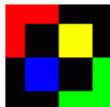


Применение программно-методического комплекса
Na Spectra Analysis System -SAS Na M3
для радионуклидного анализа проб сбросных вод
и аэрозольных выбросов АЭС РФ

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



Постановка задачи

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

Низкофоновая защитная камера НЗК-01

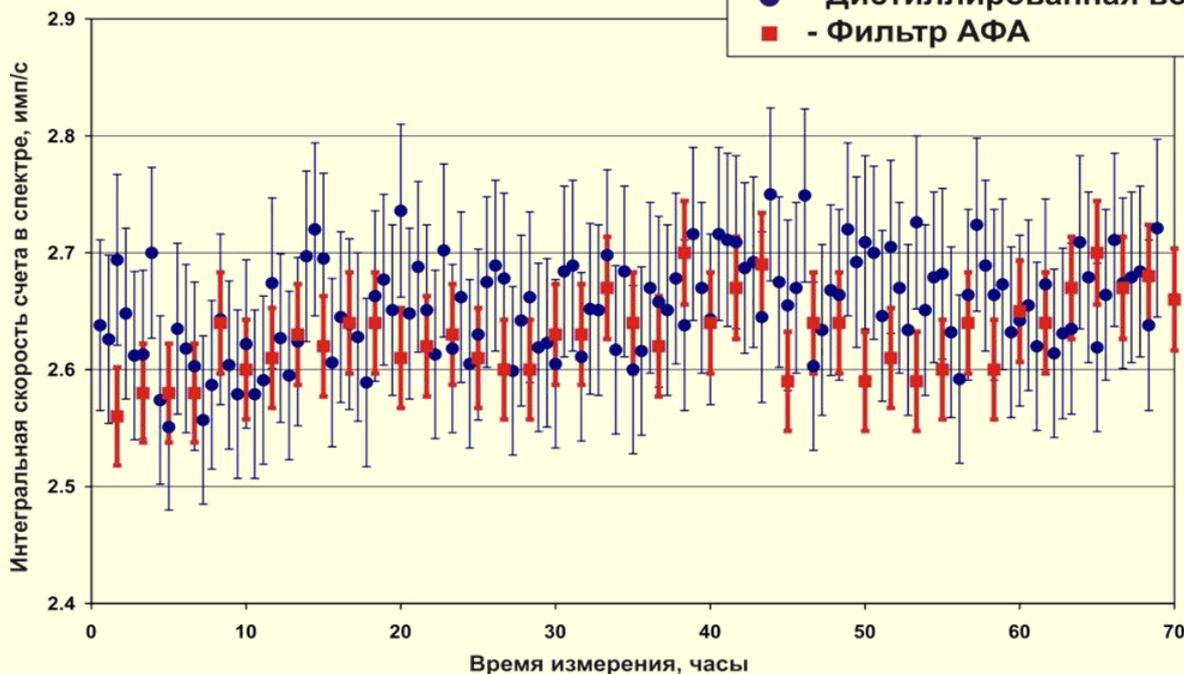


Защита "Экран-2П" ЛВРК
6.62 имп/с

Защита "АТОМТЕХ"
20.00 имп/с

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

● - Дистиллированная вода
■ - Фильтр АФА

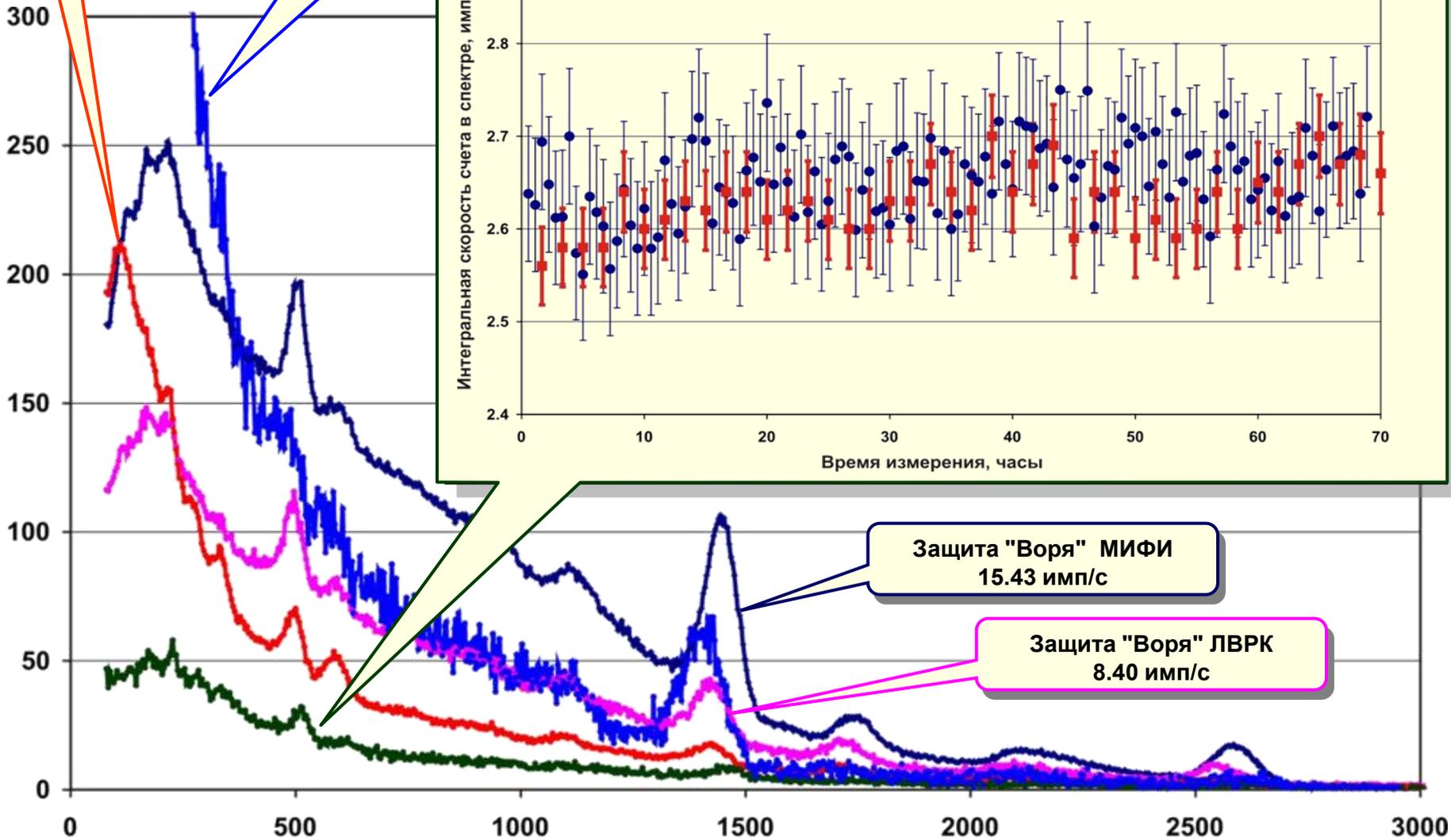


Защита "Воря" МИФИ
15.43 имп/с

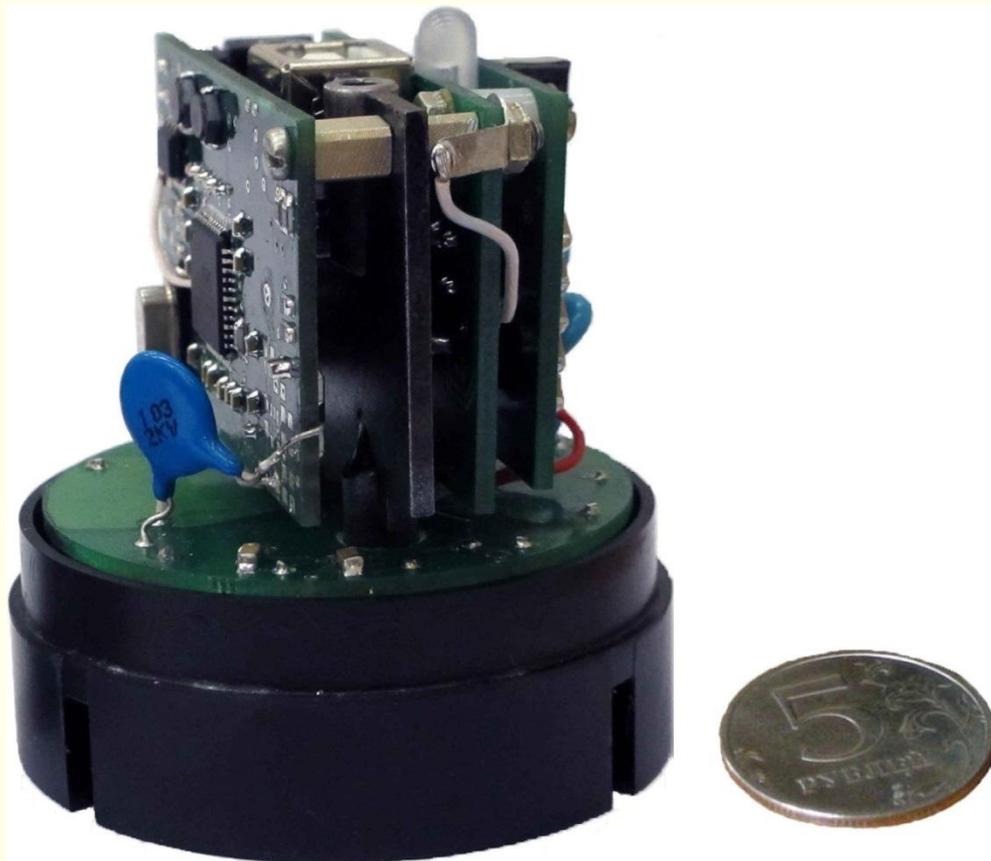
Защита "Воря" ЛВРК
8.40 имп/с

Энергия, кэВ

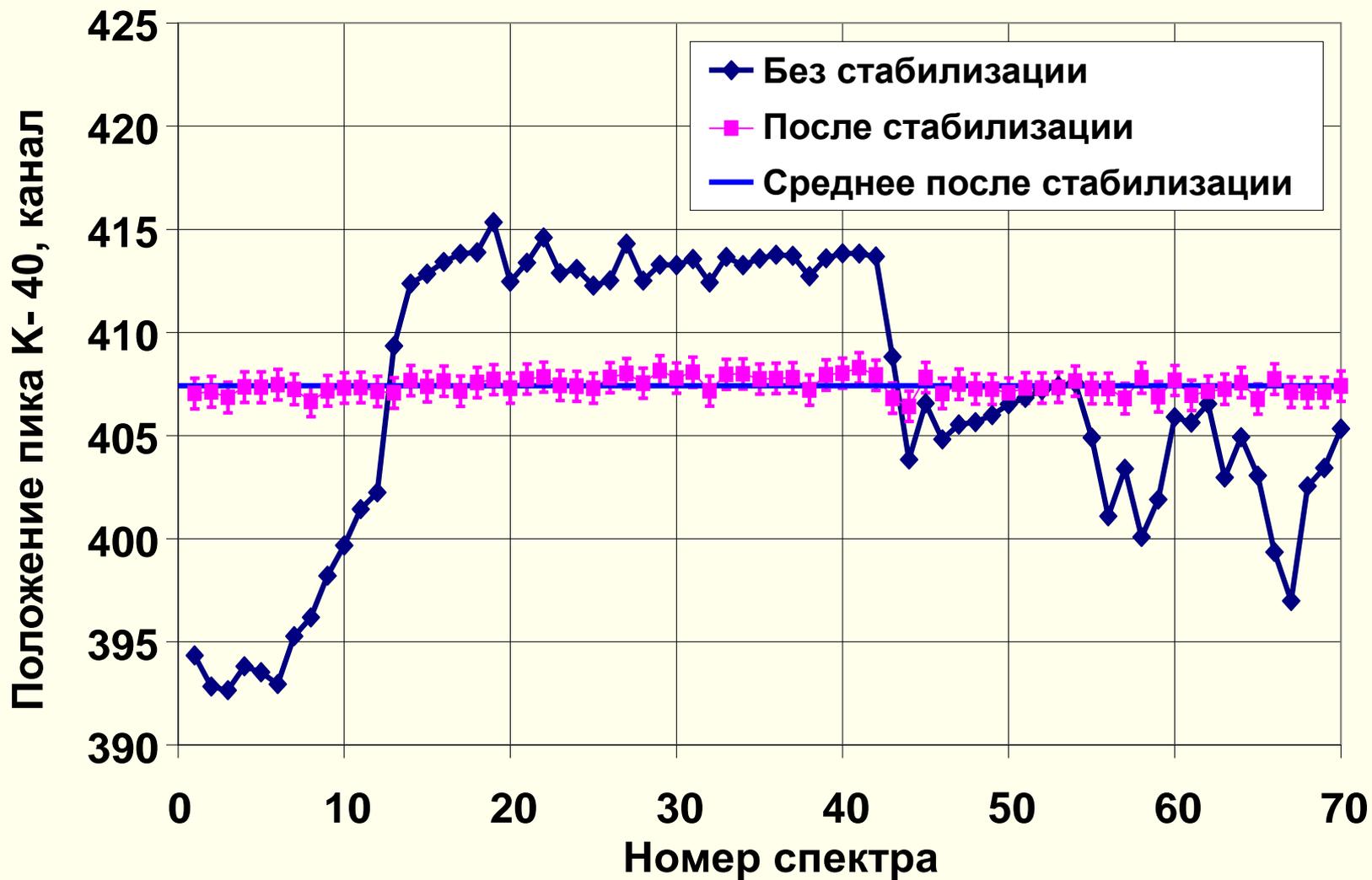
Скорость счета, имп/час



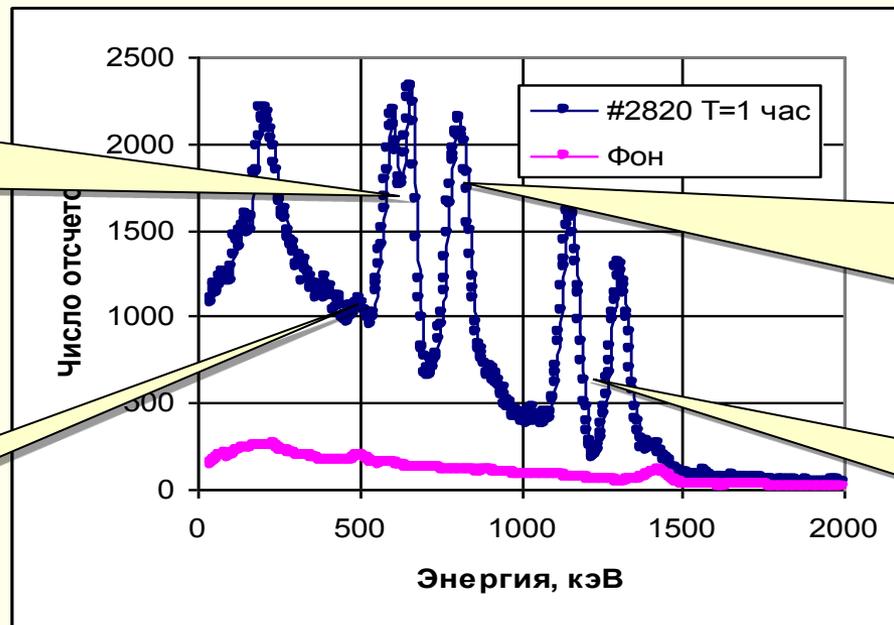
Цифровой спектрометрический процессор. Спектрометрический модуль.



Программа *SASNaMeas* управления работой комплекса NaI ПАК-01



Почему не метод пиков



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

Ag-110m 818.0 кэВ

Ag-110m 884.5 кэВ

Ag-110m 937.5 кэВ

Sc-46 889.3 кэВ

Co-60 1173.2 кэВ

Co-60 1332.5 кэВ

Fe-59 1099.3 кэВ

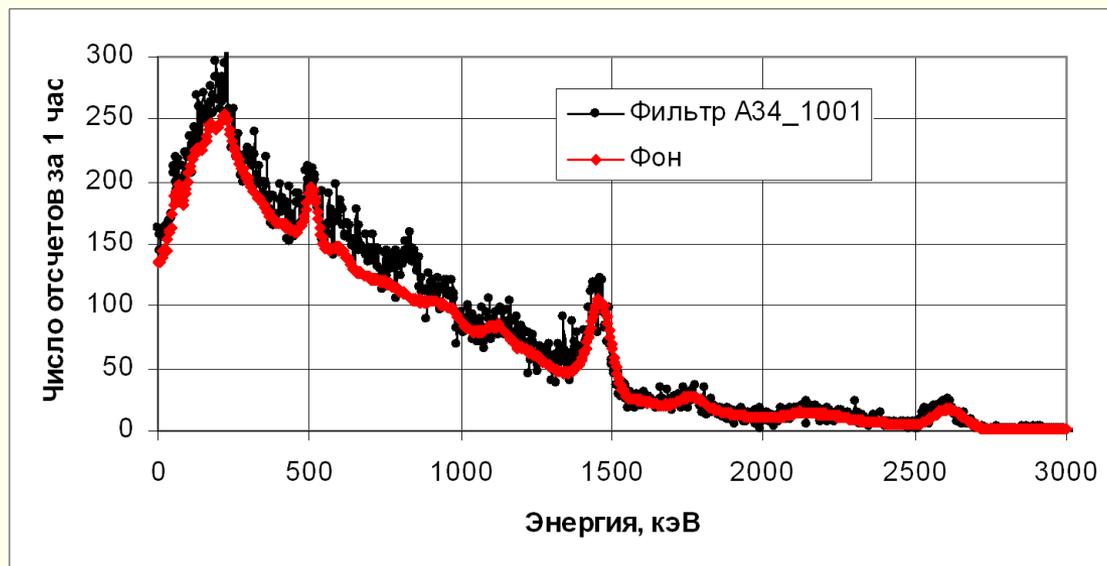
Fe-59 1291.6 кэВ

Zn-65 1115.5 кэВ

Sc-46 1120.5 кэВ

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

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

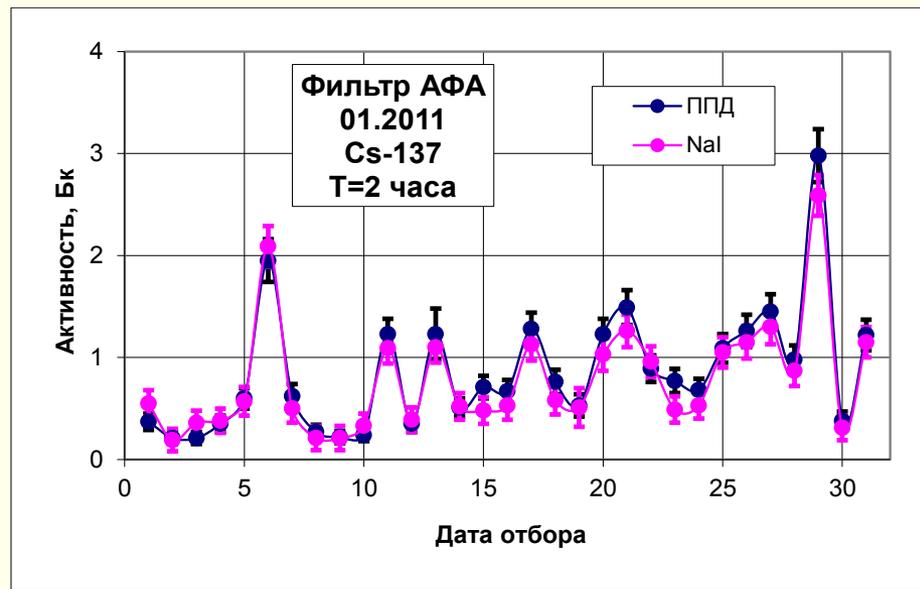
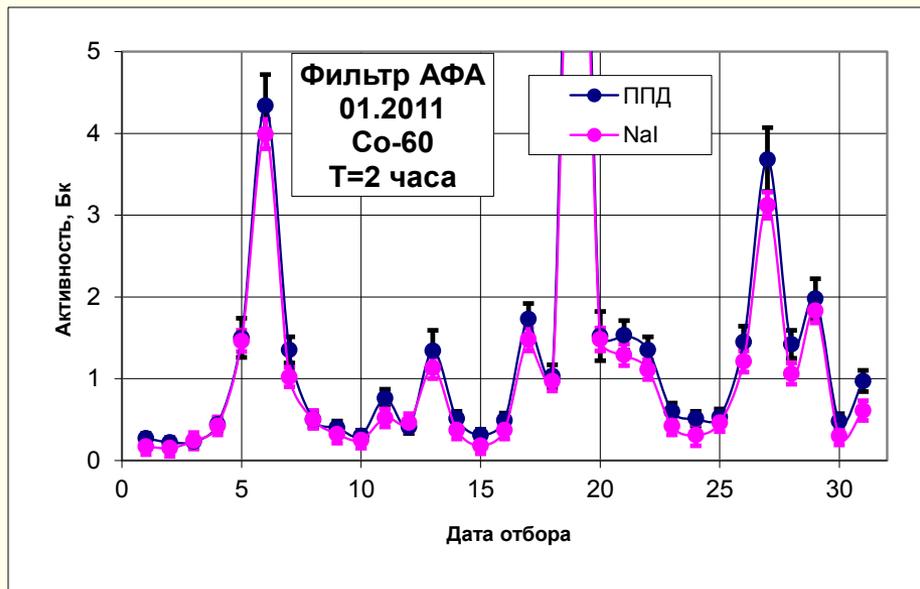
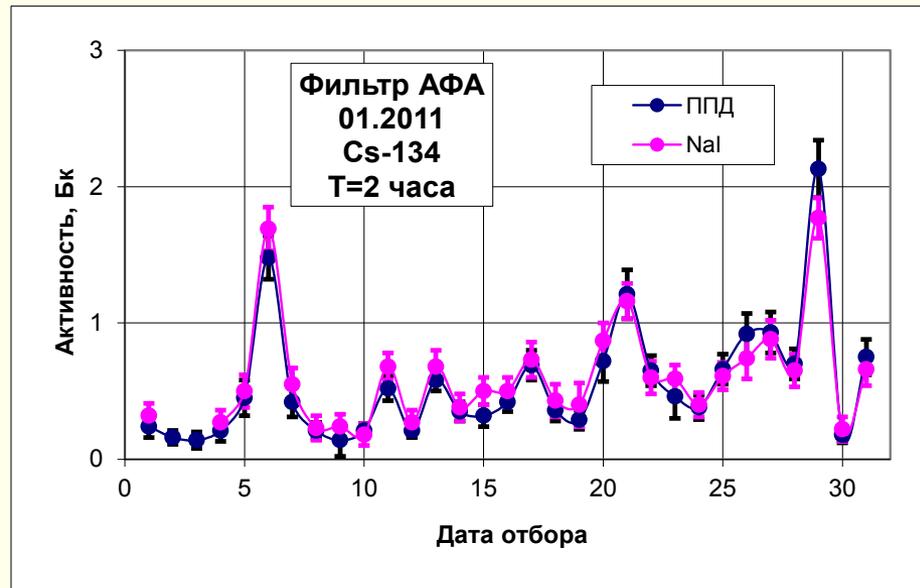
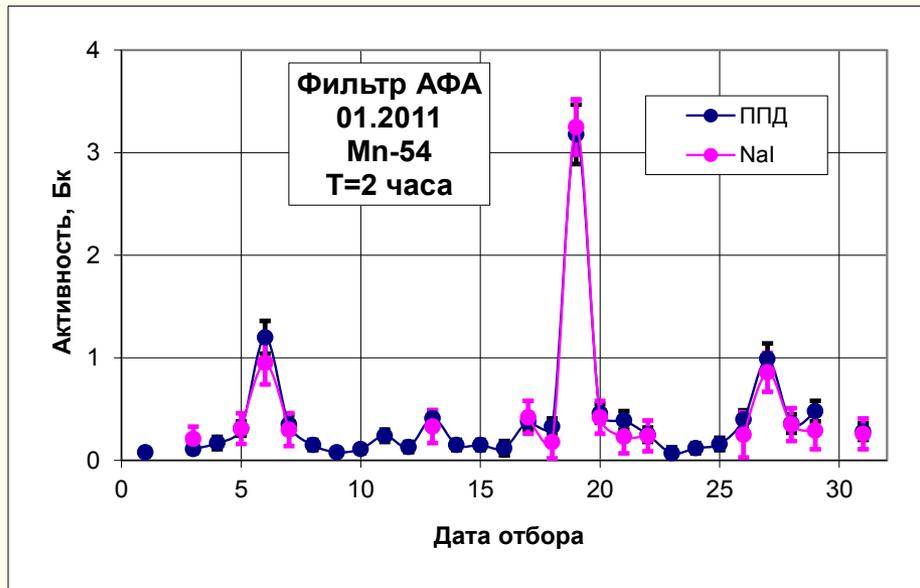
$$L(A[i]) = \sum Q_j \cdot L(B_j[i]),$$

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.

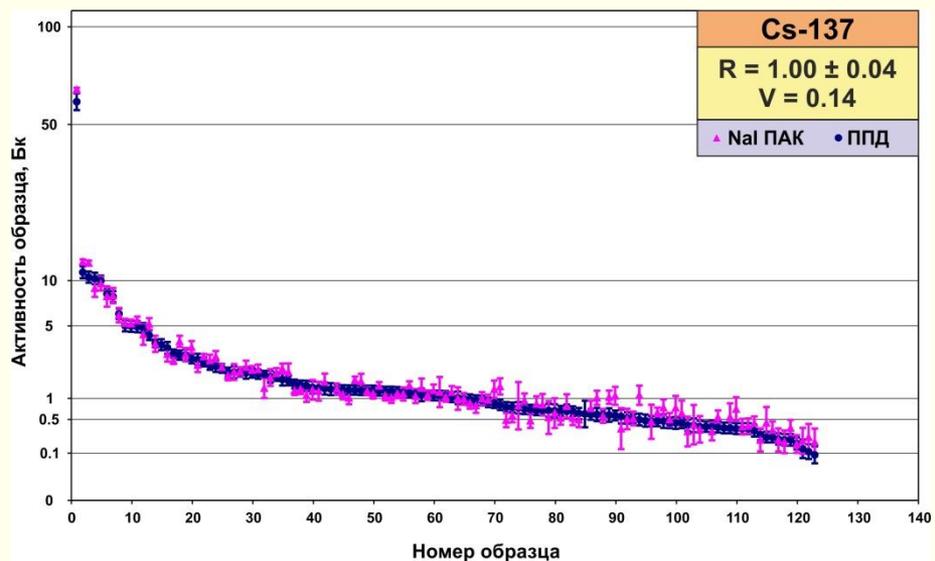
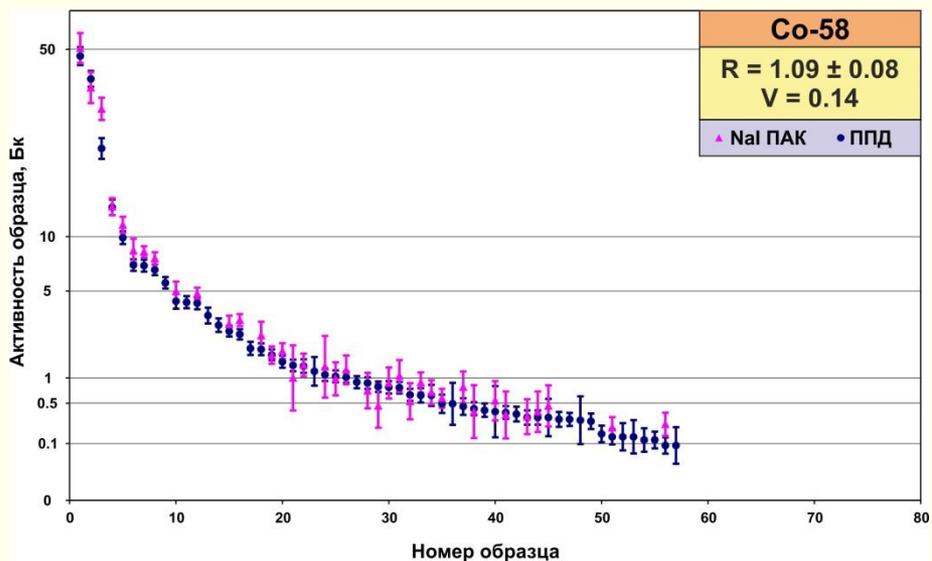
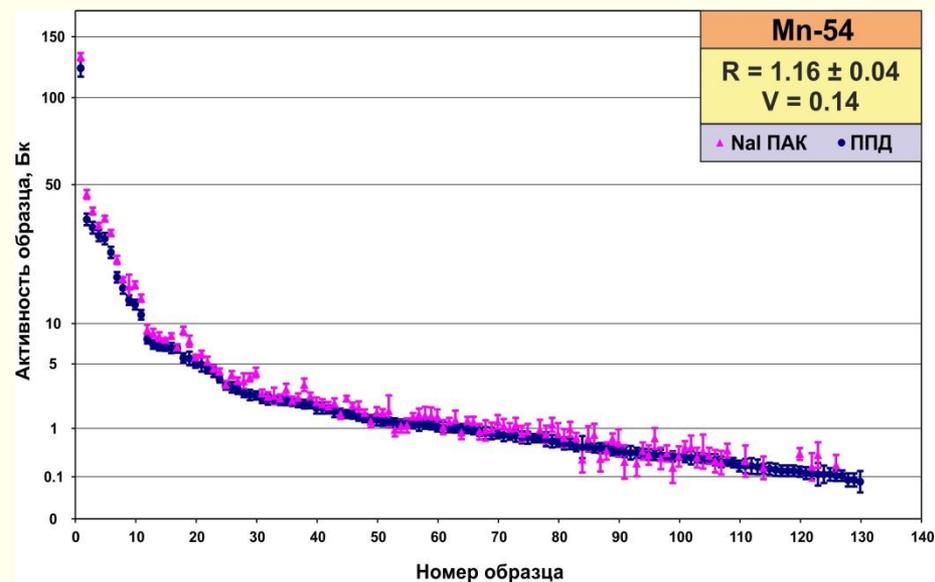
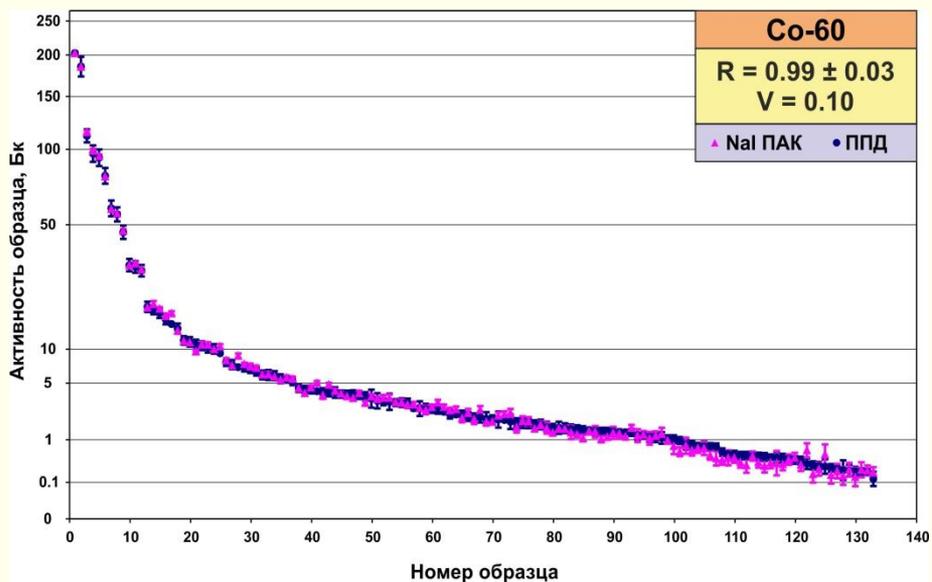
О спектрах-стандартах

- ✚ 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.

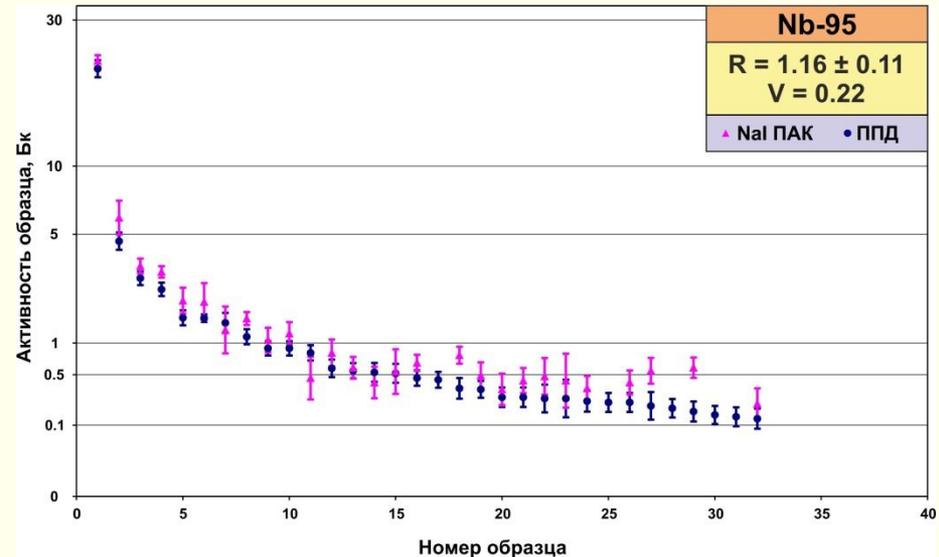
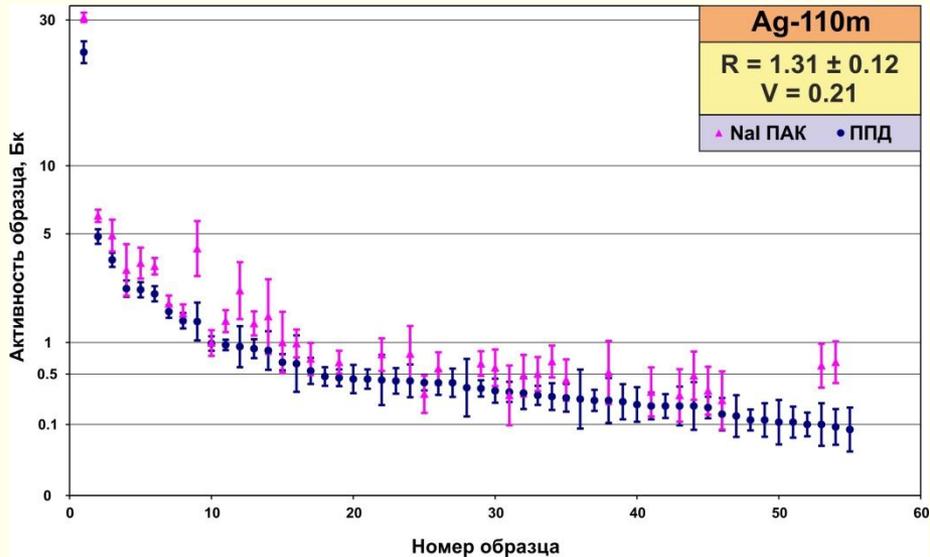
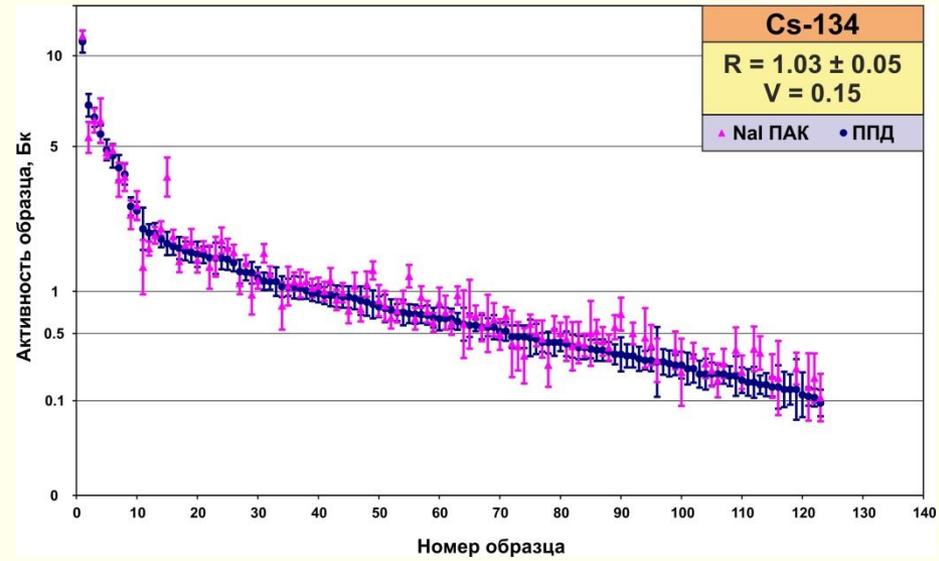
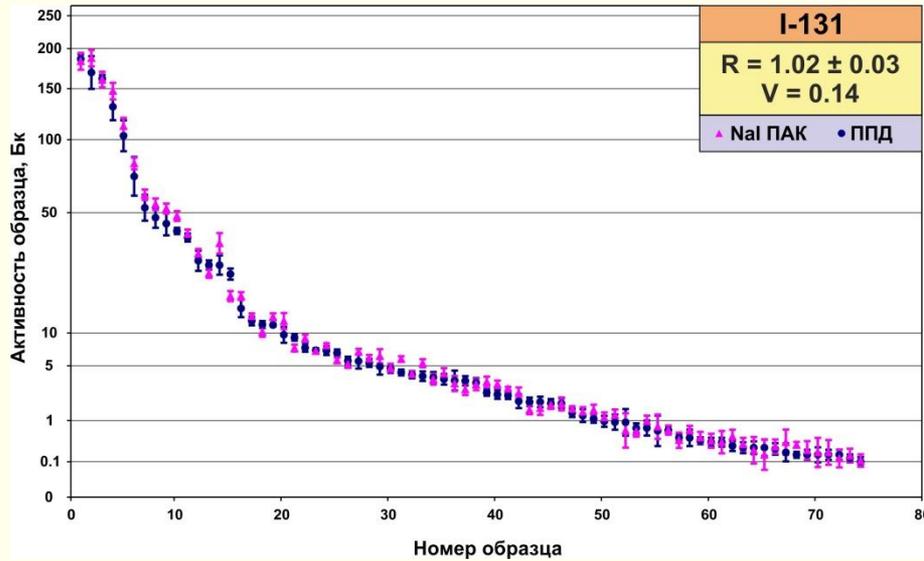
Распределения активности радионуклидов в фильтрах АФА из главной ВТ 3-4 блоков НВАЭС



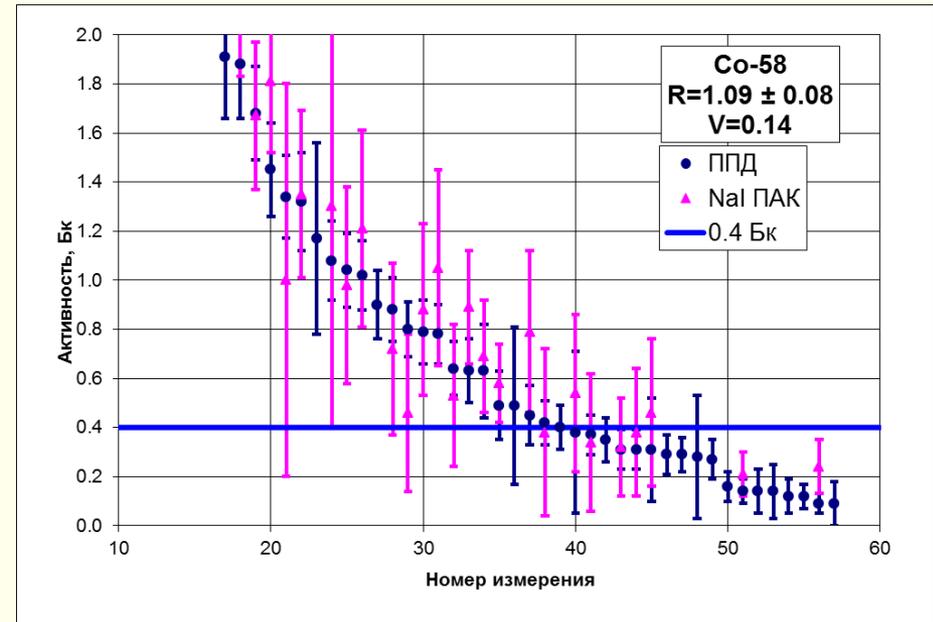
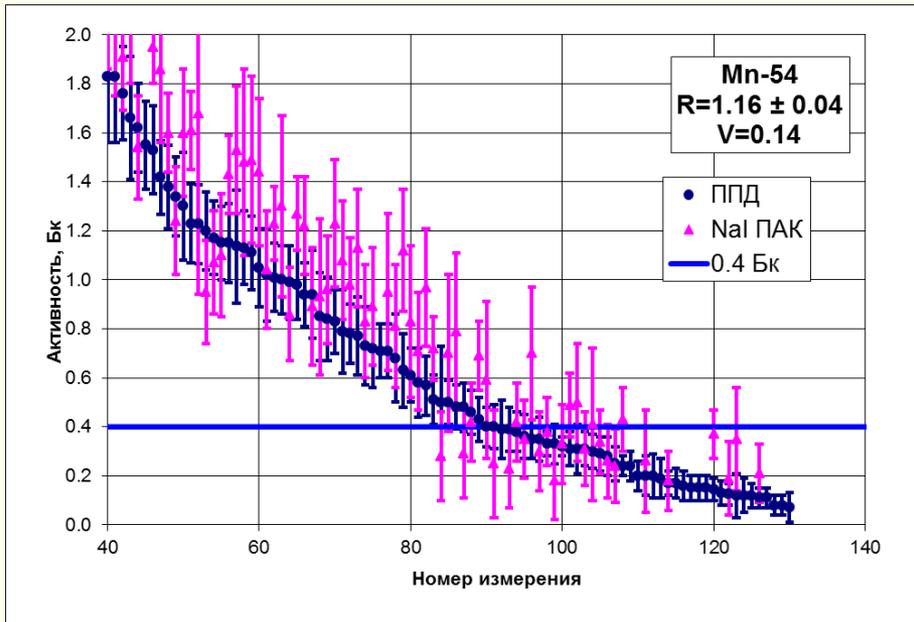
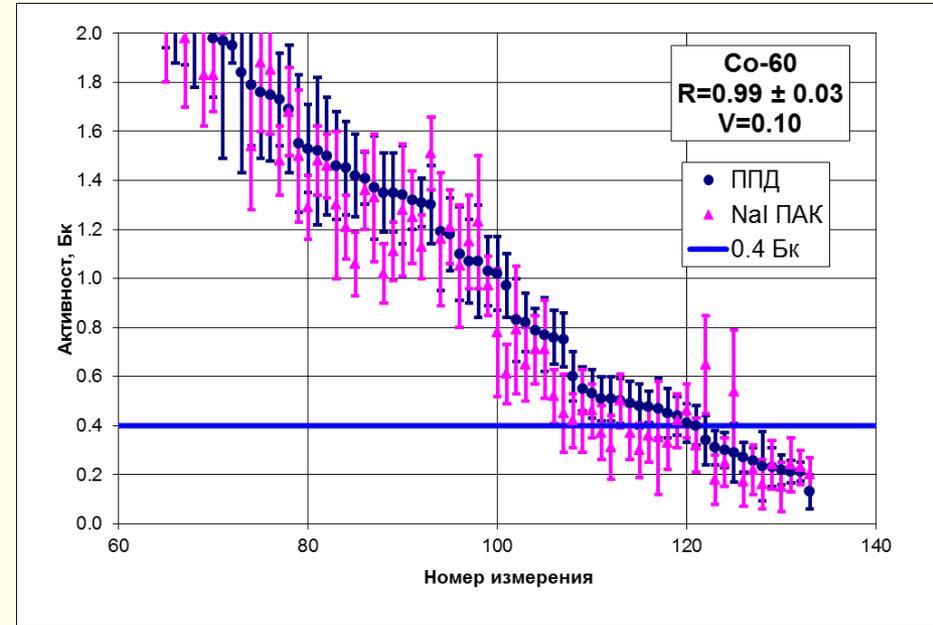
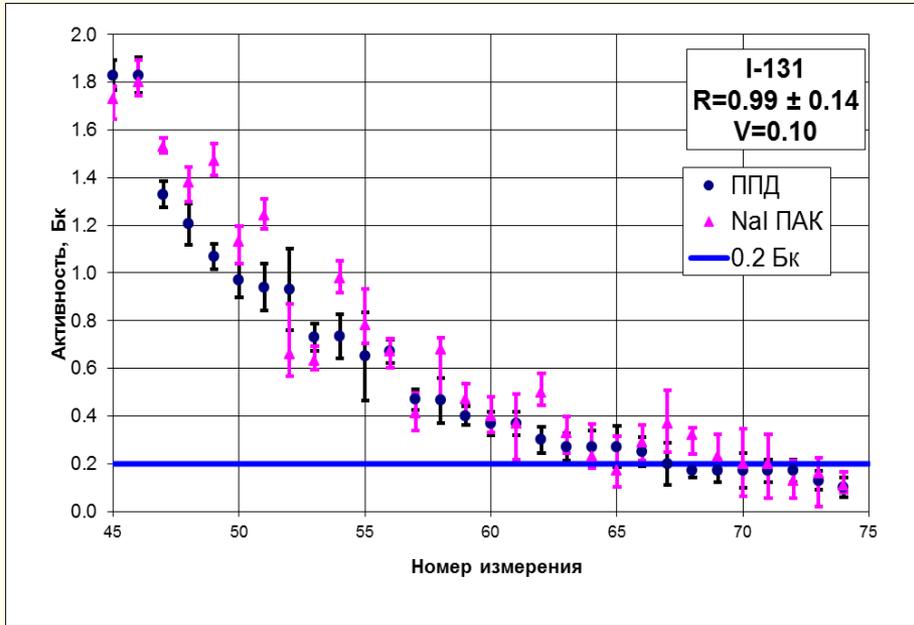
Распределения активности радионуклидов в фильтрах АФА



Распределения активности радионуклидов в фильтрах АФА



Результаты определения активности фильтров АФА





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

RU.C.38.002.A № 60634

Срок действия до 25 ноября 2020 г.

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Комплексы программно-аппаратные гамма-спектрометрические NaI ПАК

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Общество с ограниченной ответственностью "ЭкоСфера" -
ООО "ЭкоСфера", г. Москва

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № 62397-15

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
СФАТ.412125.005 РЭ, Раздел 6

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ 1 год

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по
техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2015 г. № 1453

Описание типа средств измерений является обязательным приложением
к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя
Федерального агентства



С.С.Голубев

24 12 2015 г.

Серия СИ

№ 022997



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ФГУП ВНИИФТРИ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

об аттестации методики (метода) измерений
(методики радиационного контроля)
№ 41172.16334/ RA.RU.311243-2015

Методика измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах, приготовленных из проб допустимых выбросов и сбросов Нововоронежской АЭС, с применением гамма-спектрометрического комплекса NaI ПАК разработанная ООО «ЭкоСфера» и НИЛ «Ядерно-физические технологии радиационного контроля» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и изложенная в документе «Методика выполнения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах, приготовленных из проб допустимых выбросов и сбросов Нововоронежской АЭС, с применением гамма-спектрометрического комплекса NaI ПАК», на 36 листах, утвержденном главным инженером Нововоронежской АЭС в 2016 г., аттестована ФГУП «ВНИИФТРИ» на соответствие метрологическим требованиям ГК Росатом (приказ N 1/10-НПА от 31.10.2013 г.) и ГОСТ 8.638 в порядке, определенном Минпромторгом России (приказ N 4091 от 15.12.2015 г.).

Методика основана на использовании средства измерений утвержденного типа с программой «Na Spectra Analysis System M3», позволяющей определять эффективность спектрометрического комплекса для реальных условий измерения.

Методика устанавливает порядок и способы выполнения измерений, обработки результатов и оценки их неопределенности. Методика обеспечивает измерения активности гамма-излучающих радионуклидов с энергией гамма-излучения 50 кэВ-3 МэВ в счетных образцах, изготовленных из проб допустимых сбросов и выбросов АЭС в диапазоне от 0.5 Бк до 10⁵ Бк при времени измерения не более 1 часа. Расширенная неопределенность измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в СОБ от 15 % до 50 % при доверительной вероятности P = 0.95, времени измерения не более 1 часа. Оценка неопределенности проводится для каждого конкретного измерения.

Методика аттестована по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке методики и результатов ее исследования.

Дата аттестации: 20 мая 2016 г.

Заместитель начальника НИО-4
по научно-методической и экспертной работе, д.т.н.



В.П. Ярына

С N0002543

Значения активности радионуклидов в единичном фильтре АФА.

НРГеспектрометр.Время измерения 58.93 часа.

Нуклиды	A ± ΔA, Бк			δA, %
Co-60	1.75	±	0.12	7
Co-58	0.81	±	0.05	6.75
Co-57	0.014	±	0.003	20.8
Cs-137	0.007	±	0.004	59.7
Cs-134	0.00	±	0.05	
Mn-54	0.36	±	0.02	5.8
Cr-51	0.57	±	0.19	34
Nb-95	0.48	±	0.04	8.7
Zr-95	0.051	±	0.014	27.7
Fe-59	0.044	±	0.021	48.2
Ag-110m	0.031	±	0.013	41.3
Ru-103	0.018	±	0.015	84
Zn-65	0.021	±	0.011	50
Sb-124	0.35	±	0.04	11.5

Сравнение результатов определения активности счетного образца «пачка 30 фильтров АФА», полученных различными способами

Активность долгоживущих радионуклидов в счетном образце «пачка 30 фильтров АФА», Бк

Нуклид	«Паспортные» значения активности		Методика «пачка 30 фильтров»		Обработка суммы « 30 спектров» $T_{ж} = 7200$ с (НИЛ ЯФТРК)		Сложение значений активности, полученных при обработке 30 спектров с $T_{ж} = 7200$ с (НИЛ ЯФТРК)	
	$A \pm \Delta A$	δA %	$A \pm \Delta A$	δA %	$A \pm \Delta A$	δA %	$A \pm \Delta A$	δA %
Co-60	4.46 ± 0.31	7	2.00 ± 0.01	2	4.39 ± 0.31	7	4.43 ± 1.06	8
Co-58	2.57 ± 0.28	11	1.29 ± 0.20	3	2.61 ± 0.29	11	2.87 ± 0.35	12
Cs-137	1.39 ± 0.15	11	1.00 ± 0.01	3	1.43 ± 0.14	10	1.43 ± 0.15	10.5
Cs-134	0.029 ± 0.014	49	=		< 0.13		0.136 ± 0.090	66
Mn-54	1.07 ± 0.08	7	0.50 ± 0.02	4	1.14 ± 0.15	13	1.16 ± 0.16	14
Cr-51	10.7 ± 1.1	10	6.75 ± 0.27	4	12.14 ± 1.24	32	16.1 ± 4.7	29
Nb-95	1.29 ± 0.32	25	0.39 ± 0.02	5	1.96 ± 0.49	25	1.61 ± 0.47	29
Sb-124	0.50 ± 0.06	12	=		1.07 ± 0.49	46	0.64 ± 0.26	40

Измерительный образец | Проба | Выброс активности с нарастающим итогом

Выброс за месяц | Выброс за квартал | Выброс за год

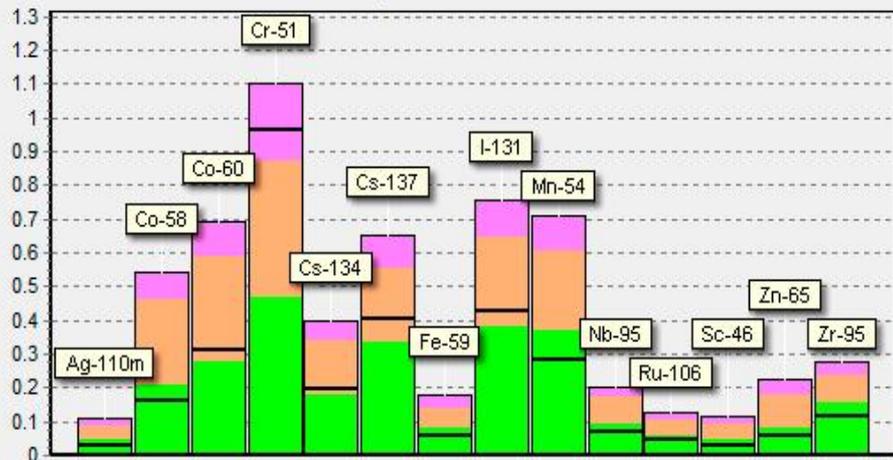
Активности выброса | Гистограмма выброса

№	Нуклид	Выброс за месяц, МБк	Уровень, МБк	Доля от уровня, %
1	Ag-110m	0.150 ± 0.029		
2	Co-58	0.060 ± 0.028		
3	Cr-51	0.47 ± 0.33	7.50E+01	3.24E-02 %
4	Cr-51	0.96 ± 0.44		
5	Cs-134	0 ± 0.028	7.50E+01	3.79E-02 %
6	Cs-137	0.078 ± 0.054	1.70E+02	7.72E-02 %
7	Fe-59	0.054 ± 0.035		
8	I-131	0.044 ± 0.064	1.50E+03	7.19E-03 %
9	Mn-54	0 ± 0.028		
10	Nb-95	0 ± 0.035		
11	Ru-106	0 ± 0.045		
12	Sc-46	0 ± 0.040		
13	Zn-65	0 ± 0.087		
14	Zr-95	0.121 ± 0.044		

Активности | Гистограмма активностей | Выброс за месяц

Активности выброса | Гистограмма выброса

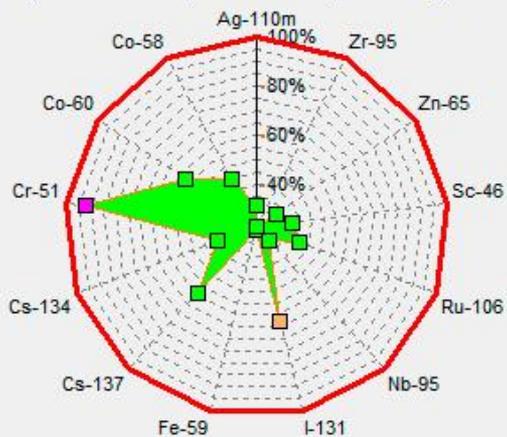
Выброс за месяц, МБк



Активности | Гистограмма активностей | Выброс за месяц

Активности выброса | Гистограмма выброса

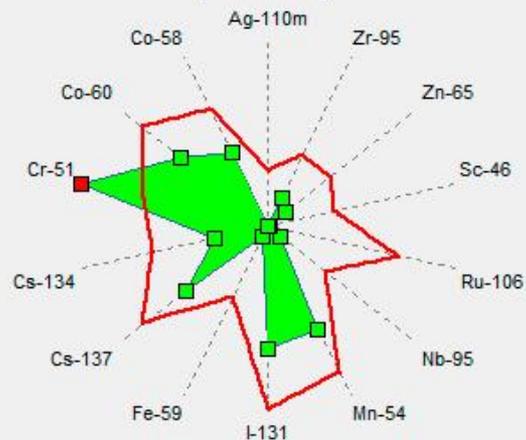
Выброс за месяц в сравнении с контрольными уровнями



Активности | Гистограмма активностей | Выброс за месяц

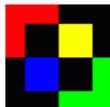
Активности выброса | Гистограмма выброса

Выброс за месяц, МБк



**Быстрая идентификация радионуклидов
с помощью программы «*Na Spectra Analysis System*» - SAS Na M3
в задаче контроля РДМ
спектрометрическими порталными мониторами**

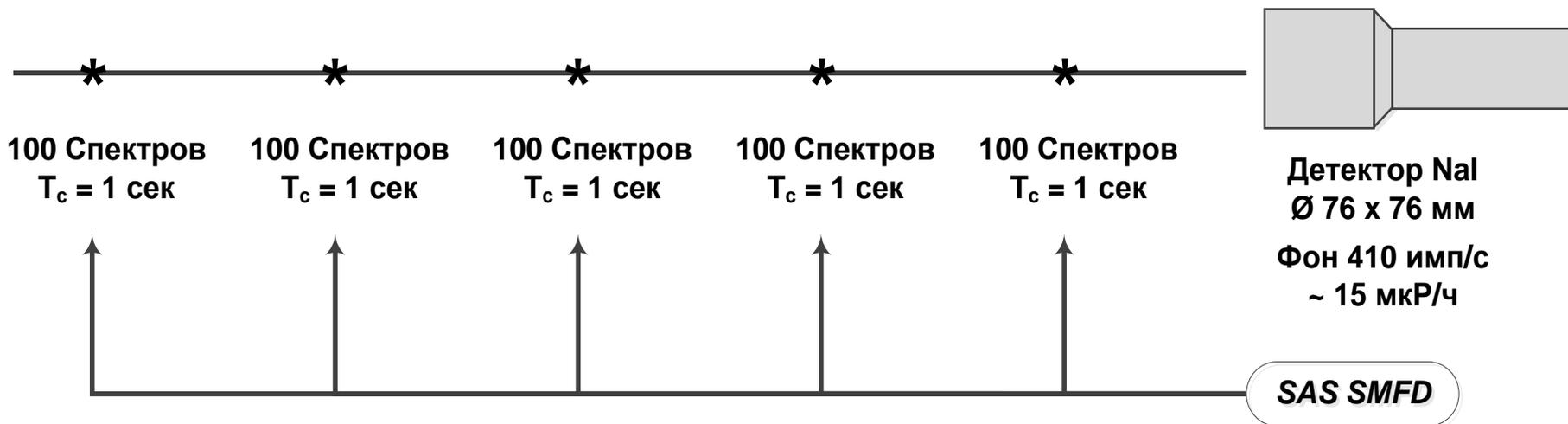
В.В Дровников, Н.Ю. Егоров, В.М. Живун, А.А. Кадушкин, В.В. Коваленко, А.И. Новоселов



Быстрая идентификация радионуклидов по результатам гамма-спектрометрических измерений представляется необходимой в связи с задачей в рамках задачи «разбраковки» в реальном времени плотного пассажиропотока:

- + на свободных от «дополнительных» радионуклидов пассажиров**
- + на пассажиров - носителей медицинских и/или естественных радионуклидов;**
- + на пассажиров - носителей техногенных радионуклидов.**

«Быстрая» в данном контексте означает не только то, что процедура обработки с целью идентификации занимает малое время условно ~ 1 секунда и менее, но и то, что идентификация должна быть выполнена на основании обработки спектра с плохой статистикой (статистически слабо обусловленный спектр).



Медицинские радионуклиды: ^{131}I , ^{133}Xe , $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Техногенные радионуклиды: ^{137}Cs , ^{60}Co

Естественные радионуклиды: ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th

