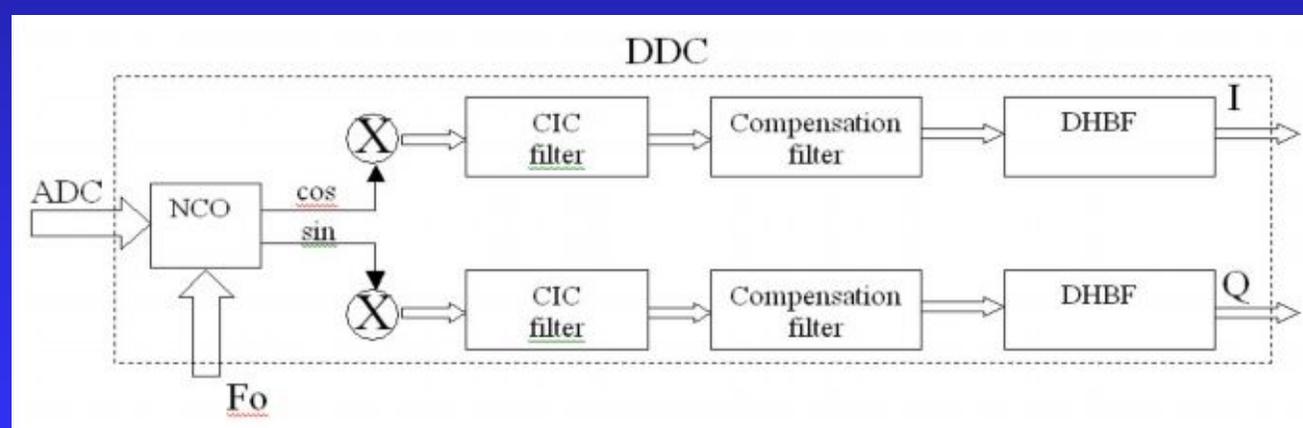
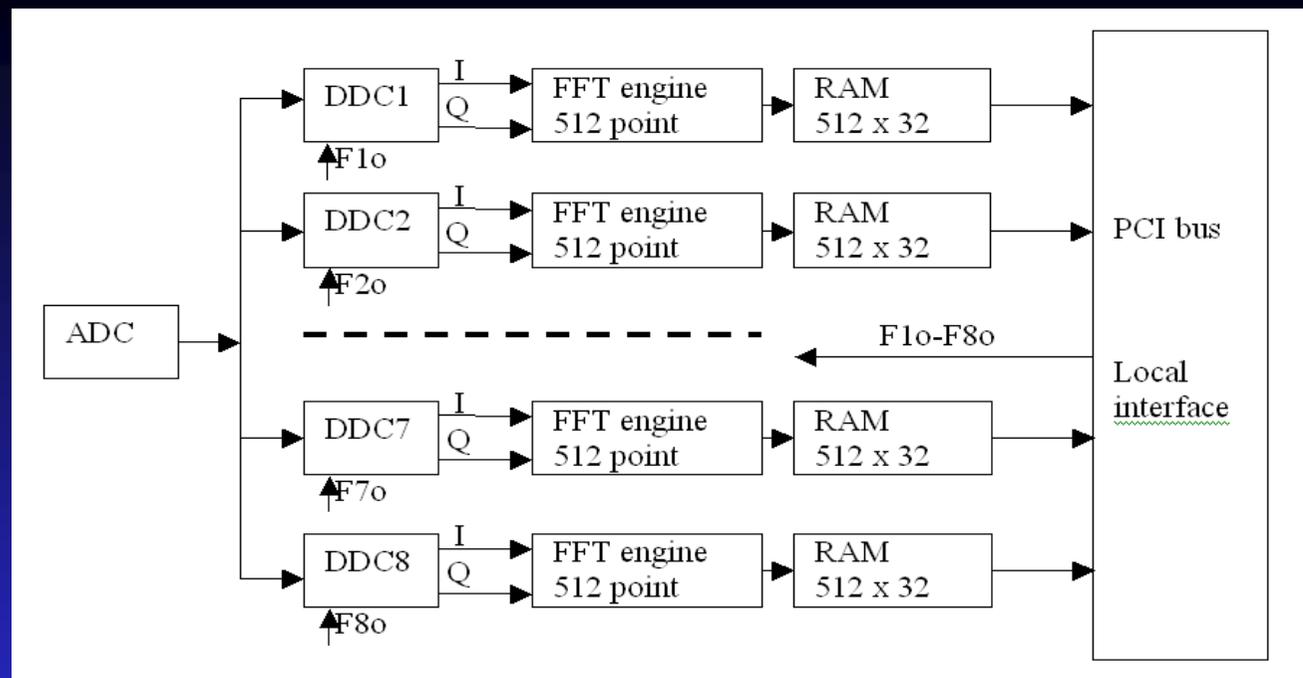


АЧХ полосового фильтра, формирующего полосу приема

Цифровой АС

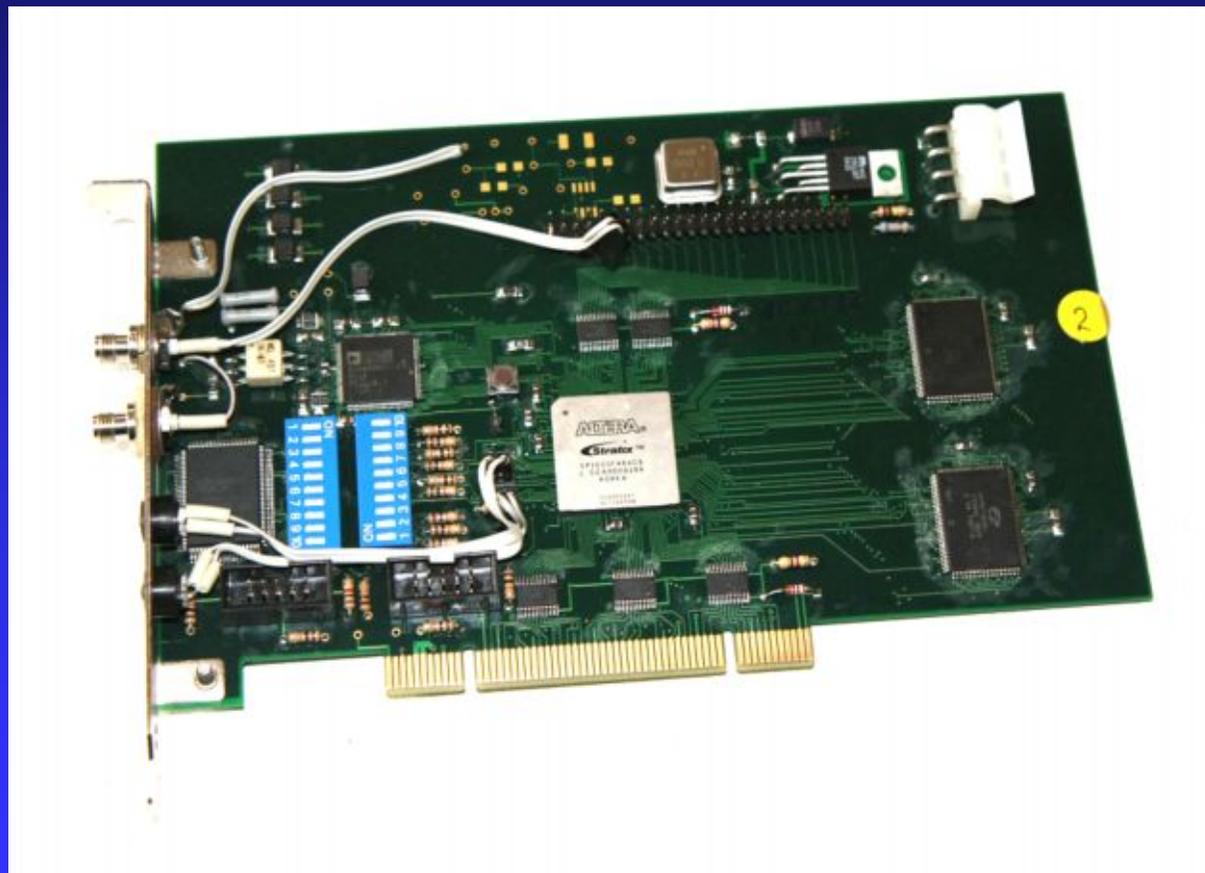
- Одновременный спектральный анализ в 8 полосах.
- Ширина полос 500 кГц.
- Разрешение 1 кГц.
- Полосы расположены примерно через 5 МГц в интервале 40 МГц.





Структурная схема модуля цифрового анализатора спектра на 8 полос. Схема цифрового видеоконвертора. Первый вариант.

Цифровой анализатор спектра на 8 полос

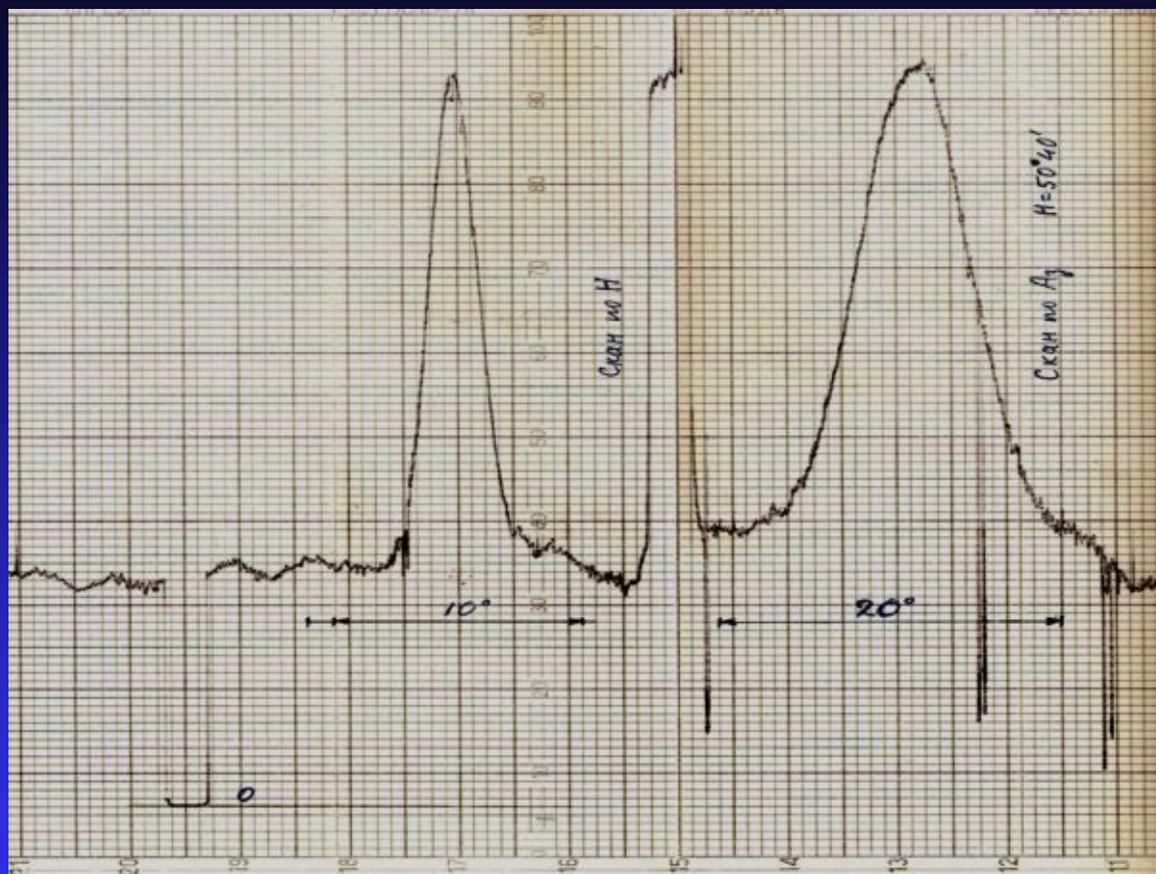




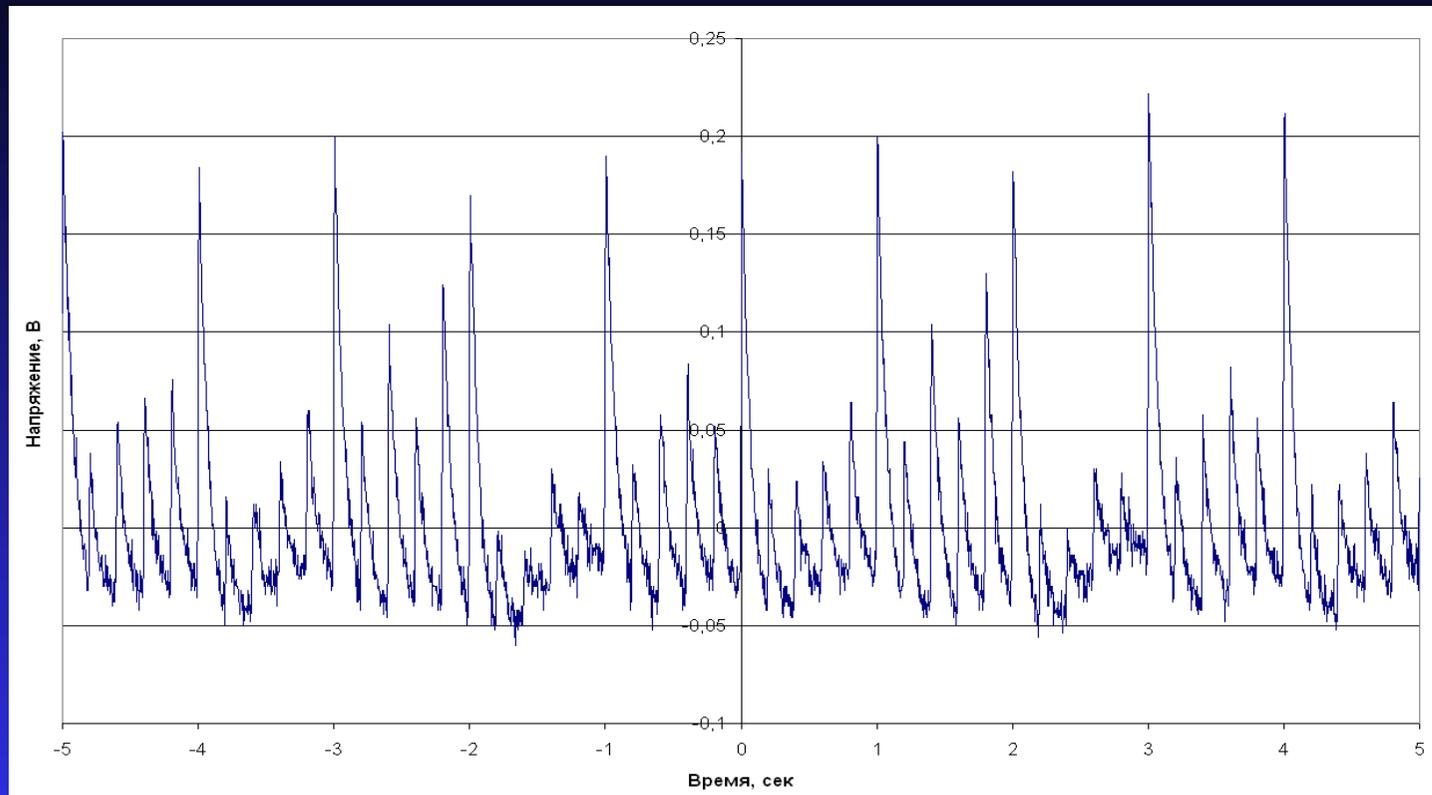
Первый гетеродин (синтезатор частоты NM8135),
высокочастотный блок и блок видеоконвертора

Облучатель на 2 линейные поляризации в первичном фокусе РТ-22



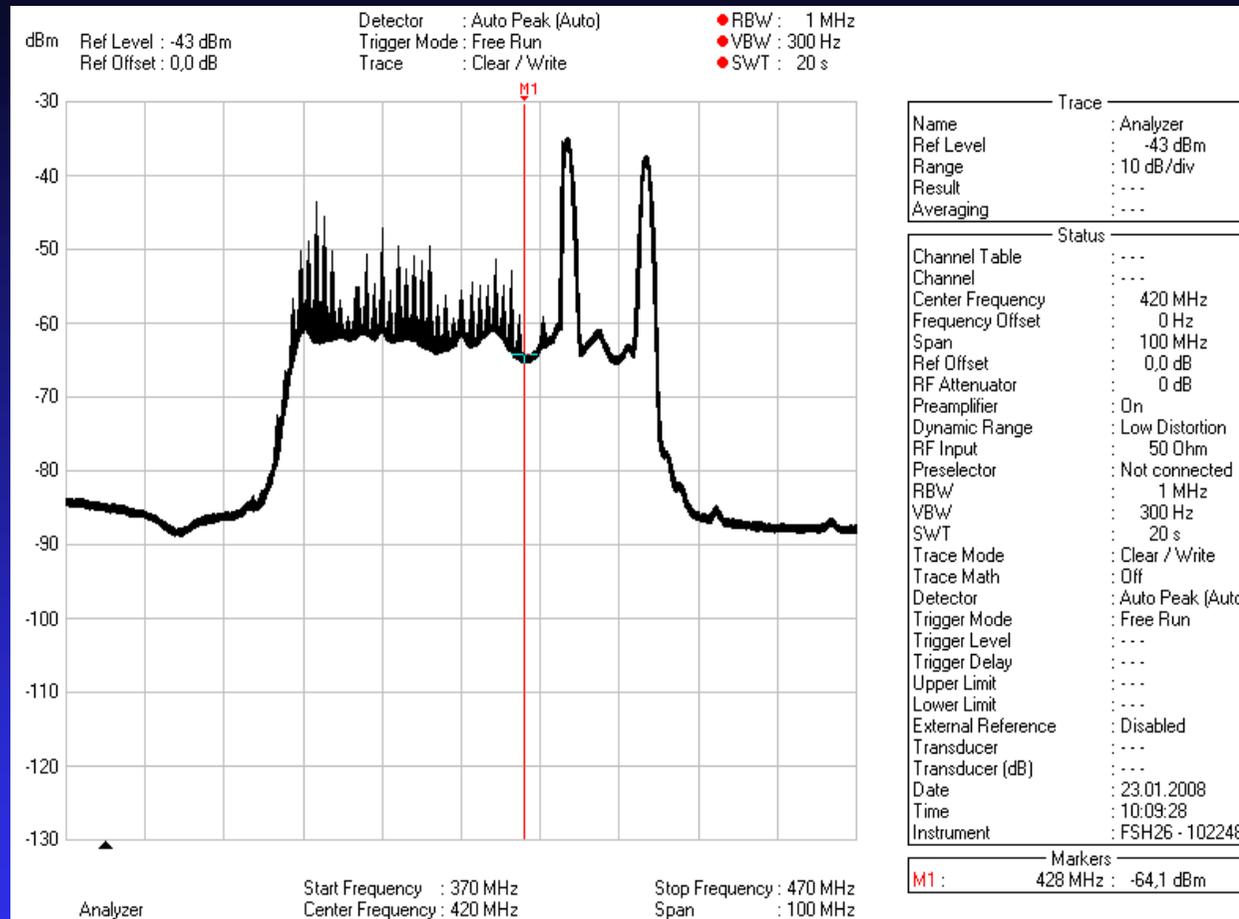


Прохождение источника Кассиопея А через диаграмму направленности (ДН) радиотелескопа. На частоте 429 МГц ширина ДН $\Delta\varphi_{0,5}$ составляет 2,3 градуса по азимуту и 2,4 градуса по углу места.

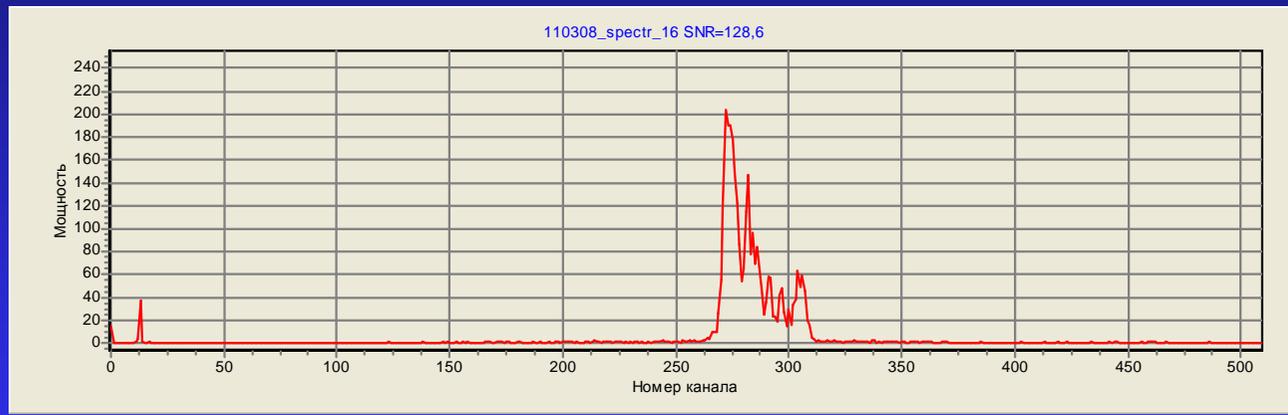
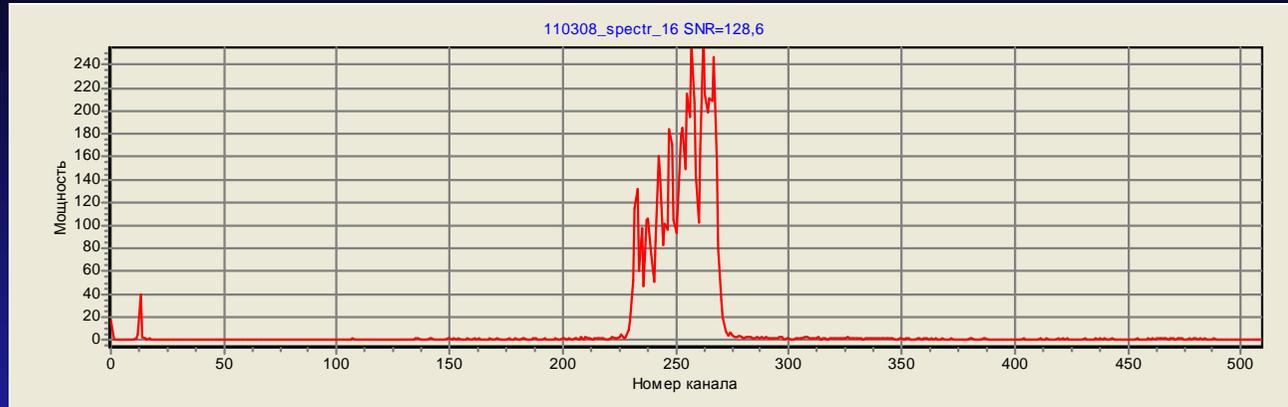


Выход контрольного канала на частоте 401,4 МГц. Контрольный канал представляет собой фильтр с полосой 1,5 МГц с квадратичным детектором.

Период повторения помехи 0,2 с.



Спектр на выходе блока ВЧ, измеренный с помощью FSH6. Время свипирования 20 сек, разрешение 1 МГц. На частотах от начала полосы приема до 426 МГц видна широкополосная помеха, проявляющаяся в виде узких спектральных деталей с периодом 0,6 МГц.



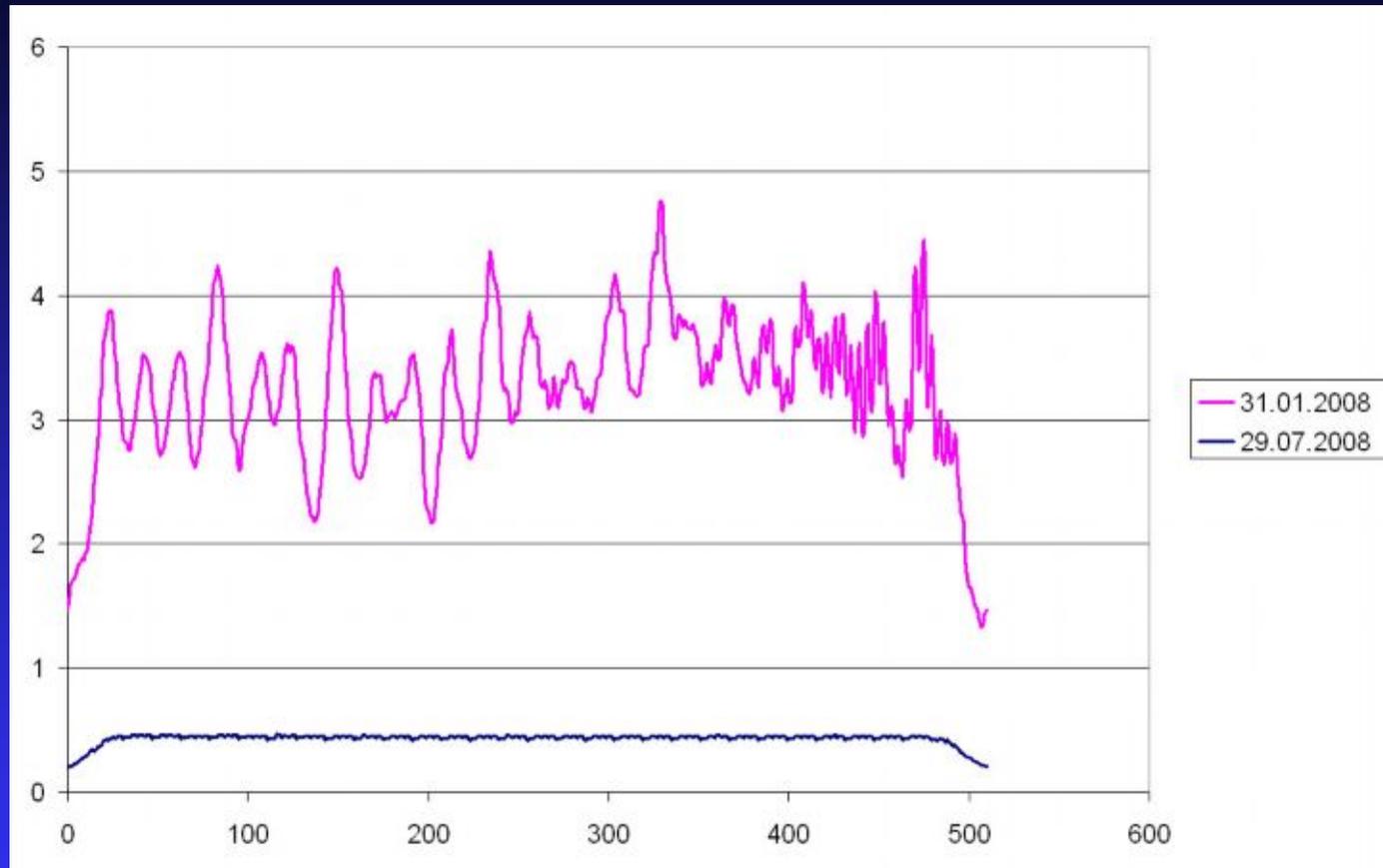
Два последовательных спектра на выходе видеоконвертора с полосой 1,8 МГц, полученные с помощью установки для исследования пульсаров. Накопление 0,8192 мс.

Уровень помехи ~ 200 единиц. Уровень шумов системы 1 единица.

Алгоритм чистки ЛЧМ-помех

Алгоритм основан на следующих свойствах помехи и АС:

- ◆ Время действия ЛЧМ-помехи в полосе 500 кГц составляет $\sim 2,5$ мс.
 - ◆ Период повторения 200 мс.
 - ◆ СПМ помехи в сотни раз больше СПМ шумов системы.
 - ◆ Дискрет времени вычисления спектра в полосе 500 кГц составляет 1 мс.
- Устройство on-line чистки помех вычисляет мощность P_i в полосе 500 кГц в текущем интервале времени i и сравнивает ее с мощностью в предыдущем интервале P_{i-1} . Если $P_i \geq kP_{i-1}$, то 4 последовательных спектра $S_{i-1}, S_i, S_{i+1}, S_{i+2}$ не включаются в усреднение.
 - В усреднение не включается 4 мс из 200 мс во время действия помехи. Исключенное время составляет только 2% от всего времени накопления и не должно ухудшать чувствительность.



Пример спектров на частоте 413 МГц, полученных в режиме полной мощности:

красная кривая - без чистки,

синяя кривая - с чисткой ЛЧМ-помехи on-line .

Спектр линии C252 α в направлении Кассиопеи А, полученный на Croce del Nord (Италия)

SEARCH OF RADIO RECOMBINATION LINES

205

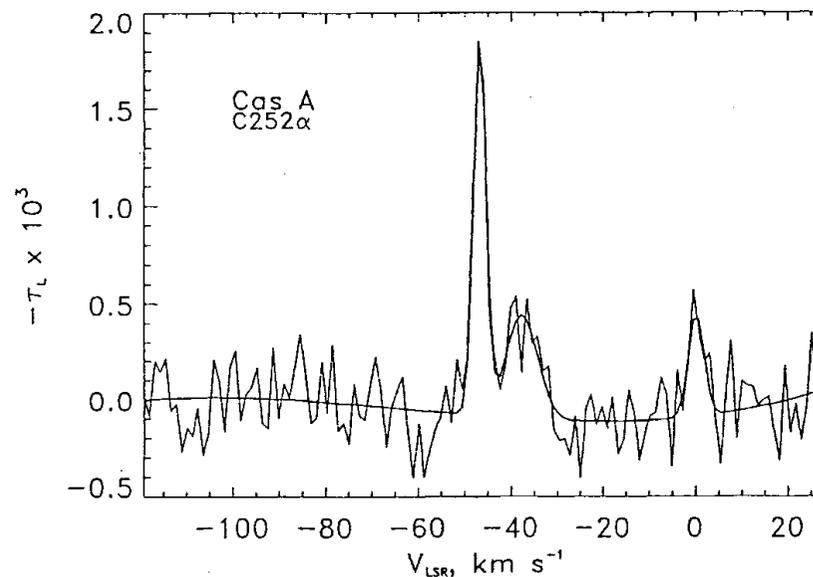
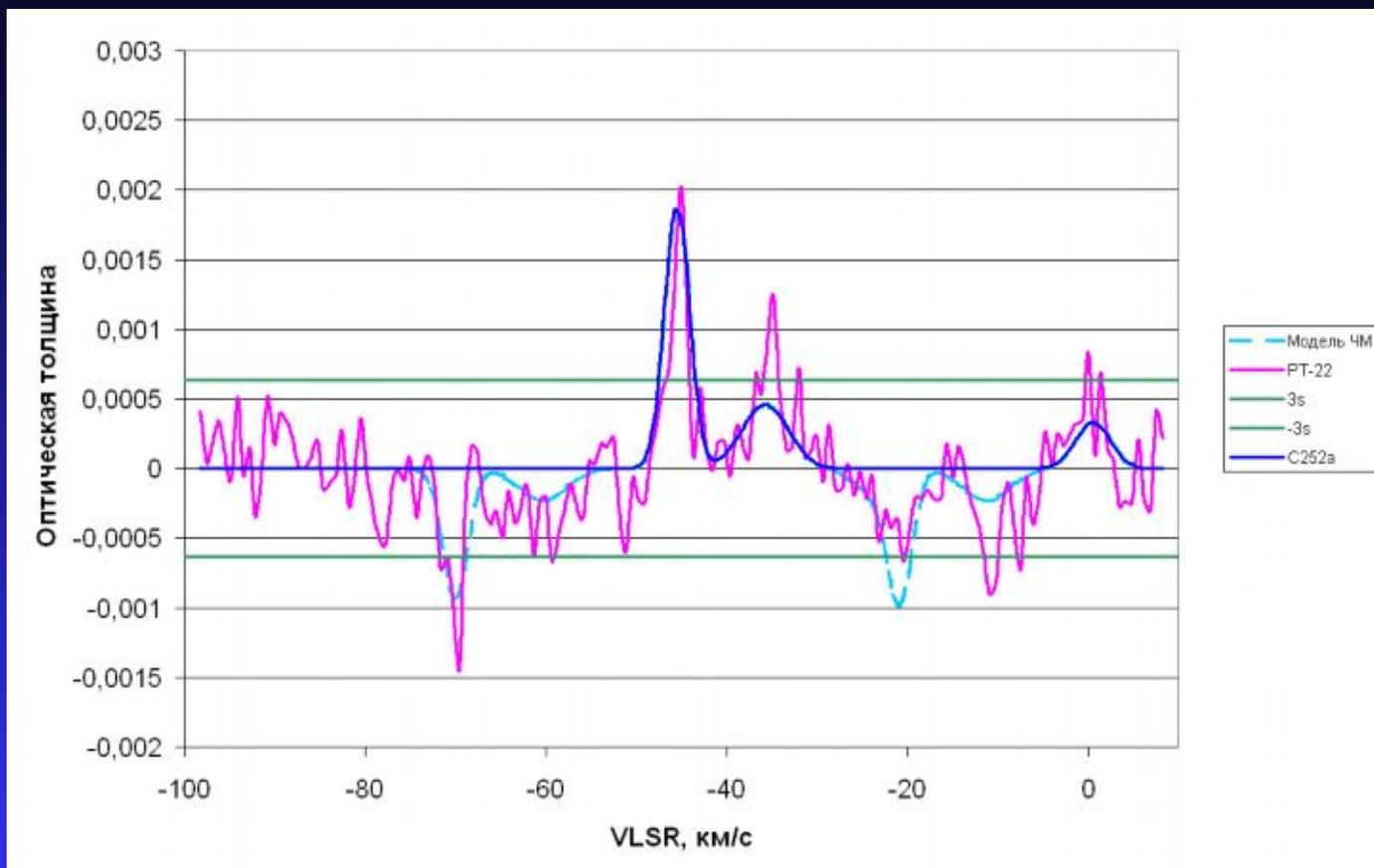
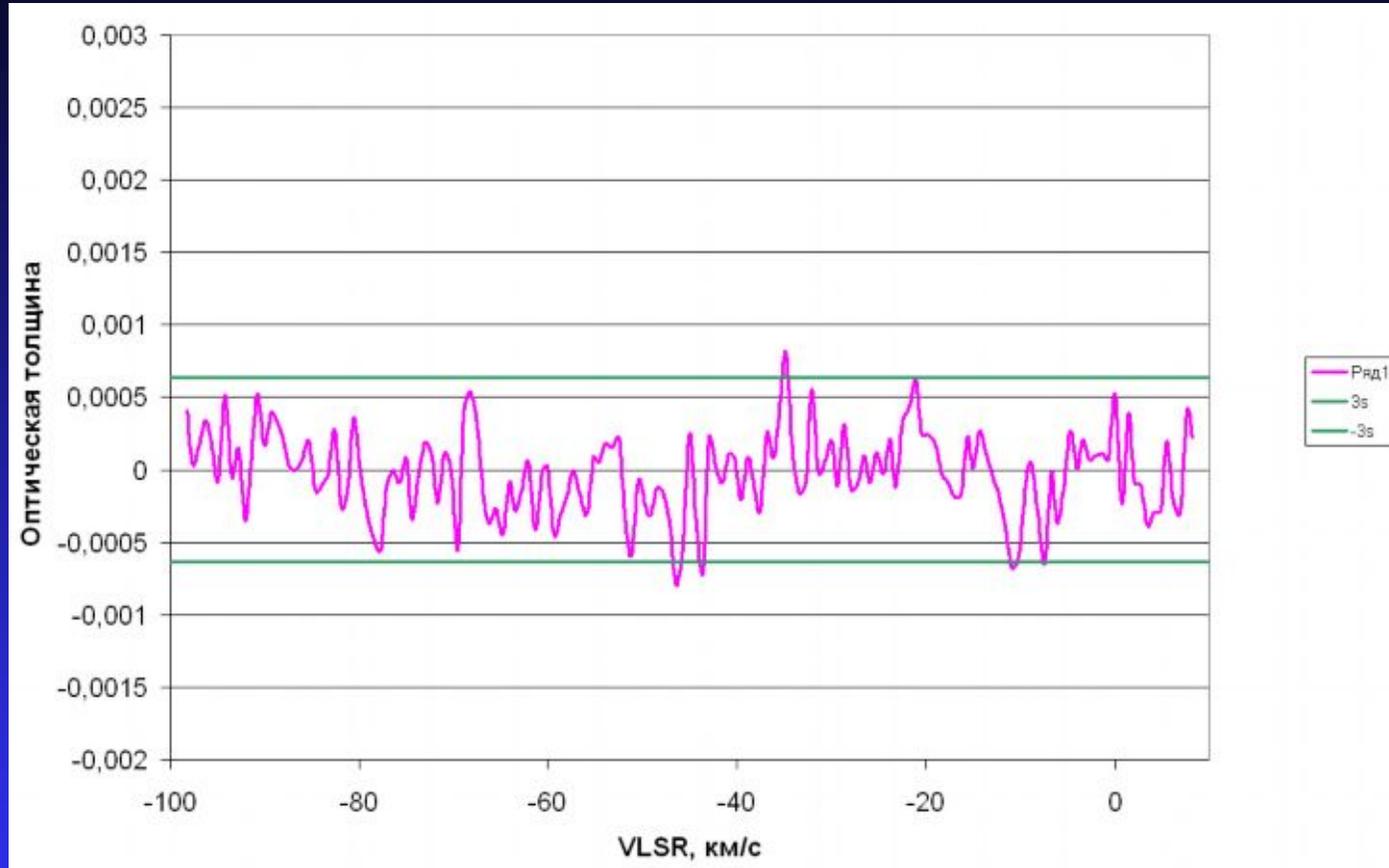


Figure 1 Carbon recombination line spectrum observed toward Cassiopeia A at 408.7 MHz. The vertical scale is in units of line optical depth and the horizontal one is in units of radial velocity. The original data were smoothed to a resolution of 1.2 km s $^{-1}$. The 3 best fitted Gaussian components and a polynomial are shown superimposed on the observed spectrum.



Средний спектр шести линий $C248\alpha$, $C249\alpha$, ... $C253\alpha$ в направлении Кассиопея А, полученный на РТ-22. Частоты линий находятся в полосе, занимаемой ЛЧМ-помехой. Синяя кривая – профиль линии $C252\alpha$ (Италия). Голубая кривая – дополнительные детали, возникающие при измерениях в режиме ЧМ. Накопление, приведенное к одной линии, 46 часов. Зеленые линии - расчетные границы шумовой дорожки $\pm 3\sigma$.



Разность между наблюдаемым спектром и ожидаемым профилем.
Зеленые линии - расчетные границы шумовой дорожки $\pm 3\sigma$.

Выводы

- На РТ-22 ФИАН создан новый спектральный комплекс диапазона 400 МГц, предназначенный для одновременного приема 8 рекомбинационных радиолиний в двух поляризациях. Основные характеристики комплекса:
 - ◆ Диапазон входных частот 400-440 МГц.
 - ◆ Ширина диаграммы направленности 2,3 x 2,4 градуса.
 - ◆ Режимы работы: полной мощности и частотной модуляции.
 - ◆ 8 полос анализа шириной 500 кГц.
 - ◆ Спектральное разрешение 1 кГц.
 - ◆ On-line чистка помех с линейной частотной модуляцией.
- Пробные наблюдения источника Кассиопея А показали, что реализуется расчетная радиометрическая чувствительность.
- Комплекс позволит регистрировать рекомбинационные радиолинии с оптической толщиной $\sim 10^{-4}$ и разрешением по скорости 0,7 км/с.