

**Сцинтилляционный гамма-спектрометр NaI ПАК-01 для  
радионуклидного анализа малоактивных образцов  
со сложным радионуклидным составом.**

**Некоторые результаты опытной эксплуатации спектрометра  
в ЛВРК Нововоронежской АЭС**

В.В Дровников, Н.Ю. Егоров, В.М. Живун, А.А. Кадушкин, В.В. Коваленко, А.И. Новоселов



# Постановка задачи

- ✚ **HPGe гамма-спектрометр идеальный** - в смысле качества результатов анализа и гарантированной возможности их получения - инструмент радиационного контроля сбросных вод и вентвыбросов АЭС с нижней границей измеряемой активности  $\sim 0.5$  Бк / образец.
- ✚ **В оперативном контроле** сбросных вод и вентвыбросов АЭС применение HPGe гамма-спектрометров затруднительно по целому ряду соображений – эксплуатационным, технологическим, финансово-экономическим и организационным и т.д.
- ✚ Целесообразно оценить возможность использования **сцинтилляционных гамма-спектрометров**, в том числе с детекторами NaI, в системах контроля допустимых сбросов и выбросов АЭС.

## Низкофоновая защитная камера НЗК-01

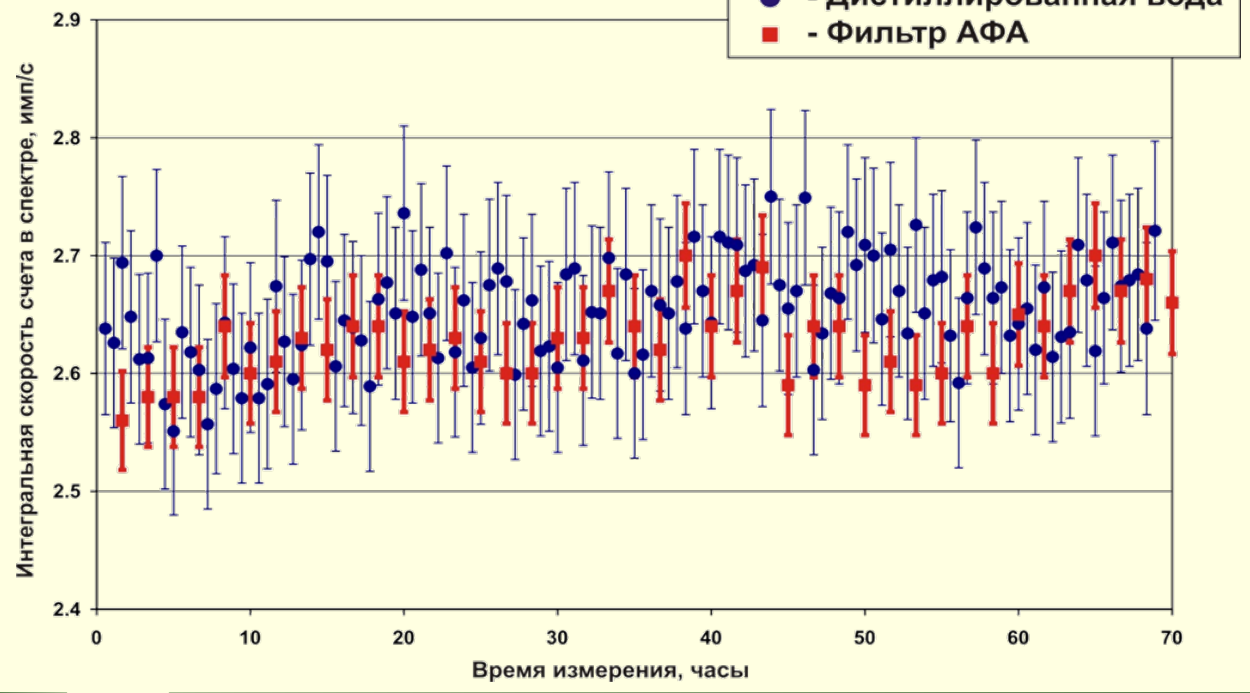


Защита "Экран-2П" ЛВРК  
6.62 имп/с

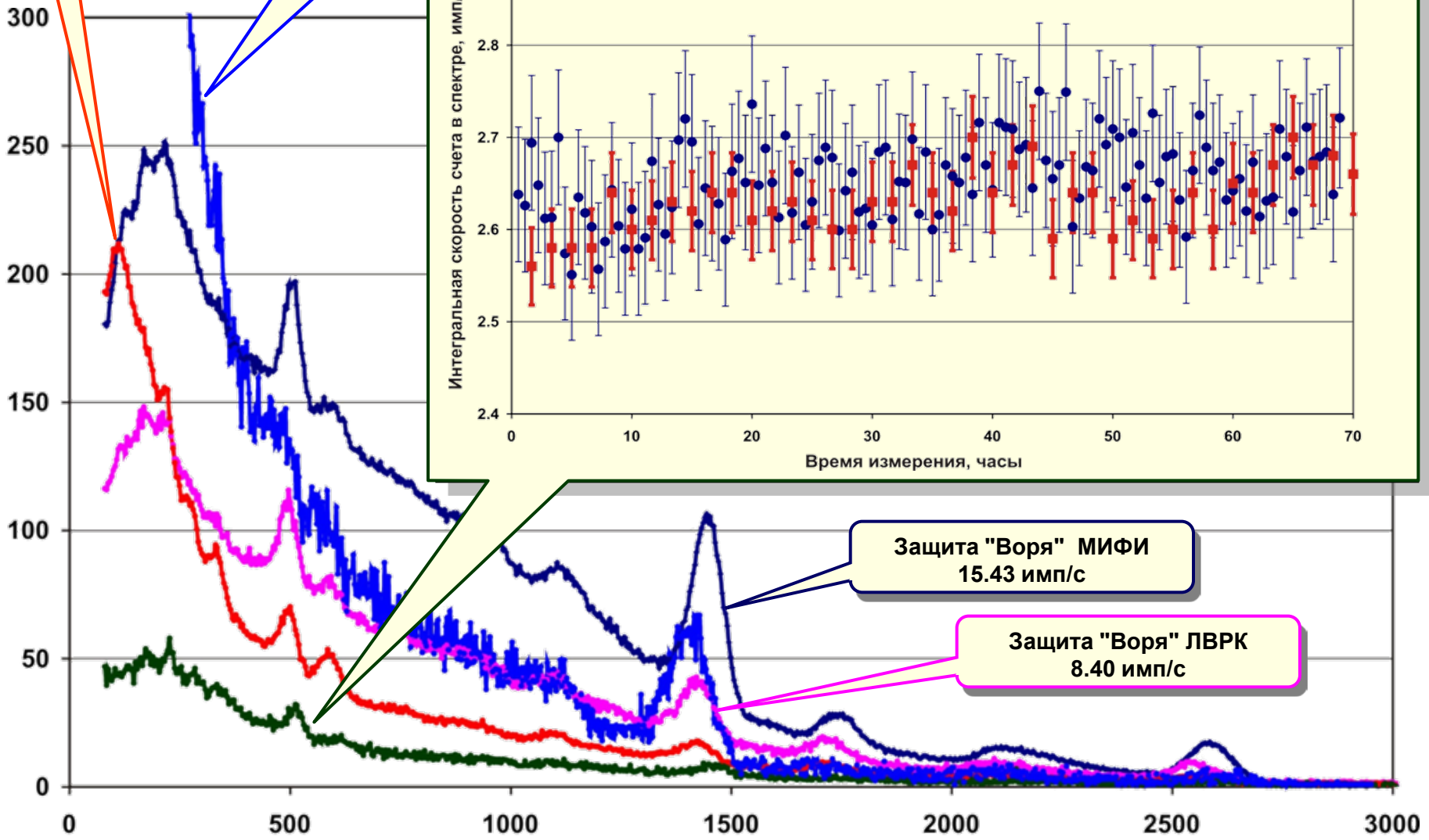
Защита "АТОМТЕХ"  
20.00 имп/с

Временная динамика интегрального фона для  
защиты "НЗК-01-01" ЛВРК (2.60 имп/с)

● - Дистиллированная вода  
■ - Фильтр АФА



Скорость счета, имп/час

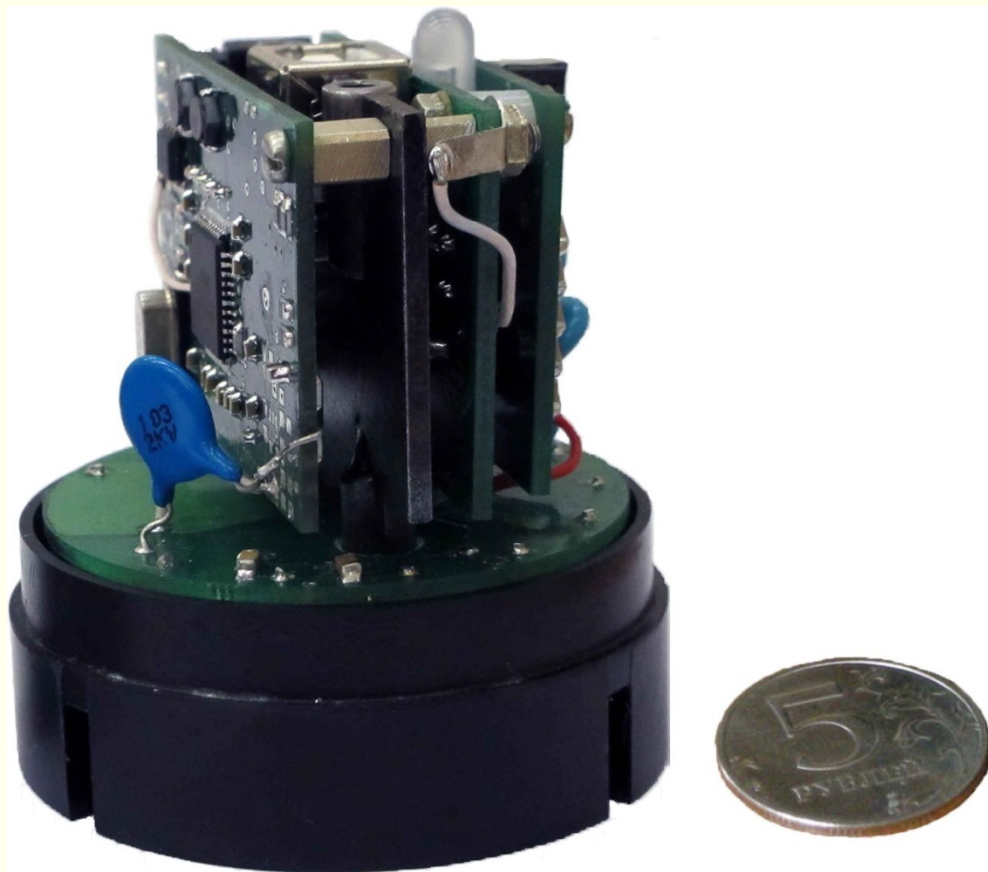


Защита "Воря" МИФИ  
15.43 имп/с

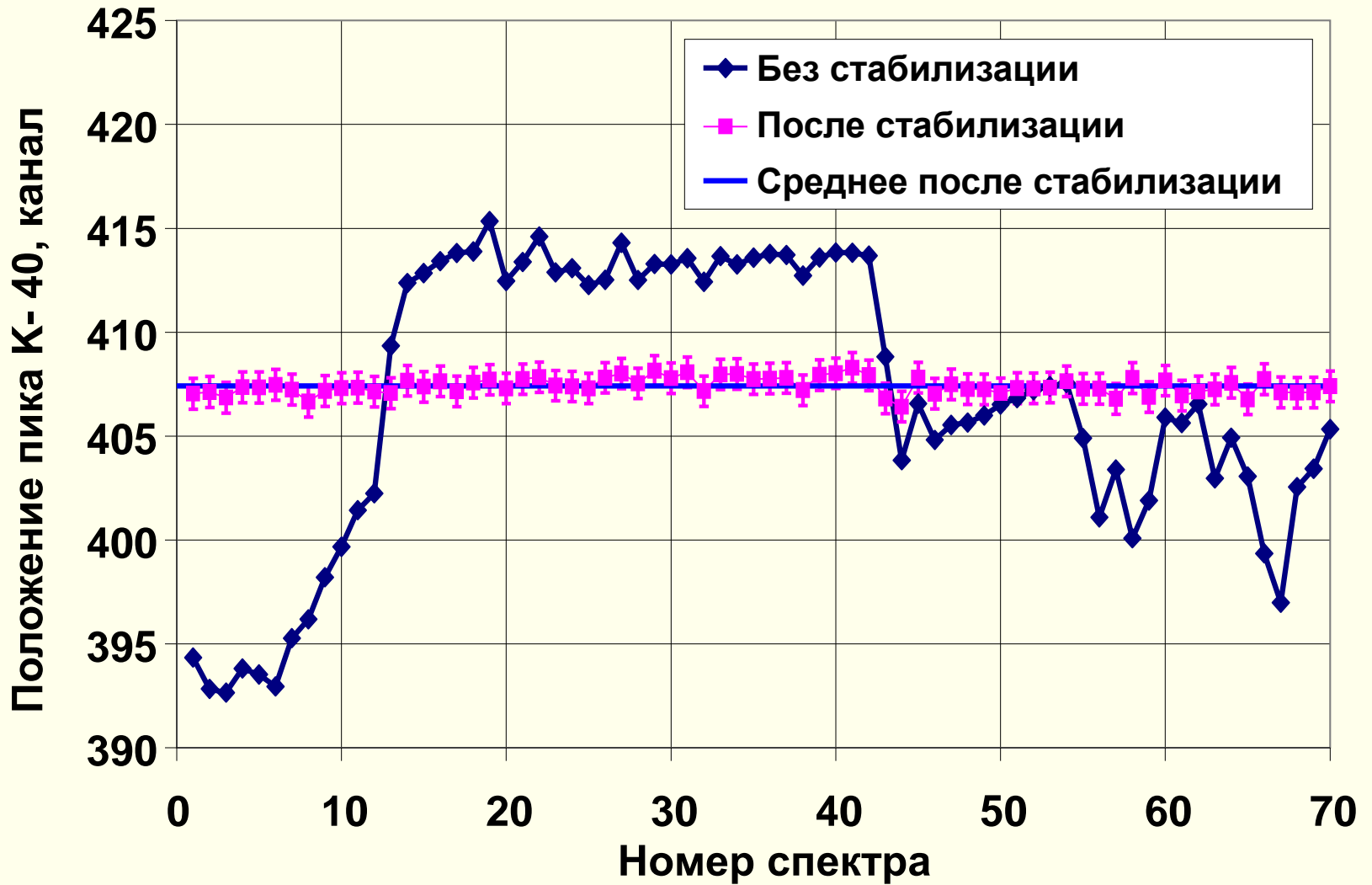
Защита "Воря" ЛВРК  
8.40 имп/с

Энергия, кэВ

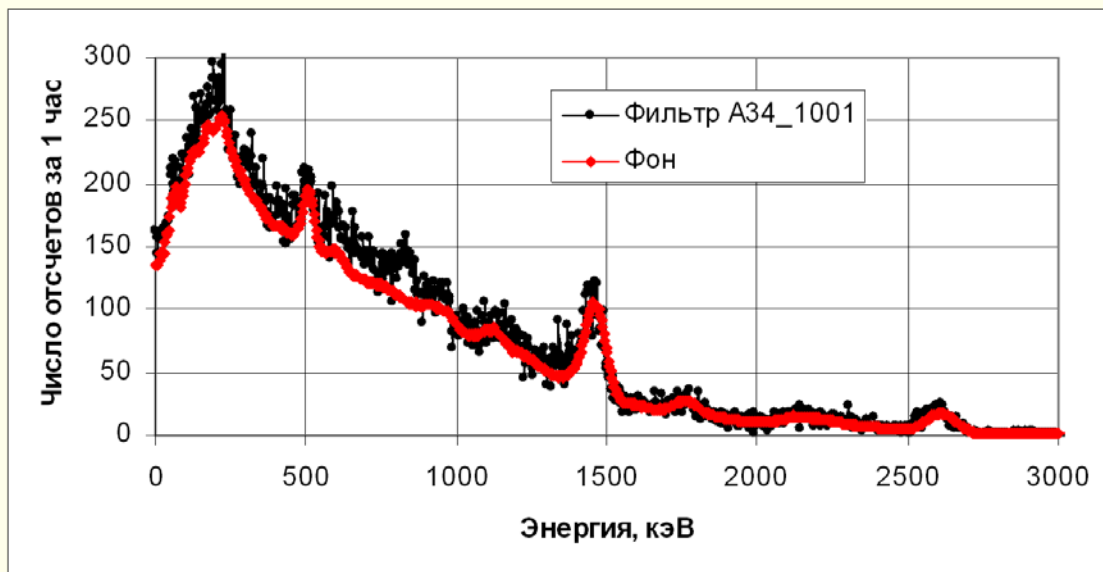
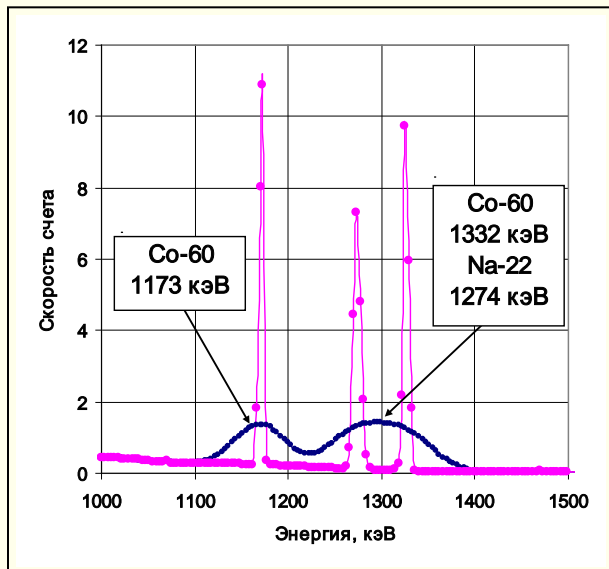
# Цифровой спектрометрический процессор. Спектрометрический модуль.



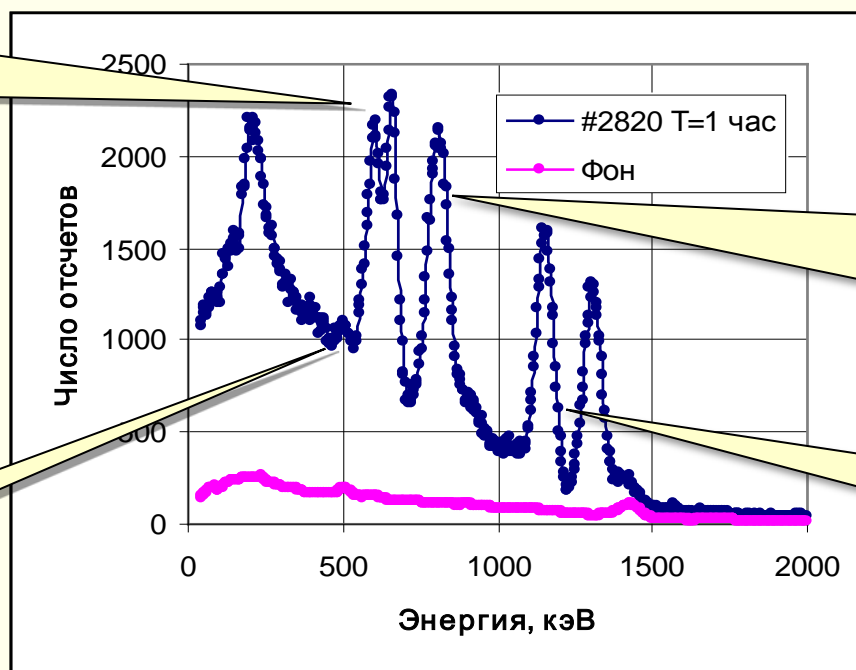
# Программа *SASNaMeas* управления работой комплекса NaI ПАК-01



# Почему не метод пиков



Cs-134	604.6 кэВ
Ag-110m	657.7 кэВ
	677.5 кэВ
	686.8 кэВ
Cs-137	661.6 кэВ
Ru-106	622.1 кэВ



Cs-134	795.8 кэВ
Co-58	810.8 кэВ
Mn-54	834.8 кэВ
Zn-95	724.2 кэВ
Zr-95	756.7 кэВ
Nb-95	765.8 кэВ
Ag-110m	763.5 кэВ
	818.0 кэВ
	884.5 кэВ
	937.5 кэВ
Sc-46	889.3 кэВ

Ru-106	511.8 кэВ
Co-58	511 кэВ
Zn-65	511 кэВ

Co-60	1173.2 кэВ
	1332.5 кэВ
Fe-59	1099.3 кэВ
	1291.6 кэВ
Zn-65	1115.5 кэВ
Sc-46	1120.5 кэВ



# Программа SASNaM3 обработки спектров сцинтилляционных детекторов модифицированным матричным методом – МЗ.

**Матричный метод** обработки спектров - решение системы линейных уравнений

$$A[i] = \sum Q_j \cdot B_j [i], \quad (1)$$

где  $A[i]$  – измеренный спектр,

$B_j [i]$  – спектры-стандарты, образующие матрицу отклика,

$Q_j$  – активности радионуклидов в измерительном образце.

Основная проблема матричного метода – это плохая обусловленность системы (1), приводящая к большим погрешностям оценок  $Q_j$ .

**Модифицированный матричный метод** - решение системы линейных уравнений

$$L(A[i]) = \sum Q_j \cdot L(B_j [i]),$$

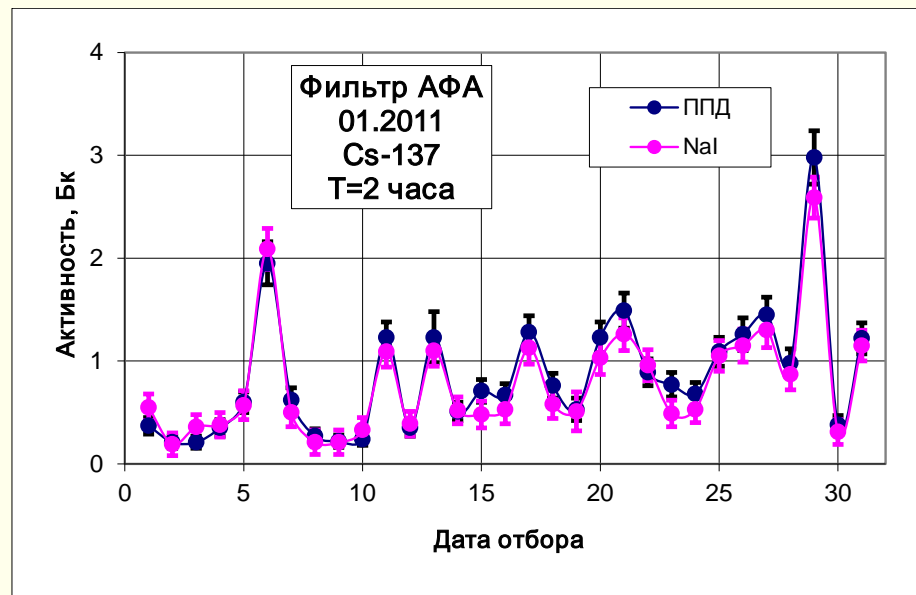
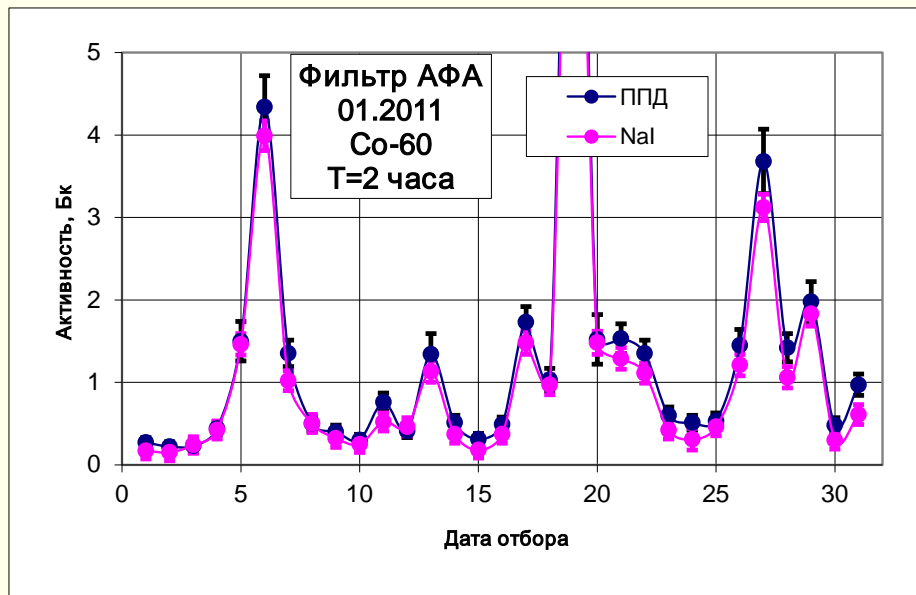
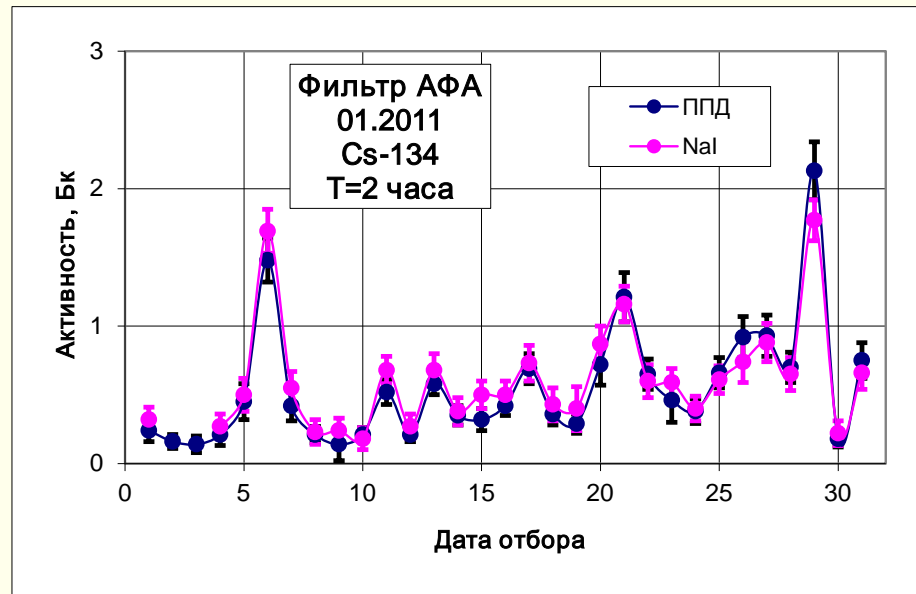
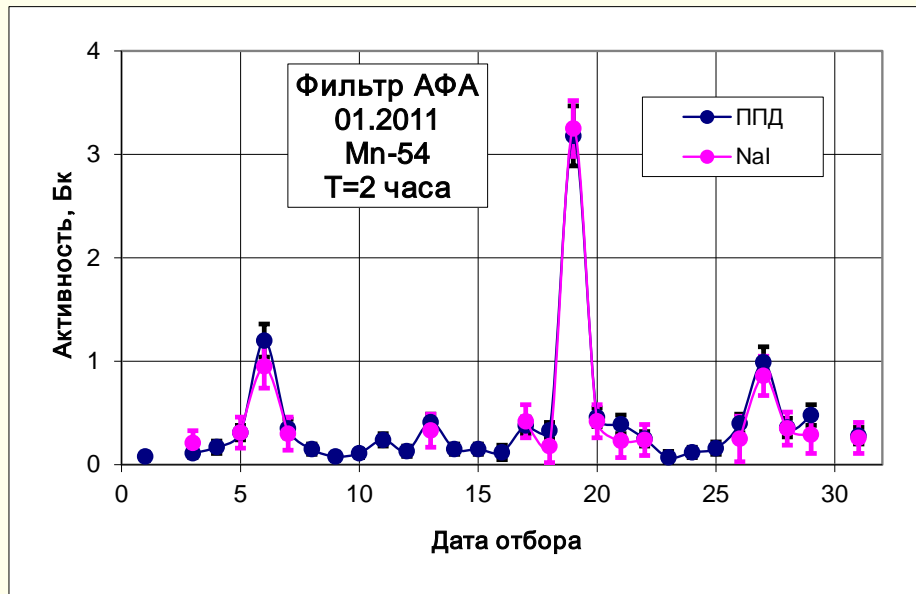
образованной применением к системе (1) линейного оператора  $L$ , такого, что новая система уравнений имеет то же решение, что и (1), но лучше обусловлена и поэтому существенно менее чувствительна к статистическим флуктуациям данных.



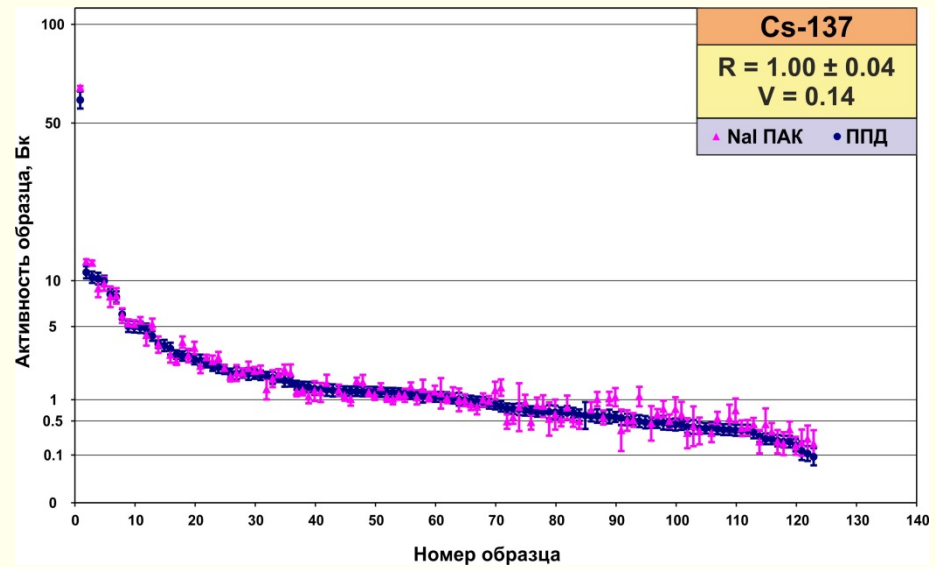
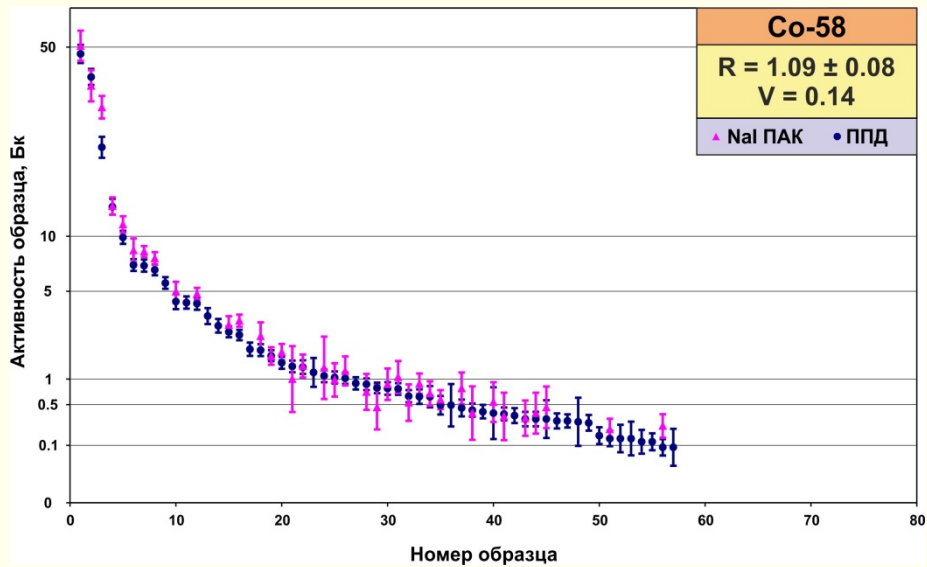
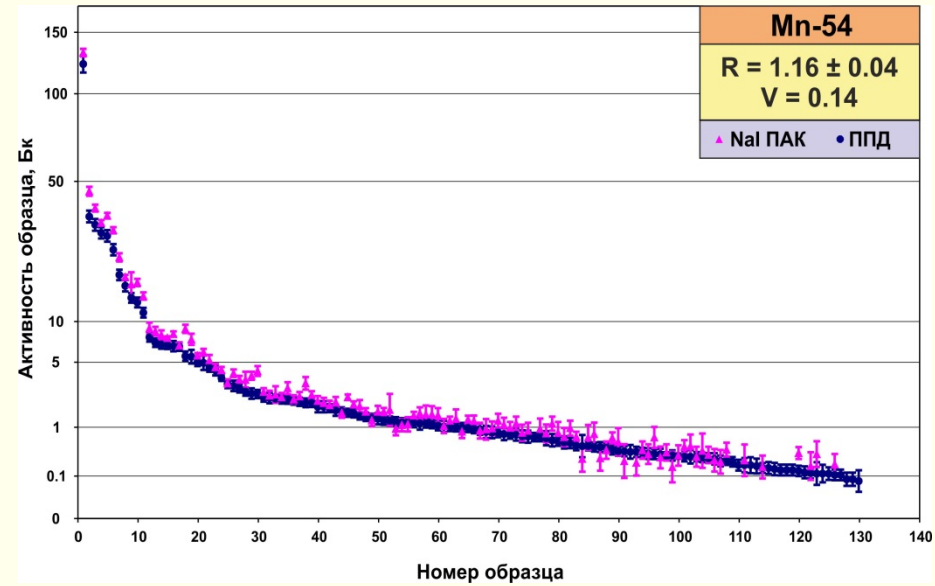
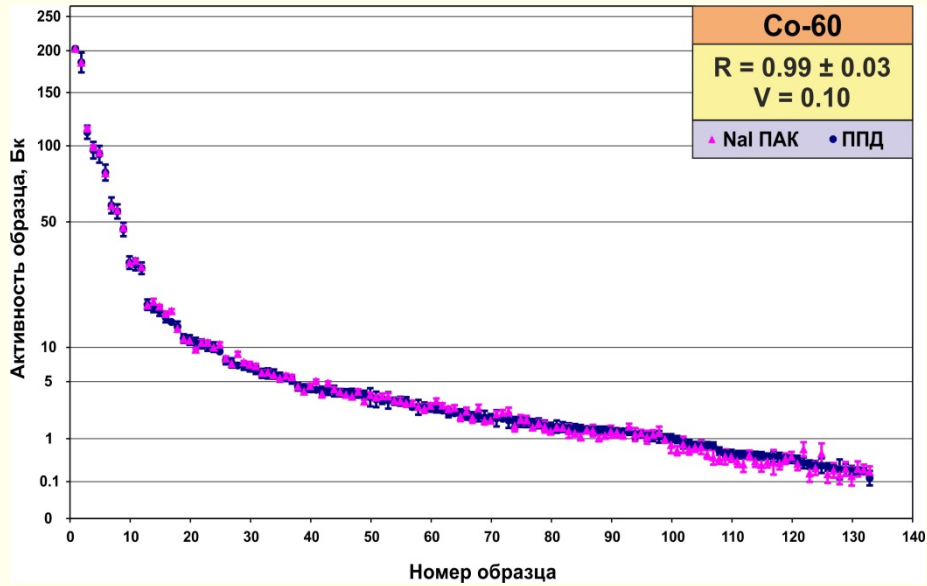
# О спектрах-стандартах

- ✚ Спектры-стандарты изготавливаются расчетным путем с помощью программы GEANT4.
- ✚ Возможность оперативно и финансово незатратно создать библиотеку спектров-стандартов для любых наборов:
  - радионуклидов;
  - размеров и конфигураций детекторов
  - размеров и конфигураций измерительных образцов.
- ✚ Для целого ряда радионуклидов отсутствует практическая возможность изготовления калибровочных источников.
- ✚ Отсутствует необходимость в калибровочных источниках.
- ✚ Оптимизация функционирования обработочной программы **SASNaM3** при использовании расчетных спектров-стандартов, в том числе для повышения точности.

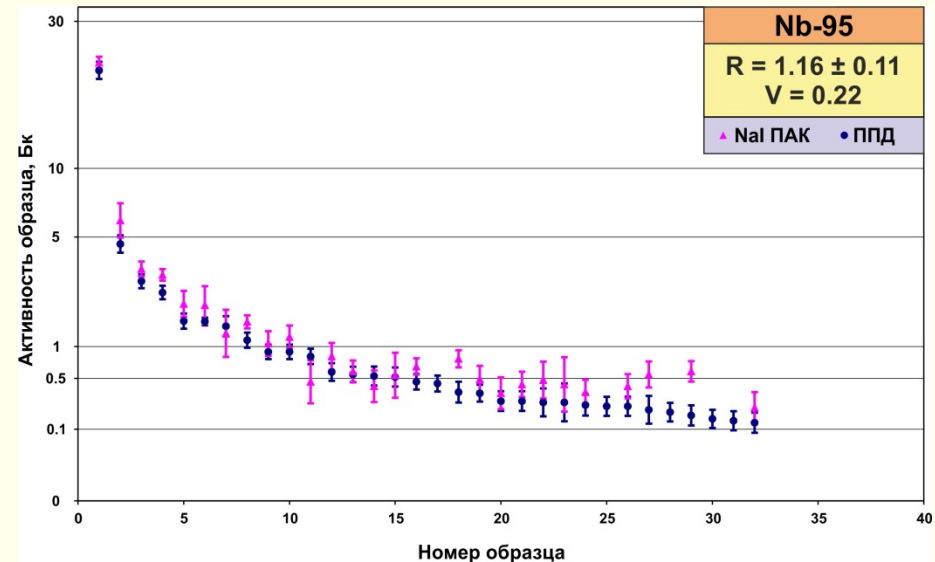
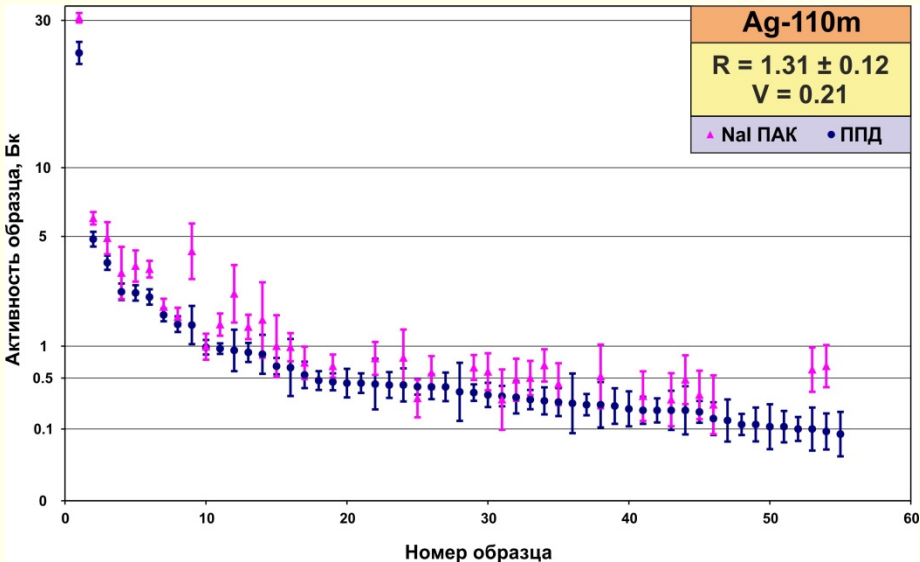
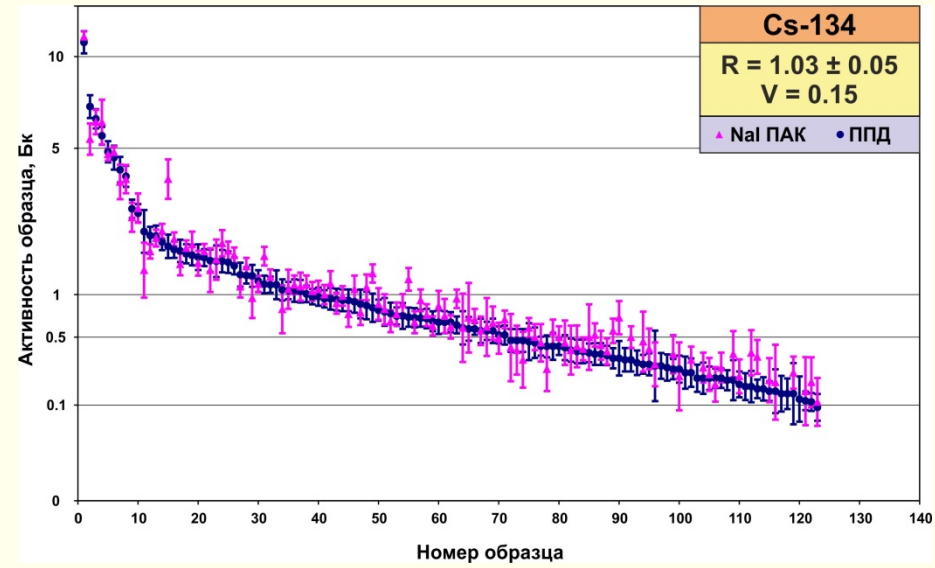
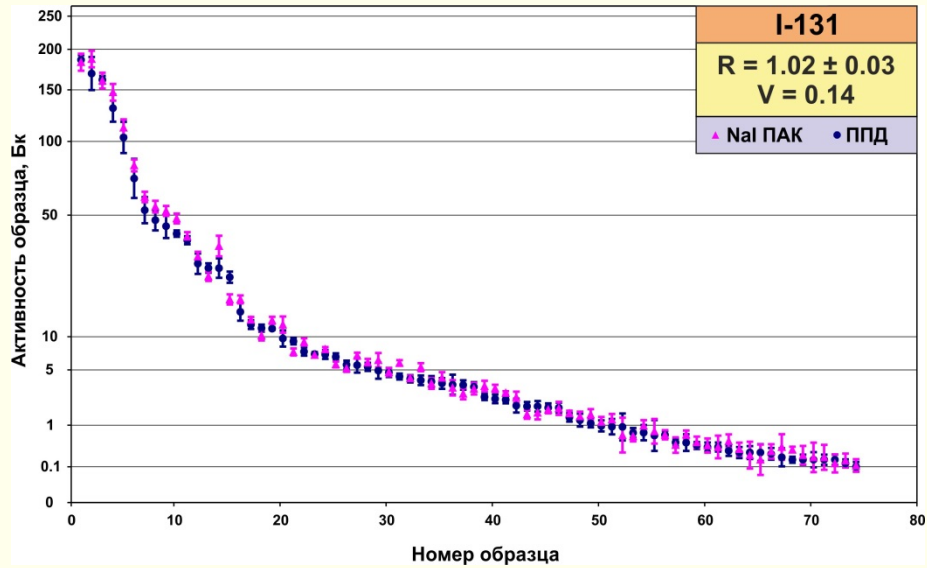
# Распределения активности радионуклидов в фильтрах АФА из вентсистемы 3-4 блоков НВАЭС



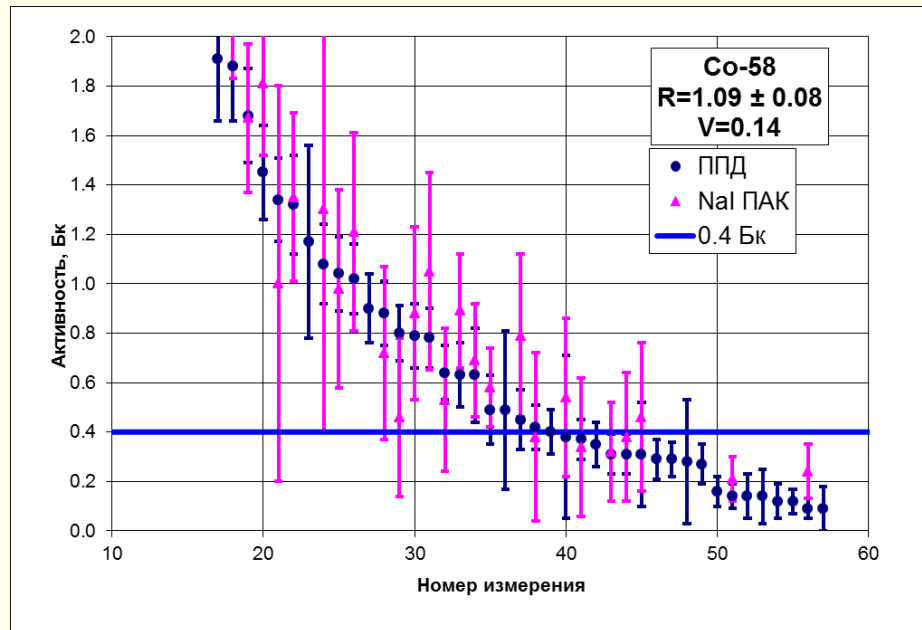
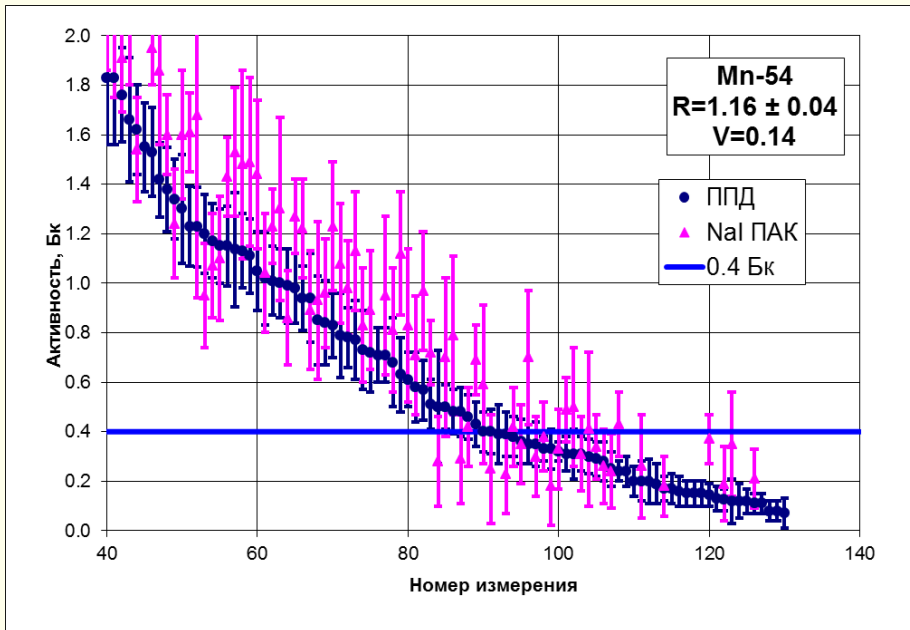
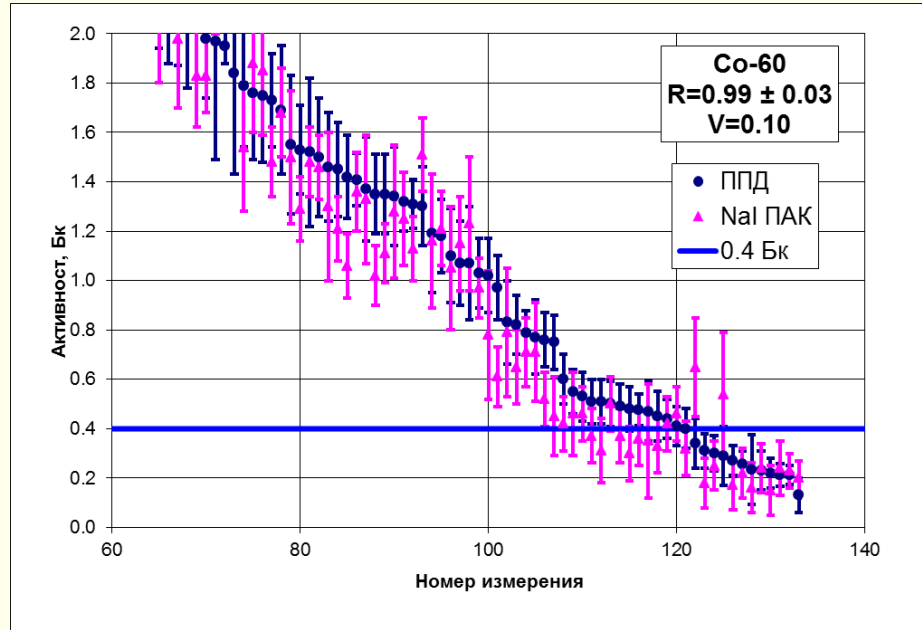
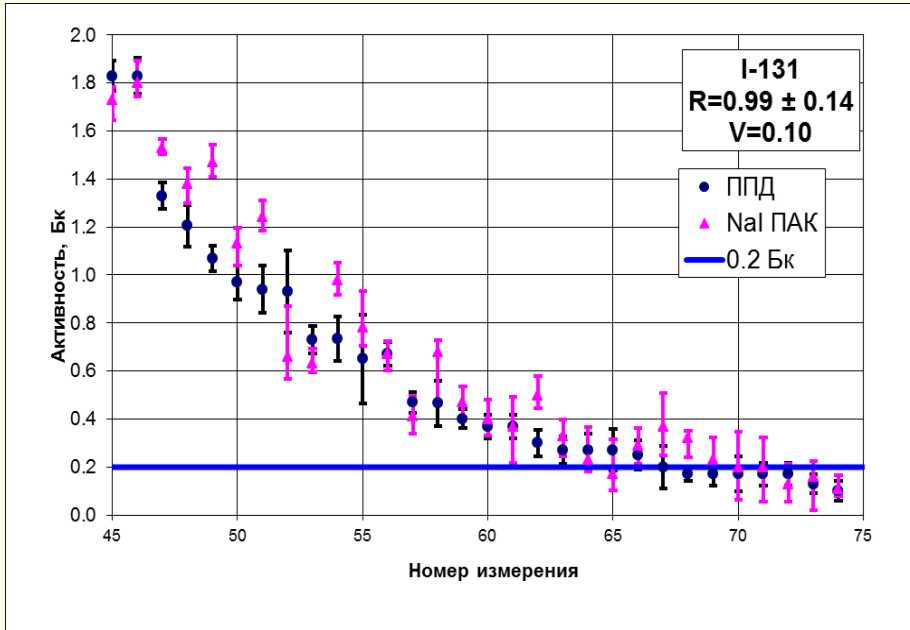
# Распределения активности радионуклидов в фильтрах АФА



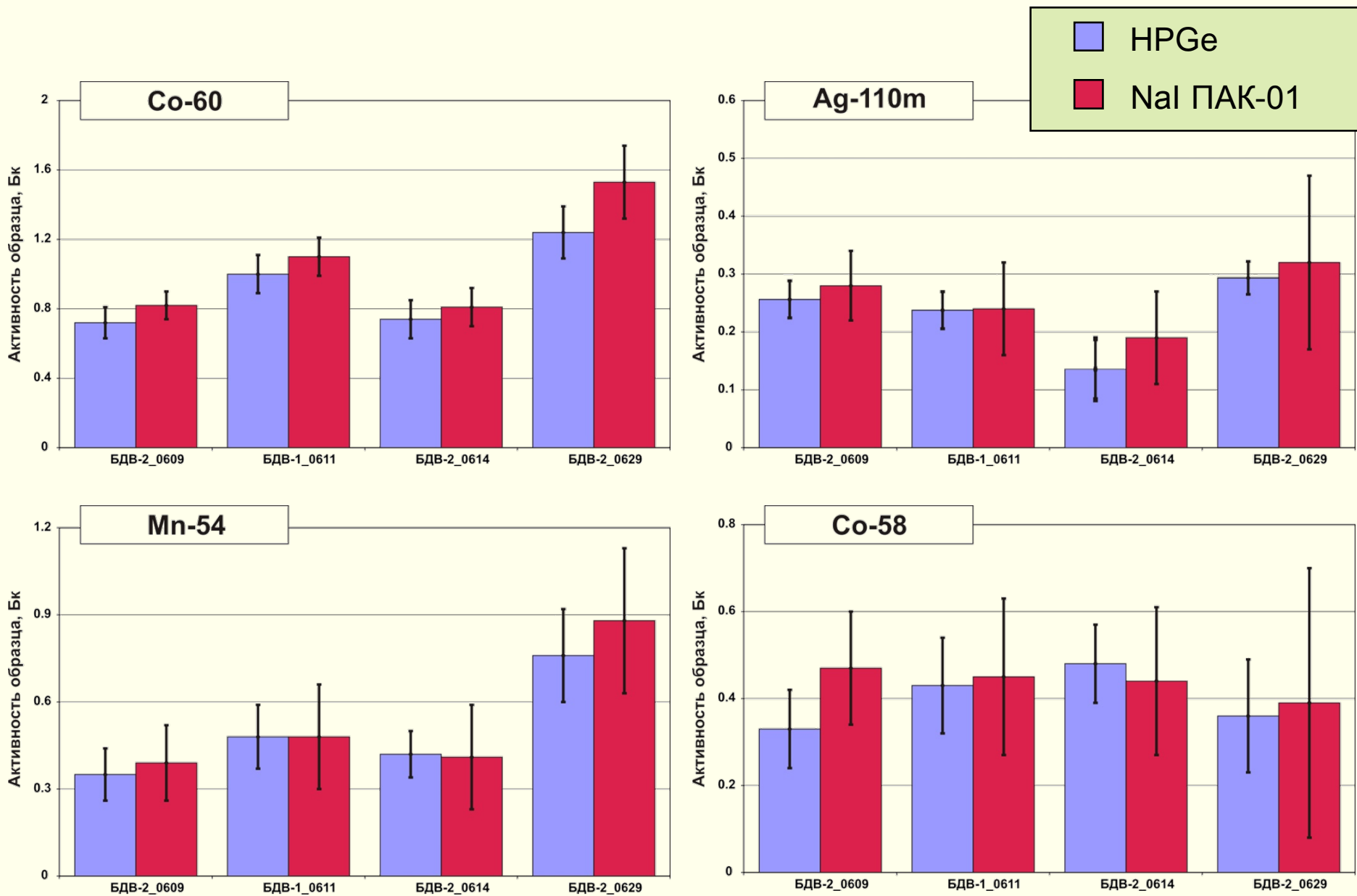
# Распределения активности радионуклидов в фильтрах АФА



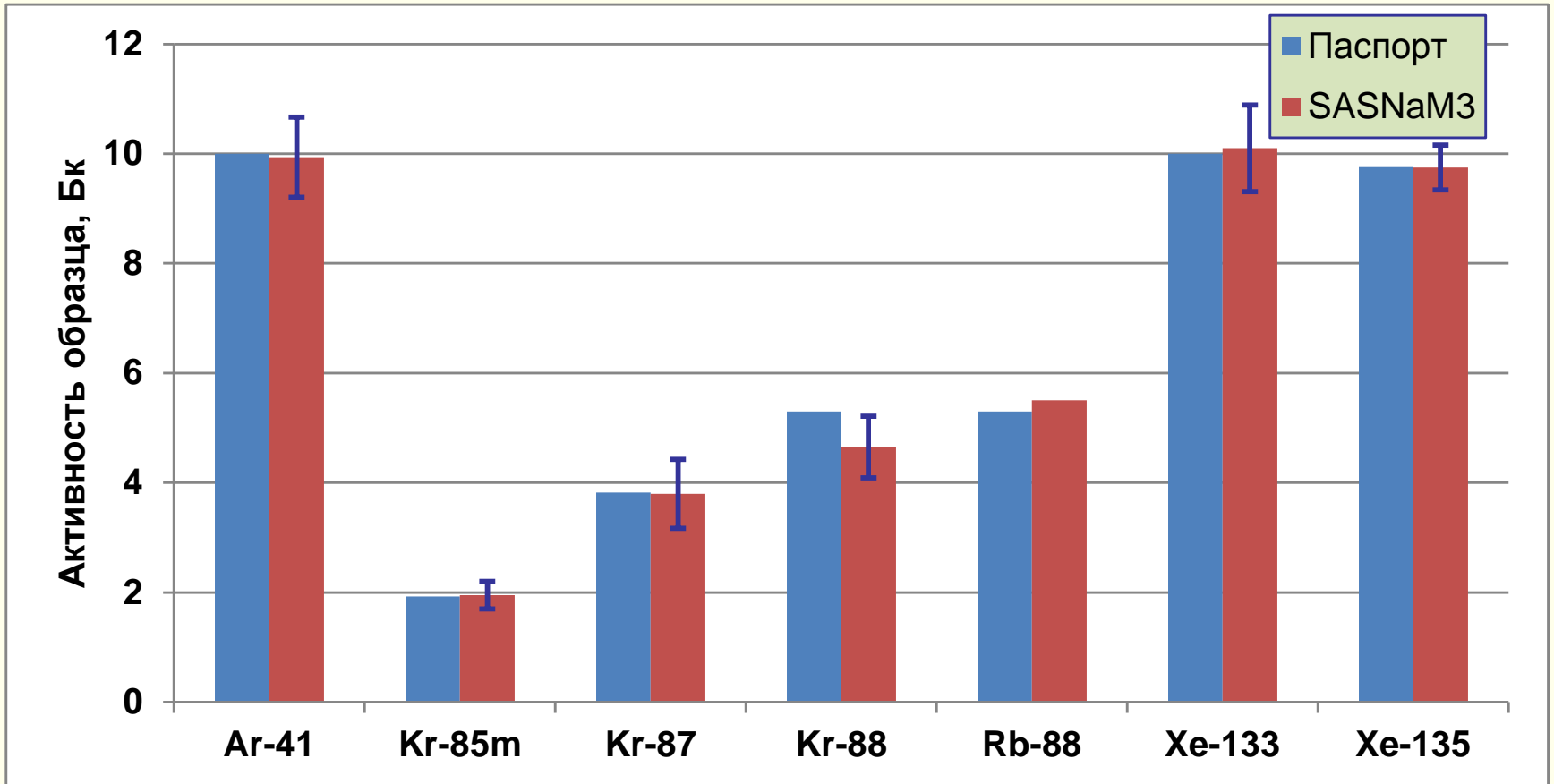
# Результаты определения активности фильтров АФА



# Дебалансные воды

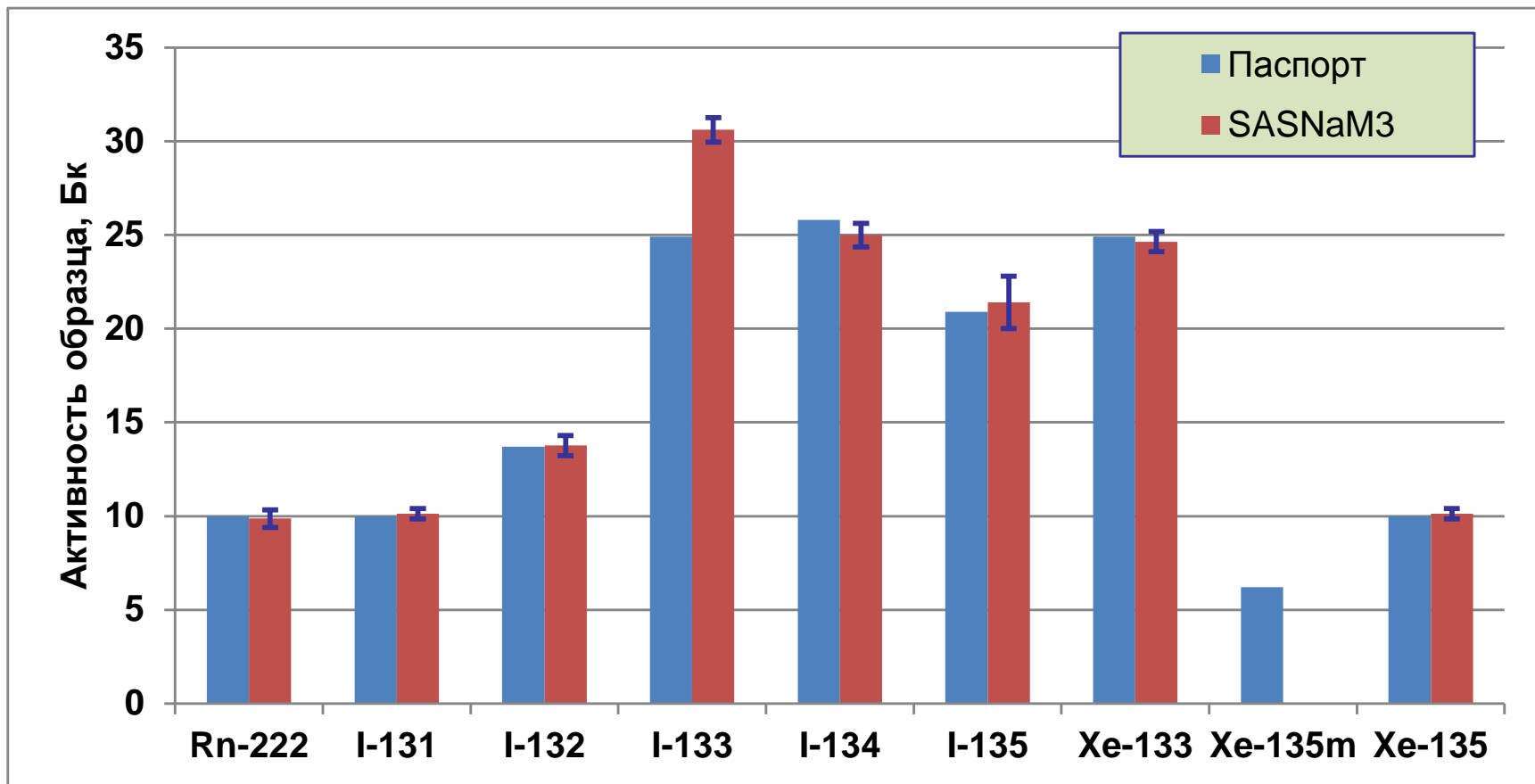


# О возможности измерения смеси РБГ с использованием NaI гамма-спектрометра



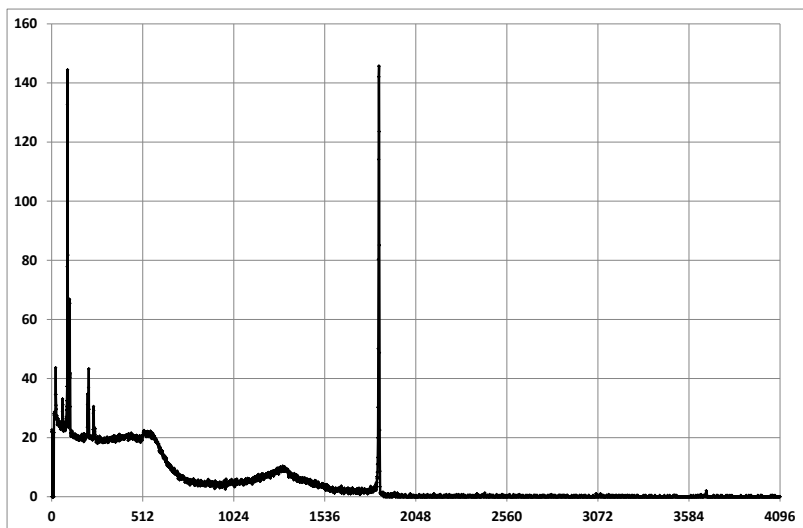
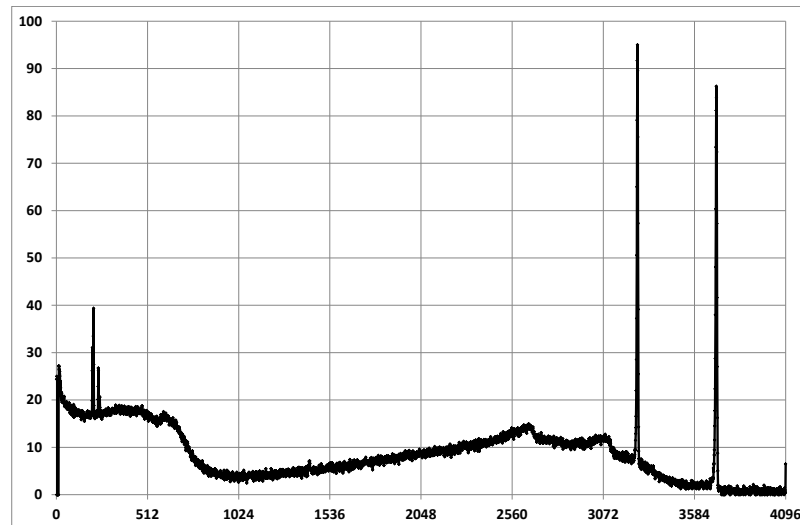
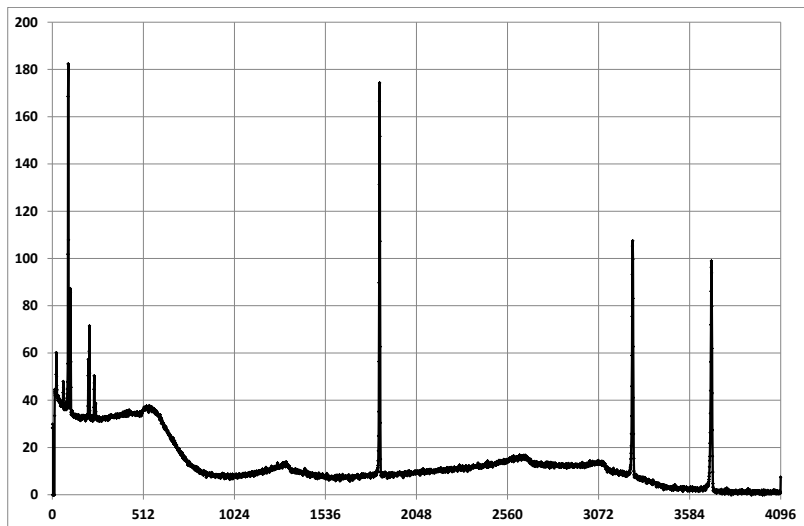


# О возможности измерения смеси радионуклидов йода с использованием NaI гамма-спектрометра



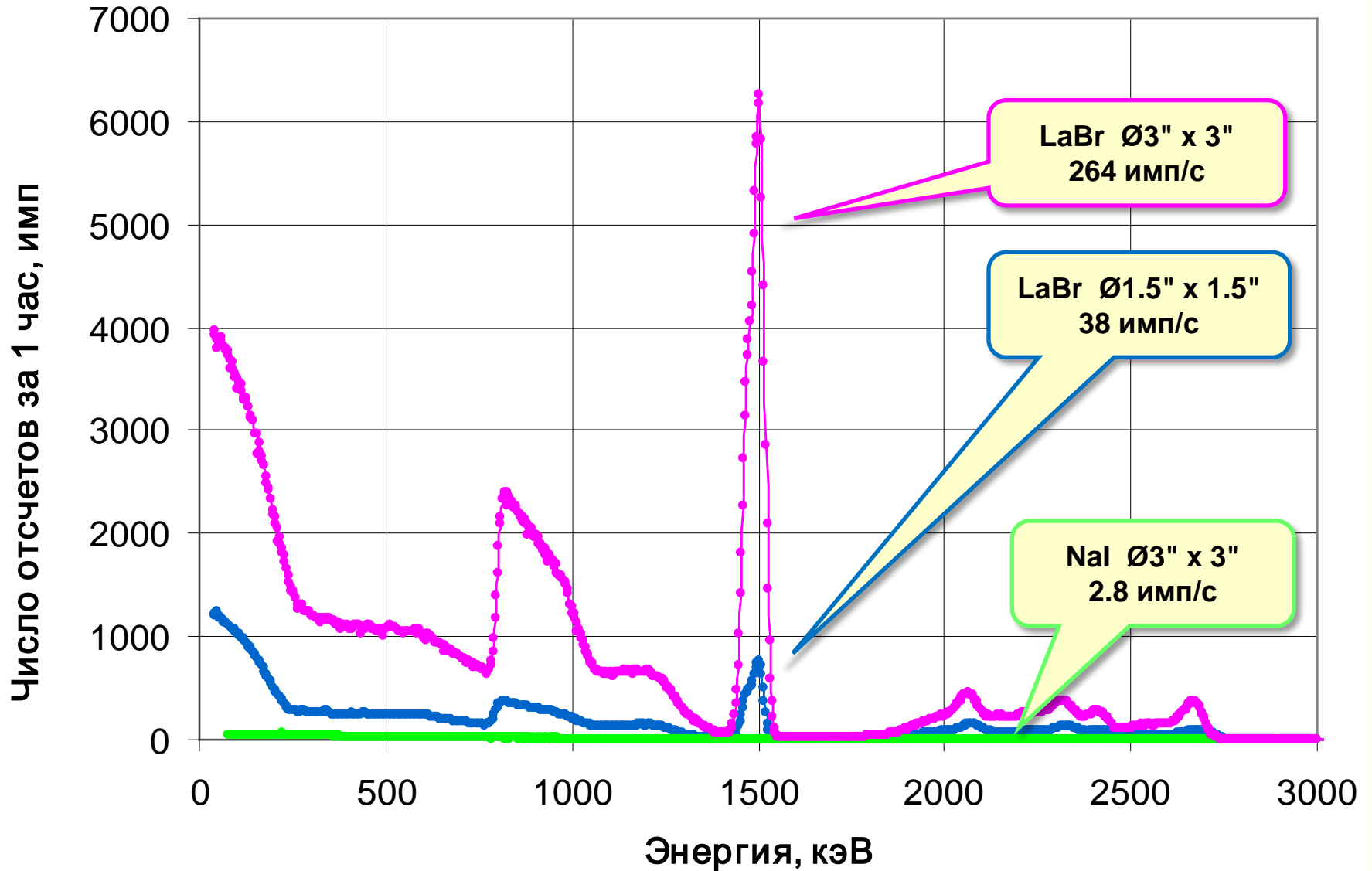


# Одна из проблем цифровых анализаторов очень авторитетного производителя

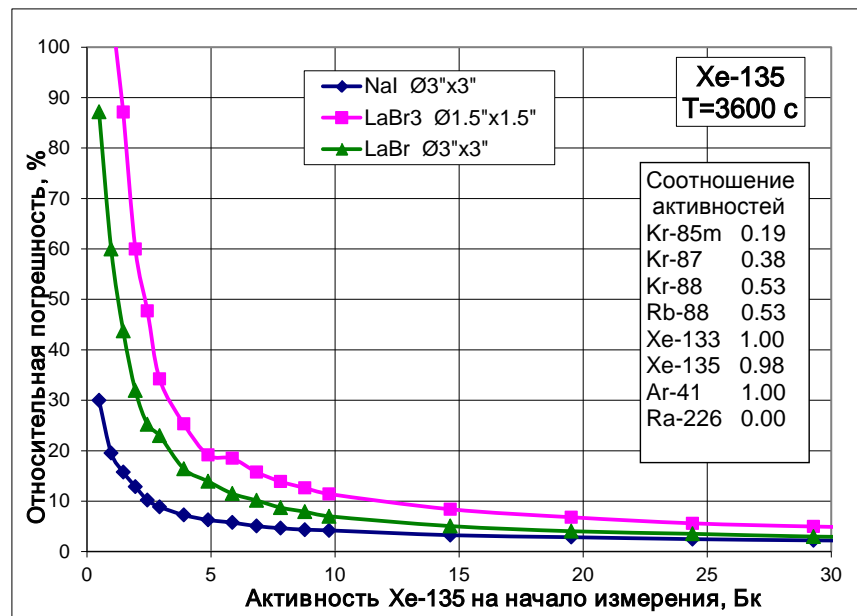
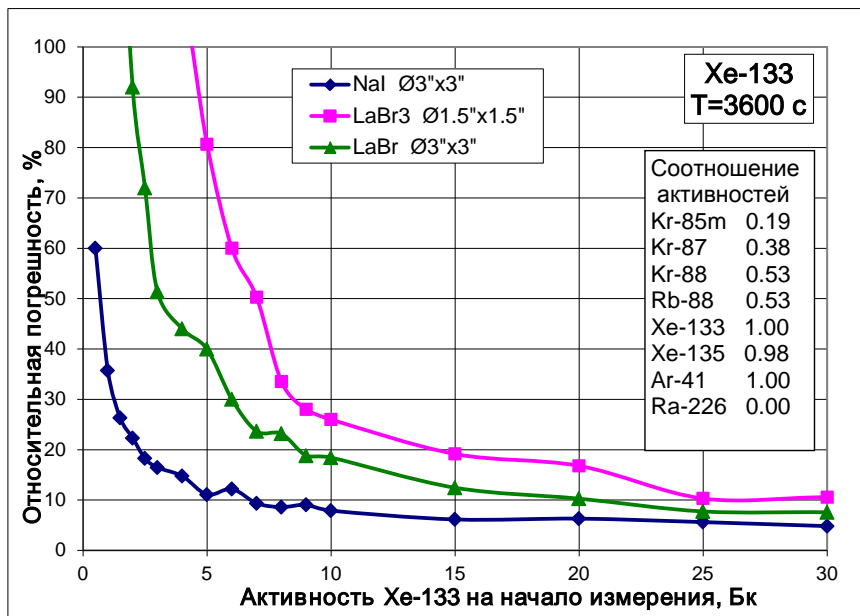
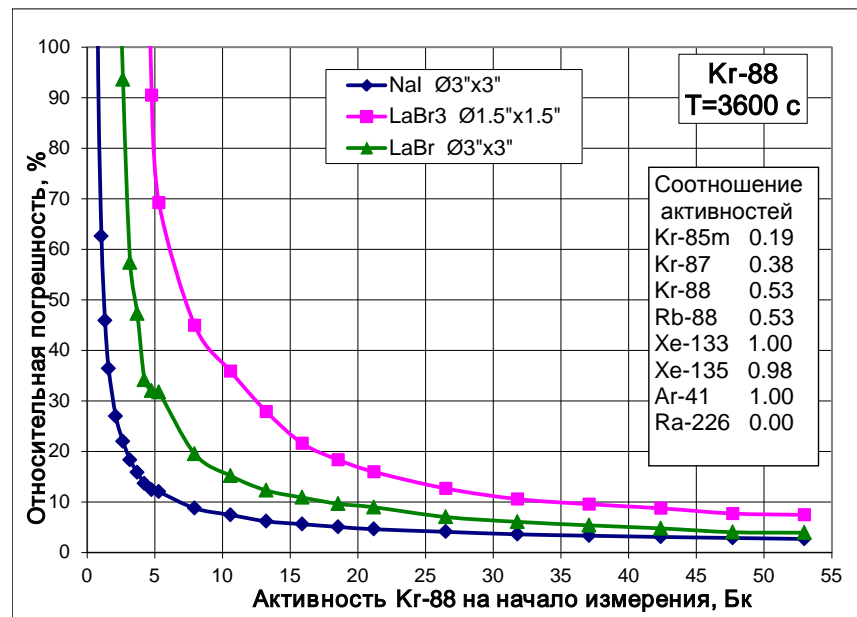
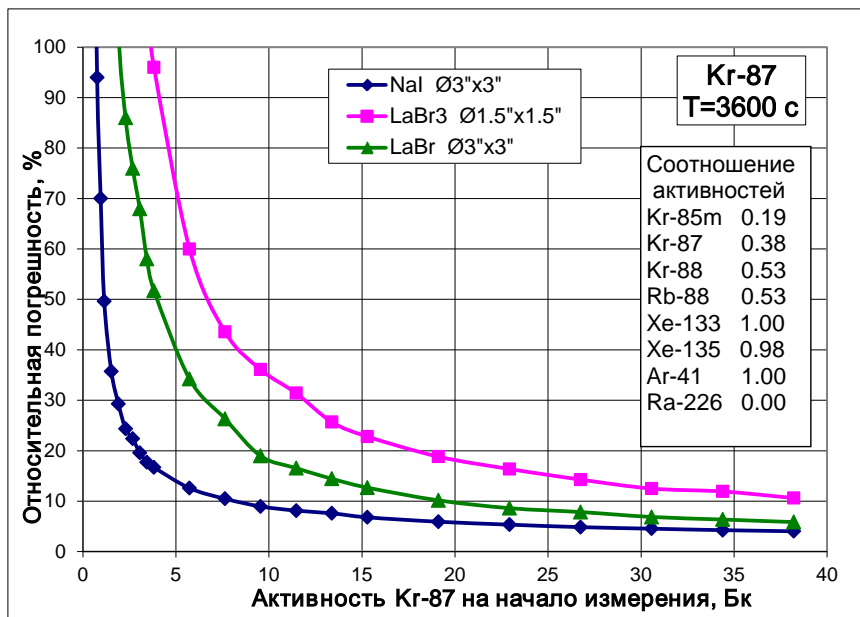


Нуклиды в источнике	Энергия п.п.п., кэВ	Скорость счета в п.п.п., имп/с	
		DSPEC Pro	Ortec 672 + Nokia LP4900
Цезий-137 + Кобальт-60	30	94.55	94.47
	662	151.4	262.84
	1173	80.9	83.59
	1332	74.0	75.0
Цезий-137	30	95.3	95.6
	662	174.8	268.3
Кобальт-60	1173	83.45	85.6
	1332	75.58	76.8

# Почему выбран NaI, а не LaBr<sub>3</sub> ?



# Почему выбран NaI, а не LaBr<sub>3</sub> ?



# Основные результаты и выводы.

- ✚ Спектрометр работоспособен в реальных условиях и на практике обеспечивает решение задач, под которые он разрабатывался.
- ✚ Характеристики спектрометра обеспечивают возможность его эффективной эксплуатации специалистами АЭС.
- ✚ Минимальные значения активности, определяемые за 1 час с помощью NaI ПАК-01, составляют:
  - **не более 0.4 - 0.5 Бк** каждого радионуклида, входящего в состав композиции Co-60, Co-58, Mn-54, Cs-137, Cs-134, Ag-110m, I-131, Zr-95; Nb-95, Cr-51, Fe-59, находящейся на аэрозольном фильтре;
  - **не более 0.2 Бк** радионуклида I-131 на йодном фильтре, дополнительно содержащем радионуклиды Co-60, Co-58 и Mn-54 с активностями ~ 0.2 – 0.5 Бк;
  - **не более 2 Бк/образец** каждого радионуклида в смеси Co-60, Co-58, Mn-54, Cs-137, Cs-134 при измерении в контейнере ГБп-0.500 объемом 0.5 литра.

# Положительные моменты использования NaI ПАК-01

- ✚ Научно-техническое сопровождение эксплуатации спектрометра
- ✚ Оптимизация измерительных возможностей лаборатории за счет параллельного использования нескольких сцинтилляционных гамма-спектрометров
- ✚ Возможность иметь резервные комплекты аппаратуры при относительно небольших финансовых затратах
  
- ✚ **По сравнению с HPGe гамма-спектрометрами:**
  - дешевле и проще в обслуживании и эксплуатации
  - в разы более низкая стоимость
  - существенно более высокая ремонтпригодность железа
  - более оперативное выполнение ремонта и сервиса железа
  - более оперативное апгрейдование управляющего и обрабатывающего софта
  - малозатратные возможности повышения чувствительности анализа
  - **практическая возможность построения измерительных систем, удовлетворяющих специальным эксплуатационным требованиям**
  
- ✚ Существенный потенциал для использования в беспроботборных системах непрерывного контроля сбросов и выбросов



# Низкофонный блок детектирования комплекса NaI ПАК-01 в ЛВРК НВАЭС

