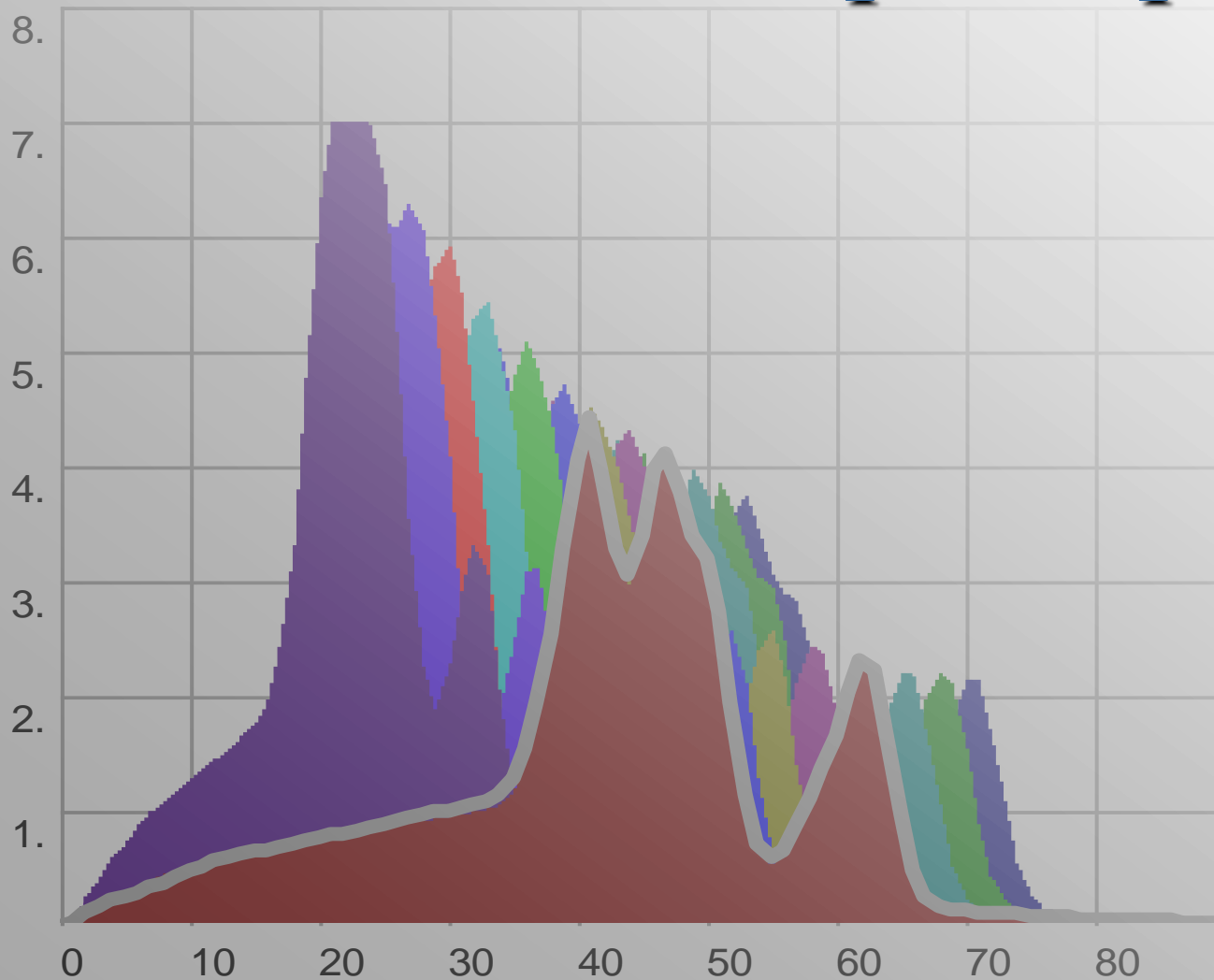


Конвертация библиотек ЖС-спектрометров серии

TriCarb



С.В. Малиновский,
И.А. Каширин,
А.И. Ермаков,
В.А. Тихомиров,
А.И. Соболев
*ГУП МосНПО
«Радон»,
Москва, Россия*

Семейство программ *SpectraDec*

SD - SpectraDec LSC
_ □ ×

Файл Отчёта Проба Модель Настройки Справка

Bkg

 Calc

Название:
Время: s
Дата:

Тушение +/-

Диапазон обработки спектра:
 -

Масса (объём) пробы:
 г (мл)

Активность метки:
 Бк

KXB:
 %

Измерение
Обработка
Отчёт

Изотопы	Z	N	ε	A, Бк	Av, Бк/кг(л)	σ, %
		имп.				
Co-60	27	7756	0.931	0.231	11.6	36
Cs-137	55	31775	1.153	7.99	400	3
H-3	1	2400	0.409	0.163	8.15	50
Ni-63	28	12468	0.752	0.46	23.	24
Tc-99	43	68702	0.999	10.3	513	13
U-234	92	22909	1.161	0.548	27.4	5
U-236	92	20003	1.005	0.553	27.6	6
Y-88	39	13697	0.560	0.68	34.	24
Сумма		79713		20.9	1.04e+3	

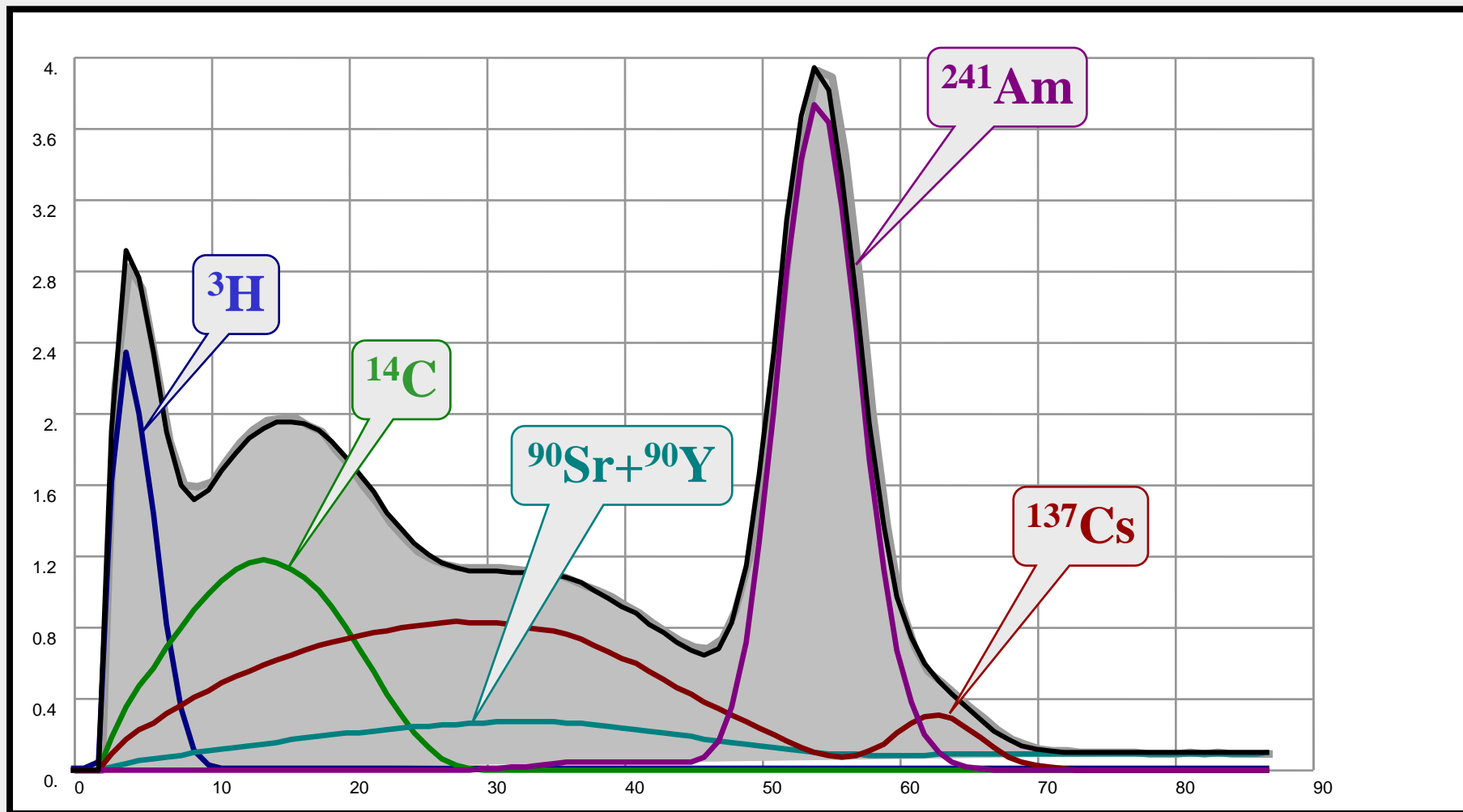
SpectraDecAlpha

SpectraDecBeta

For Help, press F1
SCRL

Математический алгоритм обработки

Моделирование аппаратного спектра пробы спектрами отдельных радионуклидов, полученными из предварительно созданной нуклидной библиотеки



Способы формирования радионуклидной библиотеки

- **Прямые измерения спектров калибровочных источников**
- **Использование библиотек, созданных на других приборах.**

1 подход:

- создание по возможности полной библиотеки на каком то одном образцовом спектрометре,
- проведение на каждом новом приборе минимально-необходимого для определения калибровочных характеристик набора измерений ,
- и портирование библиотеки образцового прибора на новые.

2 подход:

- создание на каждом приборе своих, локальных библиотек, требуемых для решения основных задач использующих их лабораторий,
- дополнение, при необходимости, этих библиотек измерениями для определения калибровочных характеристик приборов,
- создание объединённой базы библиотечных спектров с соответствующими им калибровочными характеристиками, доступной для использования на всех приборах.

ГРИН СТАР
ГРУППА ПРЕДПРИЯТИЙ

Green Star

Москва, Россия

www.greenstar.ru



СКС-07П-Б10,

ФЭУ-184 (Россия), 20 мм свинец

СКС-07П-Б11,

ФЭУ (Япония), 50 мм вольфрам

Эффективность
регистрации, %

Фон,
имп/сек

Эффективность
регистрации, %

Фон,
имп/сек

^3H

35%

0,7

60%

0,25

^{14}C

96%

1,5

98%

0,35

$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$

99%

2,4

99%

0,5

	СКС-07П-Б10, ФЭУ-184 (Россия), 20 мм свинец		СКС-07П-Б11, ФЭУ (Япония), 50 мм вольфрам	
	Эффективность регистрации, %	Фон, имп/сек	Эффективность регистрации, %	Фон, имп/сек
^3H	35%	0,7	60%	0,25
^{14}C	96%	1,5	98%	0,35
$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	99%	2,4	99%	0,5

▲▲ Pribori Oy



<http://www.pribori.com/>

Tri-Carb

USA



▲▲ Pribori Oy



<http://www.pribori.com/>

Quantulus 1220

Wallac, Finland

	Эффективность регистрации, %	Фон, имп/сек
^3H	35%	0,13
^{14}C	96%	0,4
$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	99%	2,4



▲▲ Pribori Oy



<http://www.pribori.com/>

Guardian 1414

Wallac, Finland



▲▲ Pribori Oy



Triathler

HIDEX, Finland



Beckman

Beckman Coulter, Inc.



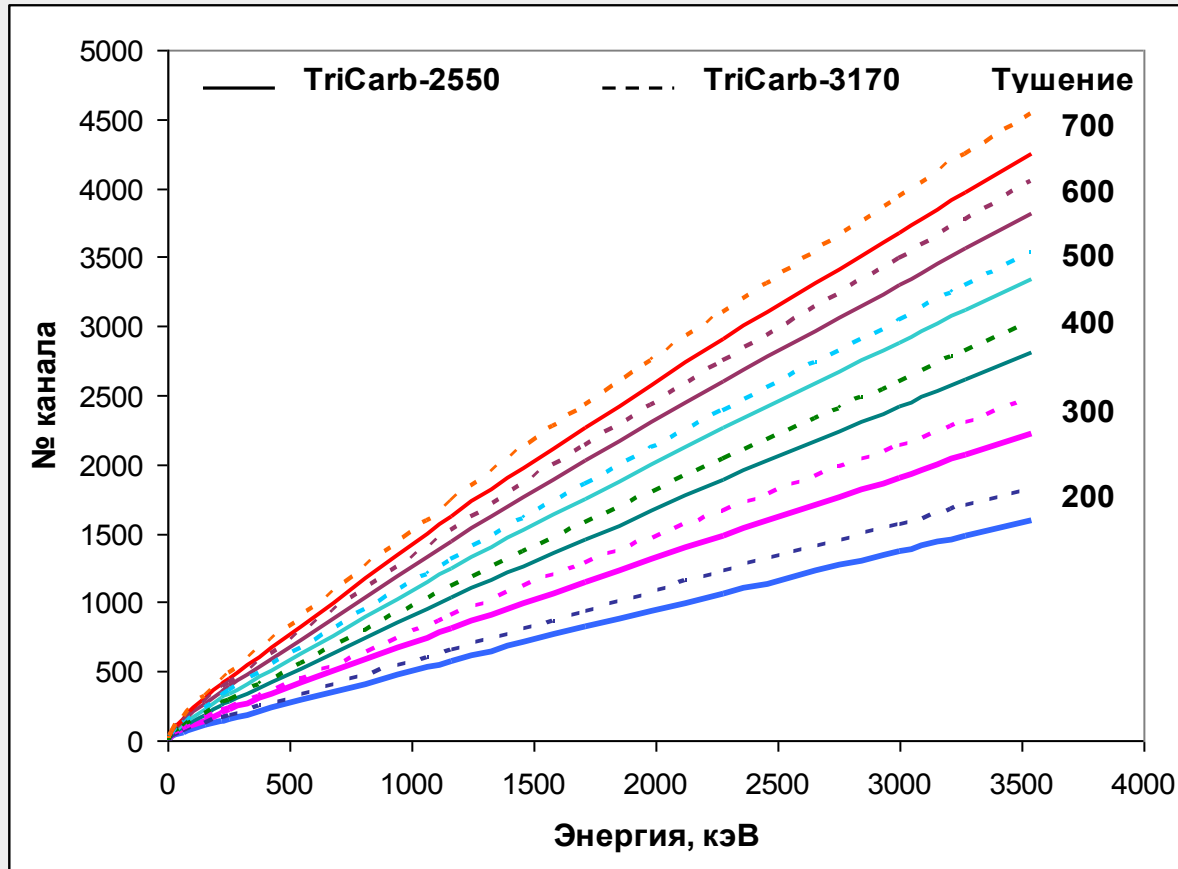
PERALS®

ORDELA, Oak Ridge,
USA

Органи- зация	ГУП МосНПО "Радон", Москва					
Модель TriCarb	2550			3170		3100
ИЗОТОПЫ	H-3 C-14 Na-22 P-32 P-33 S-35 K-40 Ca-45 Mn-54 Fe-55 Co-57 Co-60 Ni-63 Zn-65 Kr-85 Sr-85 Y-88 Sr-89 Sr-90 Y-90 Tc-95 Tc-99 Pd-102+Rh-103m Ru-106+Rh-106	Sb-125+Te-125 I-125 I-131 Ba-133 Cs-134 Cs-137 Pm-143 Ce-144+Pr-144 Pm-147 Sm-147 Gd-148 Eu-152 Eu-154 Pb-210 Bi-210 Po-210 Rn-222+ДПР Ra-224+ДПР Ra-226 Ra-226+ДПР Ra-228+Ac-228 Th-230 Th-232+ДПР Th-232+Th-228	U-232 U-233 U-234 U-235 U-236 U-238 Pu-236 Pu-237 Pu-238 Pu-239 Pu-241 Pu-242 Np-237+Pa-233 Am-241 Am-243 Am-243+Np-239 Cm-244	H-3 C-14 Na-22 K-40 Mn-54 Fe-55 Co-60 Ni-63 Sr-85 Y-88 Sr-90 Y-90 Tc-99 Sb-125+Te-125 Cs-134 Cs-137 Pm-143 Ce-144+Pr-144 Pm-147 Sm-147 Gd-148 Eu-152 Eu-154 Pb-210	Bi-210 Po-210 Rn-222+ДПР Ra-226 Th-230 Th-231 Th-232+ДПР Th-232+Th-228 Th-234+Pa-234m U-232 U-233 U-234 U-235 U-236 U-238+Th-234+Pm-2 Pu-236 Pu-238 Pu-239 Pu-241 Pu-242 Np237+Pa-233 Am-241 Am-243 Cm-244	H-3 C-14 P-32 Co-60 Ni-63 Sr-85 Sr-90 Y-90 Tc-99 Ba-133 Cs-134 Cs-137 Gd-148 U-234 U-235 U-235 U-238 U-238 Pu-238 Pu-239
						10

Органи- зация	СЭС , Санкт- Петербург	ЛАЭС	НИЦБТС, Санкт- Петербург	Институт биофизики СО РАН, г .Красноярск
Модель TriCarb	2900	3070	2750	2800
ИЗОТОПЫ	C-14	H-3	H-3	H-3
	P-32	C-14	C-14	C-14
	K-40	Co-60	Sr-90	Sr-90
	Sr-90	Ni-63	Y-90	Y-90
	Y-90	Sr-90	Cs-137	Tc-99
	Tc-99	Y-90	U-234	Am-241
	I-125	Tc-99	U-235	
	Cs-137	Cs-134	U-236	
	Pb-210	Cs-137	Pu-239	
	Bi-210	U-234		
	Po-210	U-235		
	Ra-224+ДПР	U-238		
	Ra-226	Pu-238		
	Ra-226+ДПР	Pu-239		
	Ra-228+Ac-228	Am-241		
	Th-228	Cm-244		
	Th-230			
	Th-234			
	U-232			
	U-234			
U-238				
Pu-239				

Энергетическая калибровка



Энергетическая калибровка спектрометров TriCarb-2550 и TriCarb-3100 при разных тушениях

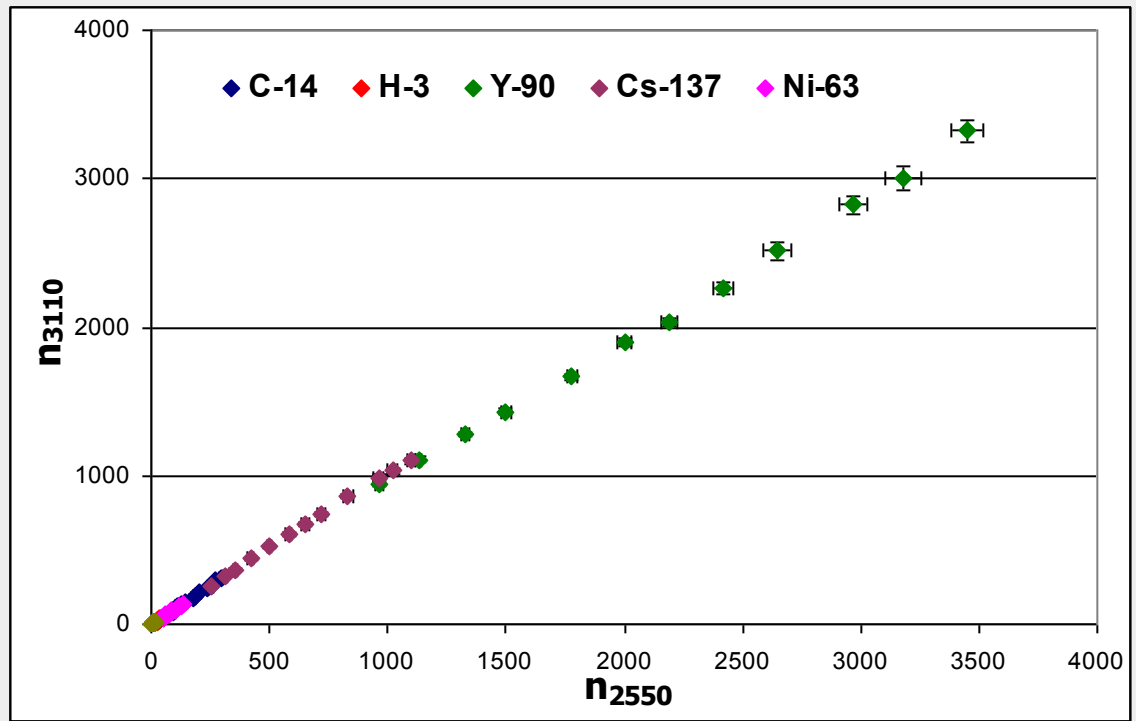
$$n = 21 + (0.1 + 0.0027T + 3 \cdot 10^{-6} T^2) E^{0.96 - 1.29 \cdot 10^{-4} T} - 32 \ell^{-E/17}$$

Перекалибровка –

зависимость номера канала одного прибора от номера канала другого, соответствующих одной и той же энергии излучения

Перекалибровка TriCarb-3100/ TriCarb-2550

Изотоп	E _{max} кэВ	Номер канала при	
		tSie =200	tSie =700
H-3	18.6	23	50
Ni-63	66.9	60	130
C-14	156.5	100	300
Cs-137	624	300	1050
Y-90	2280.1	1130	3250
Bi-214	3270	1400	3900
Rh-106	3541	1630	4100

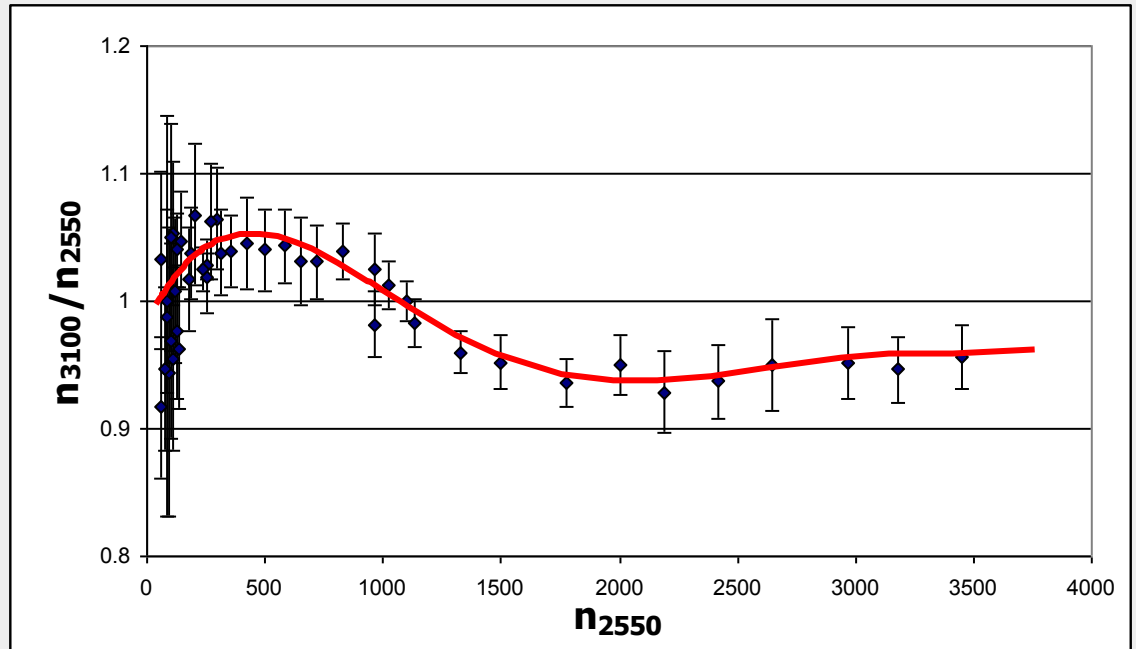


$$\frac{n_{3100}}{n_{2550}} = \sum_{i=0}^5 k_i n_{2550}^i$$

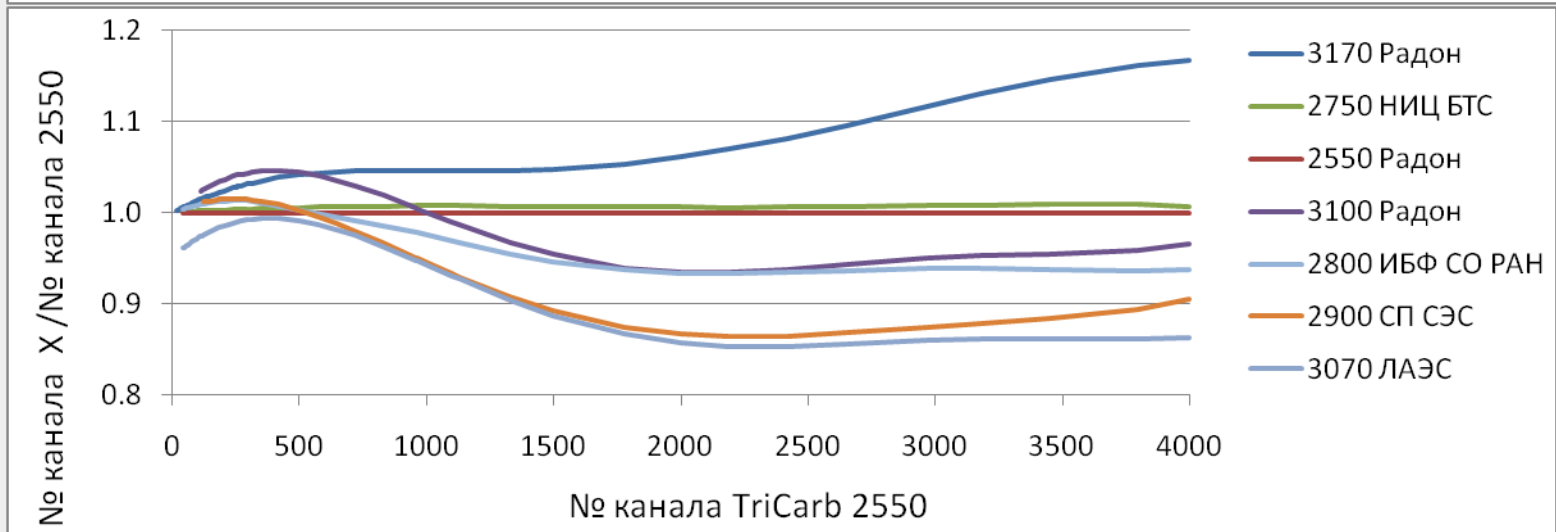
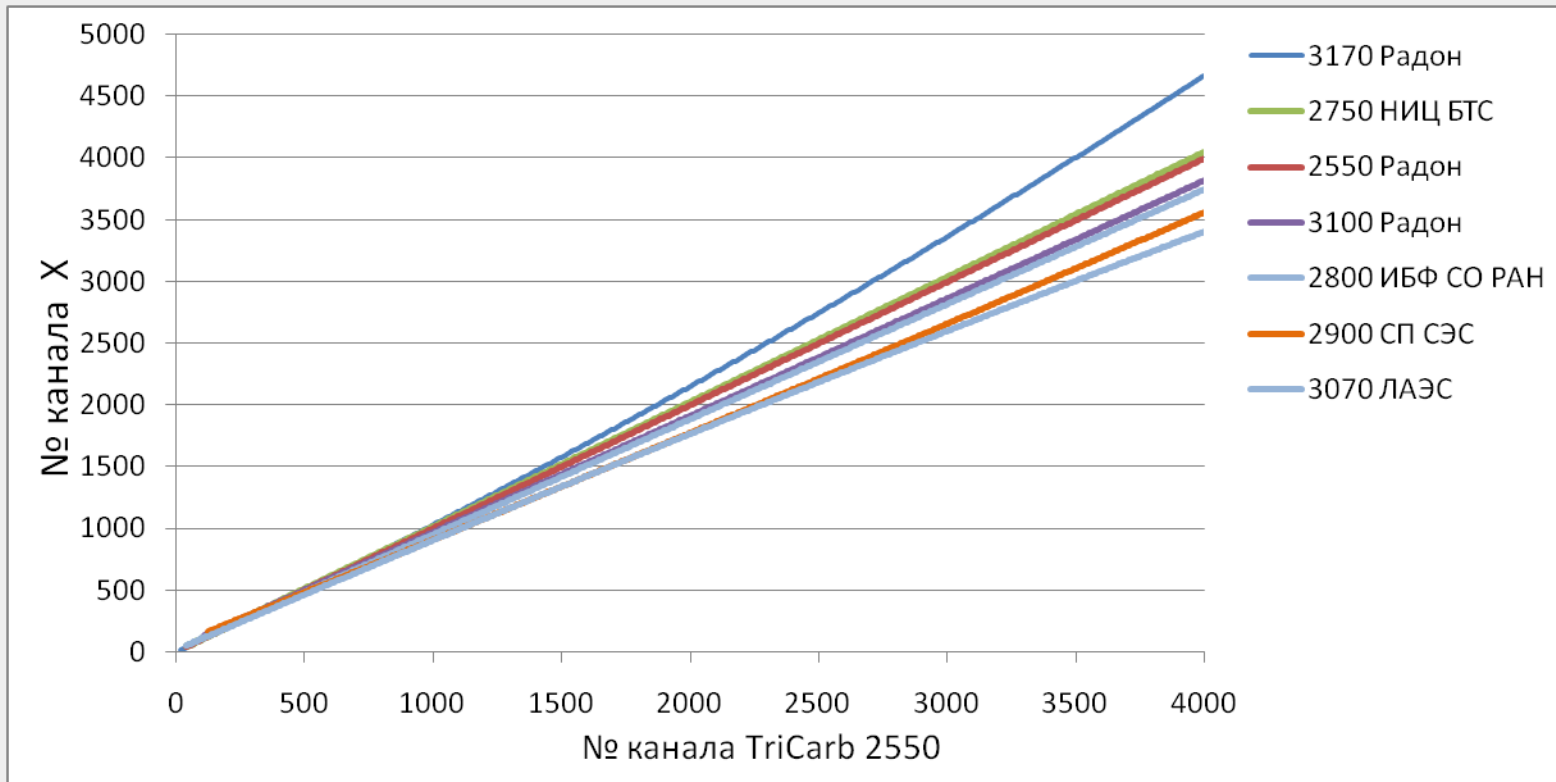
$$k_0 = 0.95523, \quad k_1 = 0.4281 \cdot 10^{-3},$$

$$k_2 = -0.6355 \cdot 10^{-6}, \quad k_3 = 0.332 \cdot 10^{-9},$$

$$k_4 = -0.7387 \cdot 10^{-13}, \quad k_5 = 0.5981 \cdot 10^{-17}$$



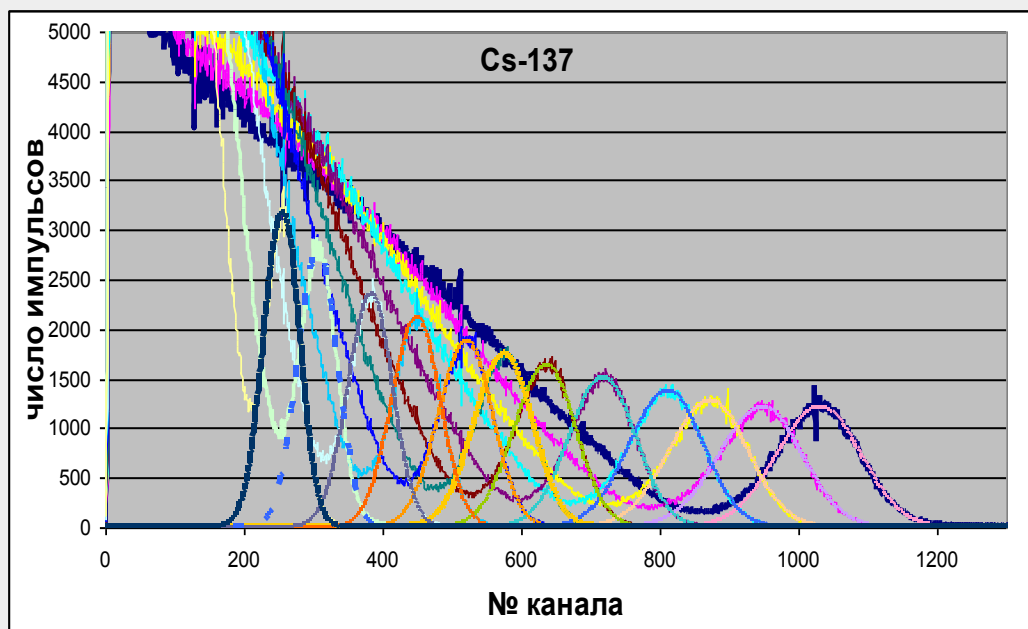
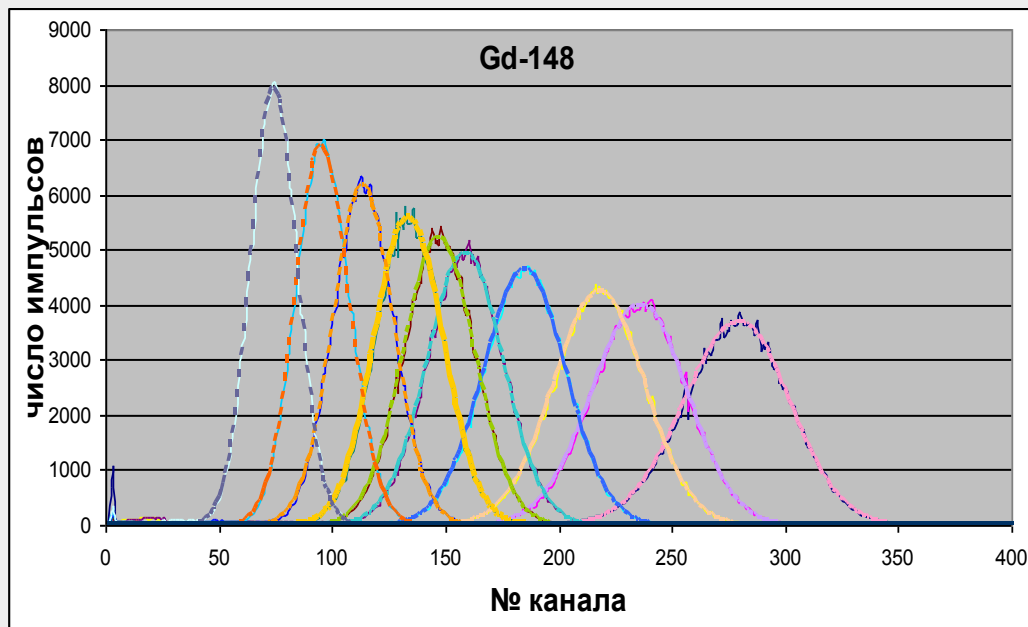
Перекалибровка разных моделей TriCarb и TriCarb-2550



Разрешение

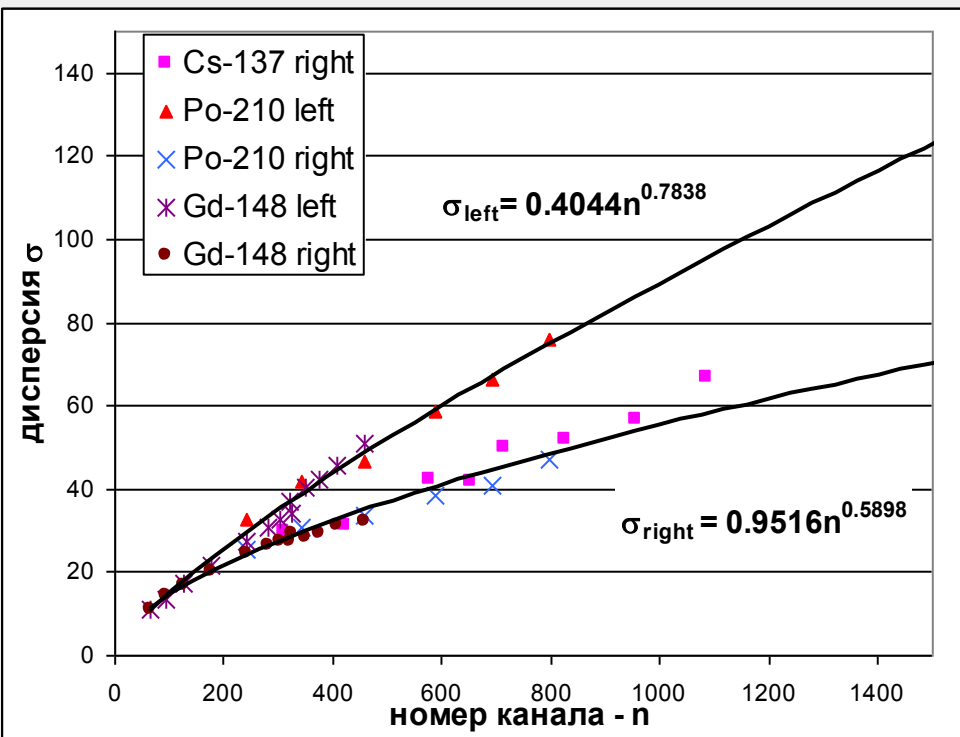
$$S_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1\sigma_2}} e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\begin{cases} \sigma_1^2 & n < \mu \\ \sigma_2^2 & n > \mu \end{cases}}}$$

Изотоп	E, кэВ	I, %	Номер канала при	
			tSie =200	tSie =700
Sm-147	2247,6	100	30	170
Gd-148	3271.21	100	60	330
Cm-244	5805.0	76.4	200	900
	5762.8	23.6		
Po-210	5304.5	100	180	750
U-238	4196.0	77	130	730
	4147.0	23		
Cs-137	624.2	8.08	250	1100
	655.66	1.46		

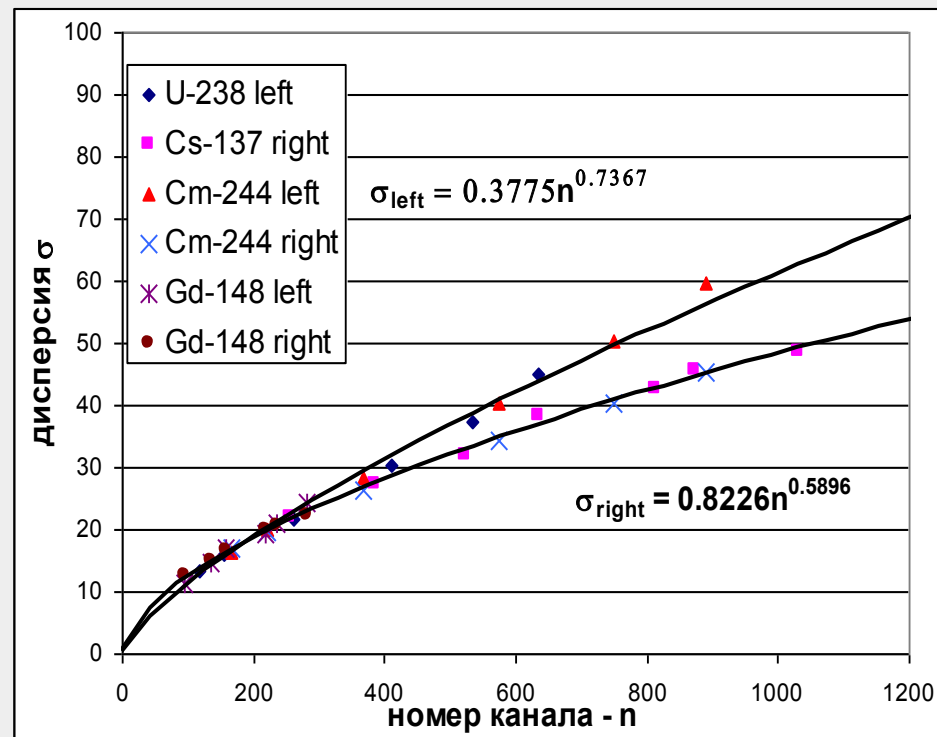


Разрешение

TriCarb-2550

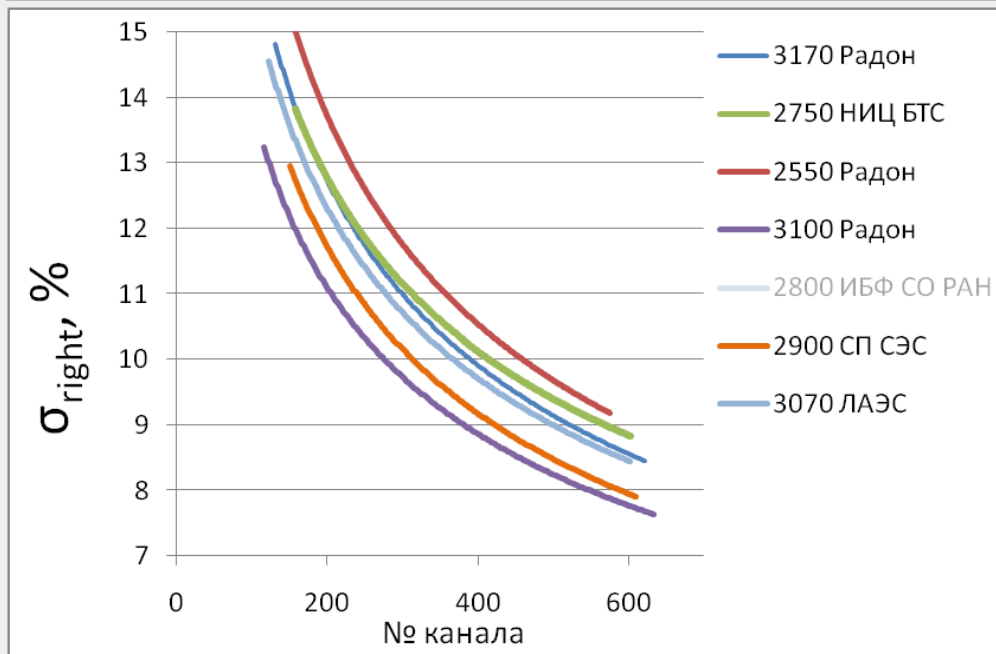
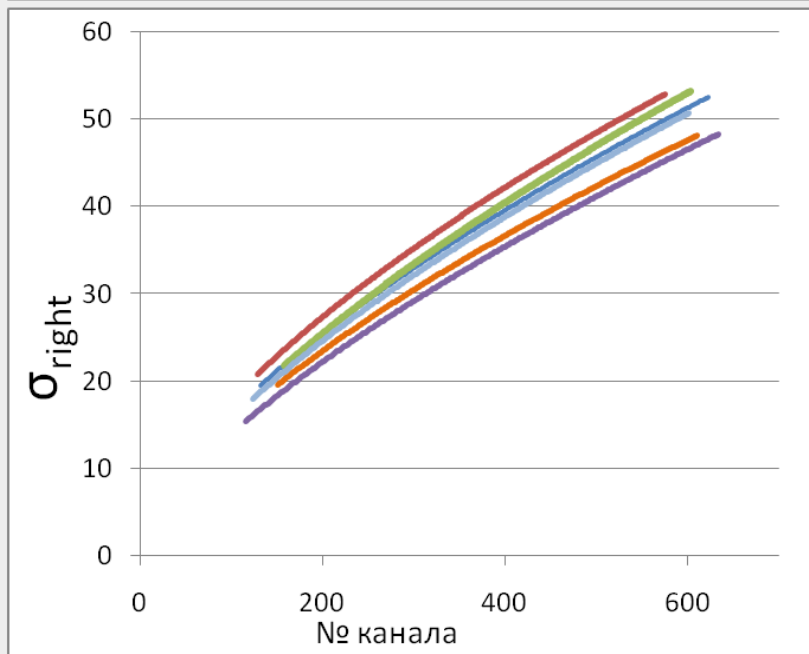
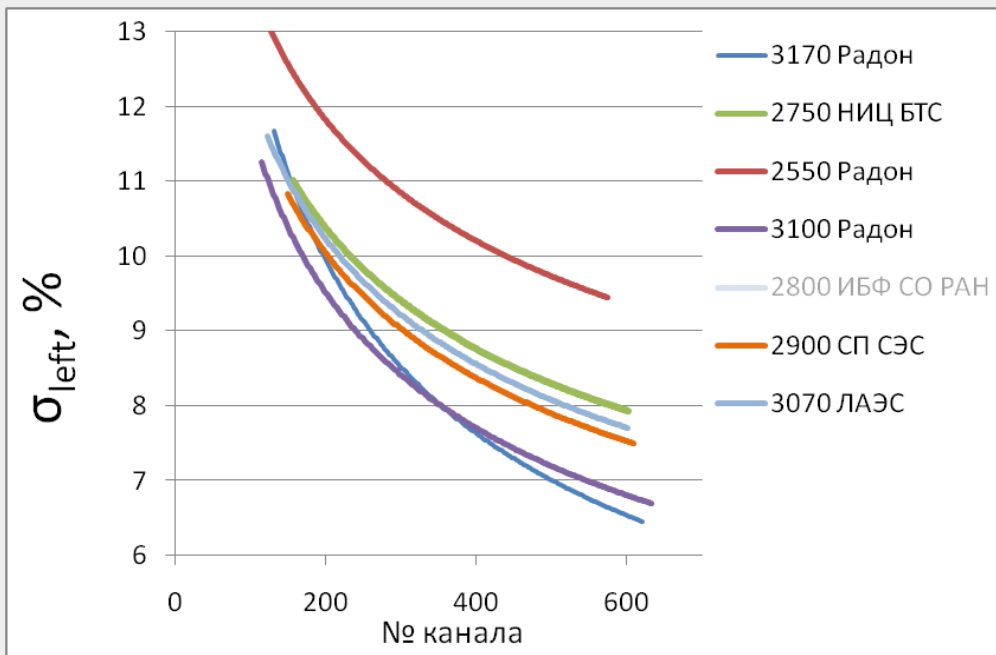
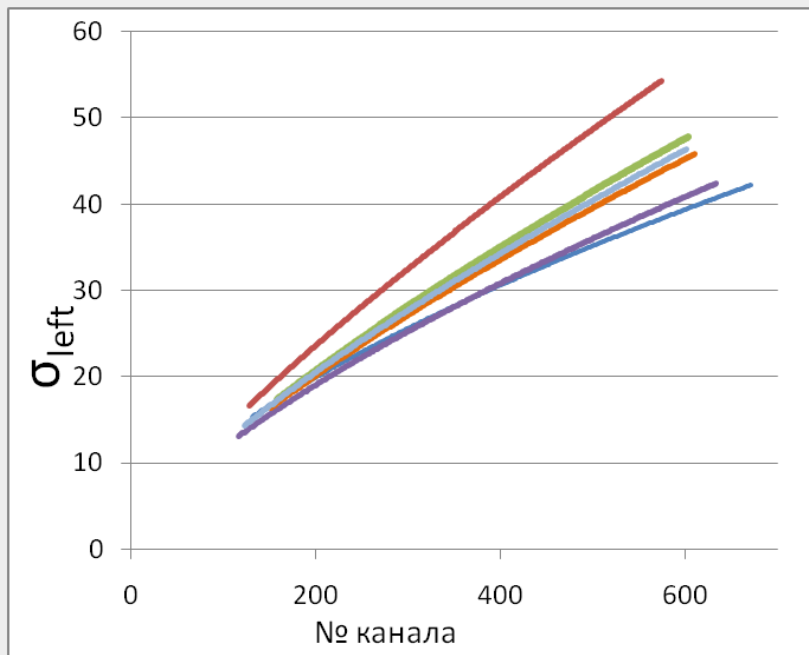


TriCarb-3100



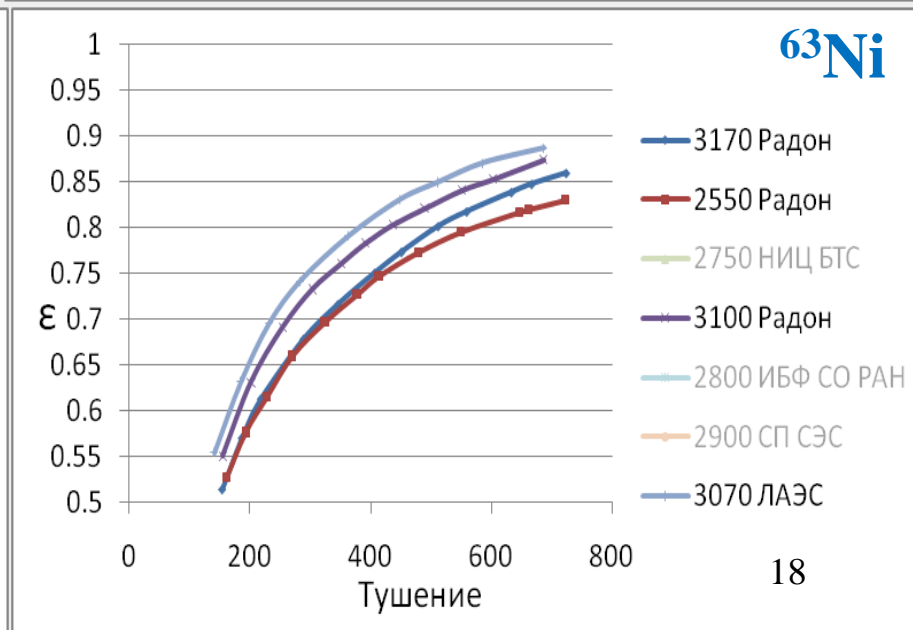
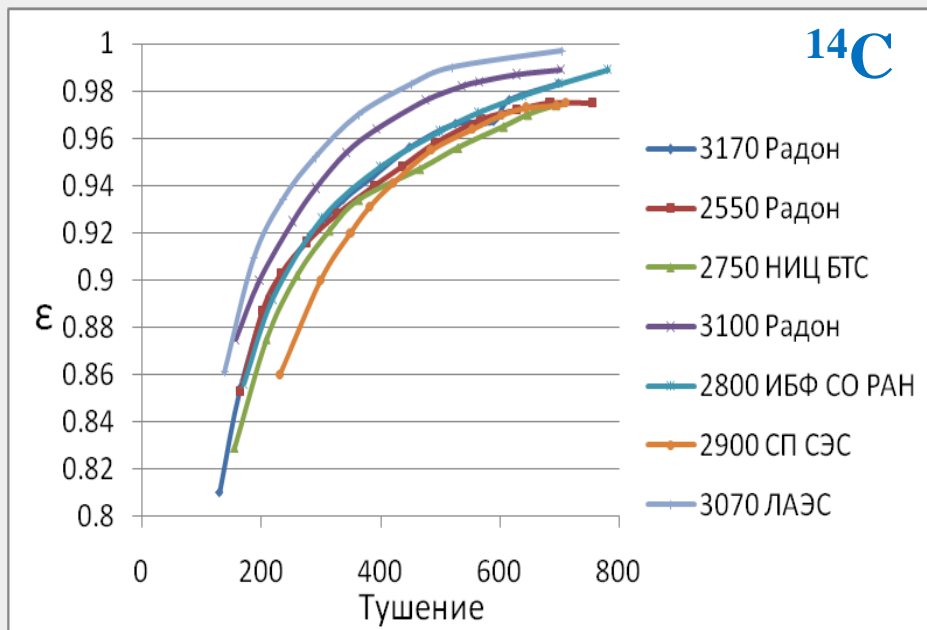
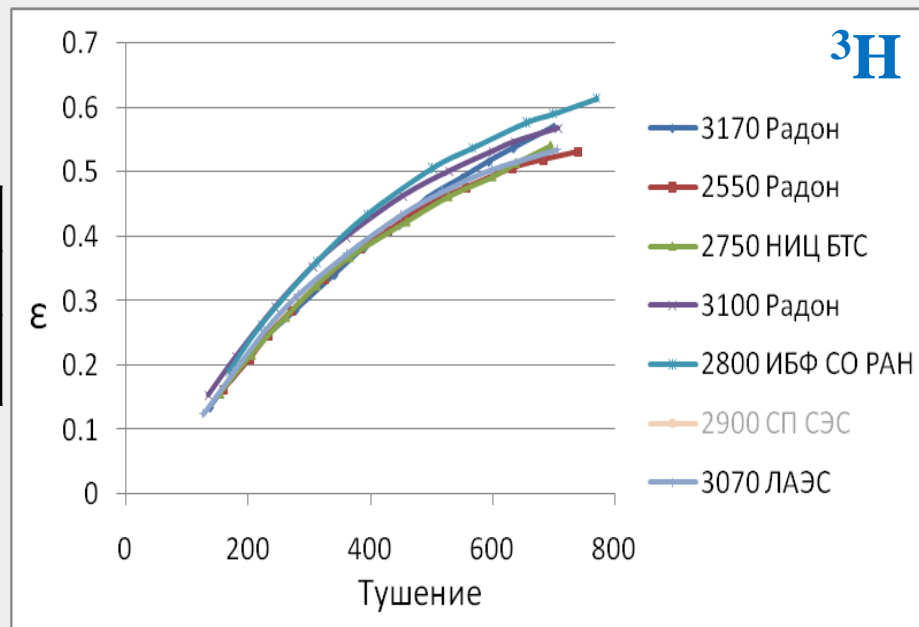
Зависимость «левой» и «правой» дисперсий распределения Гаусса от номера канала

Разрешение (по ^{234}U)



Эффективность регистрации

Радионуклид	H-3	Ni-63	C-14
$E_{\text{ср}}, \text{кэВ}$	5.685	17.13	49.47
Для β -излучателей с $E_{\text{ср}} > \sim 100 \text{кэВ}$ $\epsilon \sim 1$			



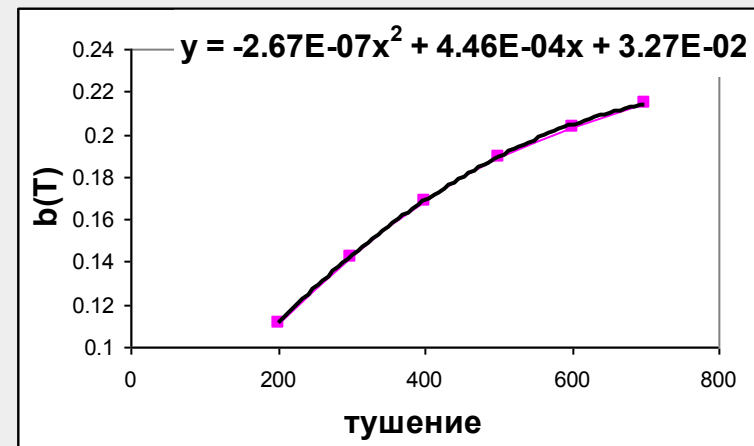
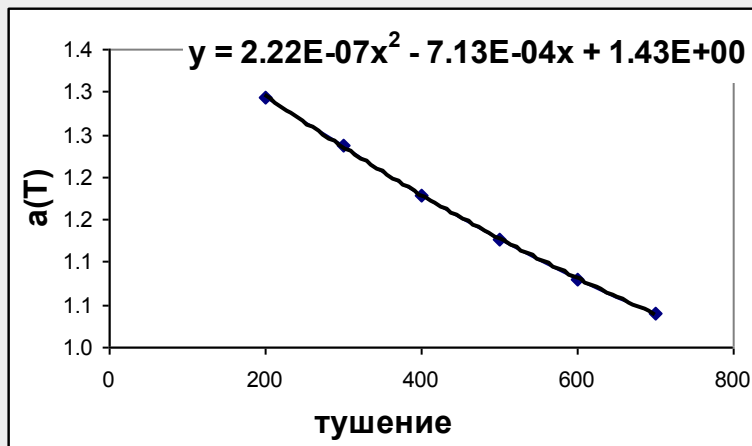
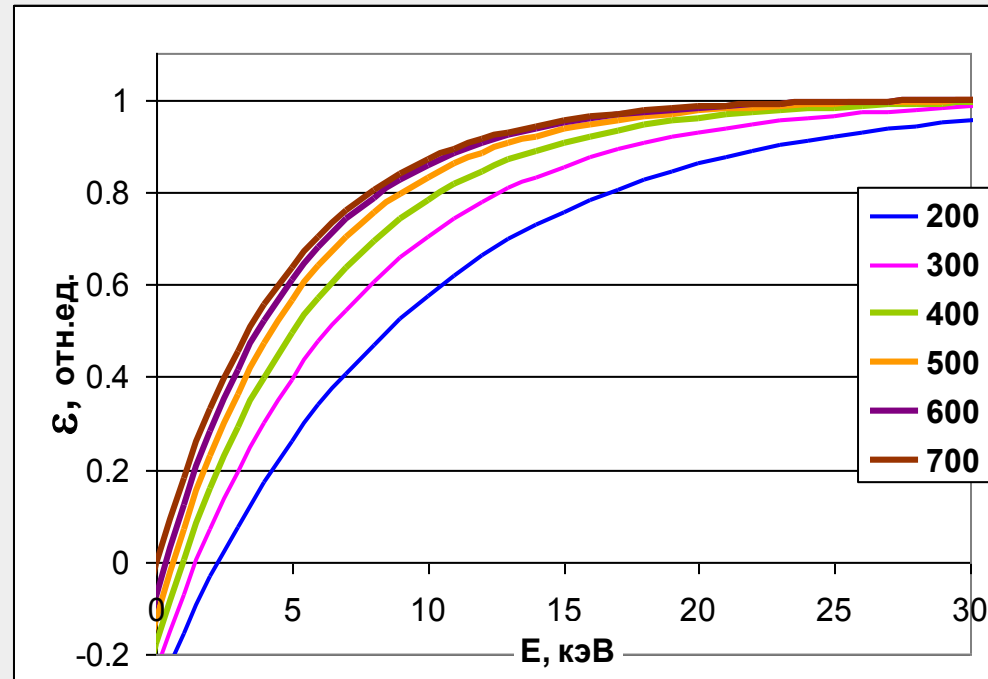
Эффективность регистрации

Форма энергетической зависимости эффективности регистрации определяется условиями:

- при увеличении энергии эффективность увеличивается и стремится к единице,
- эффективность регистрации становится нулевой при положительной энергии, близкой к нулю (меньше 3 кэВ),
- форма линии эффективности регистрации должна быть плавной без перегибов.

$$\varepsilon(E, T) = 1 - a(T)e^{-b(T)E}$$

$$\varepsilon_i(T) = \int \varepsilon(E, T) S_i(E) dE, \text{ где } i \rightarrow {}^3\text{H}, {}^{63}\text{Ni}, {}^{14}\text{C}$$



Эффективность регистрации

$$\varepsilon(E, T) = \varepsilon(E(n, T), T)$$

$$\varepsilon_n = 1 - e^{-\frac{(n+n_0)}{c} - \frac{(n+n_0)^2}{d}}$$

Для TriCarb-2550
 $n_0 = 7.7, c = 22, d = 2000$

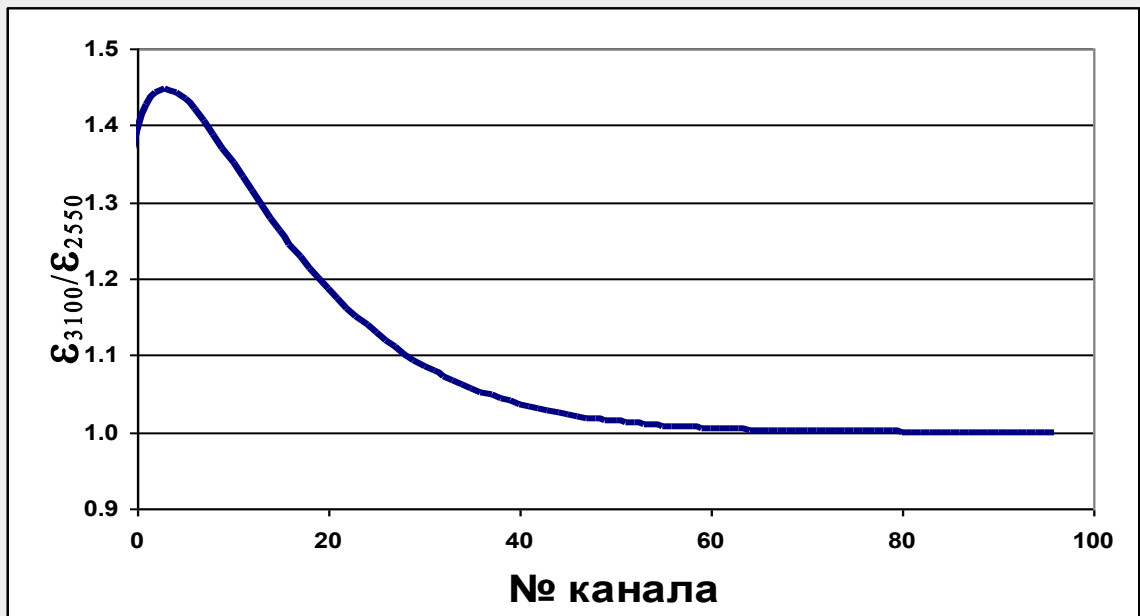
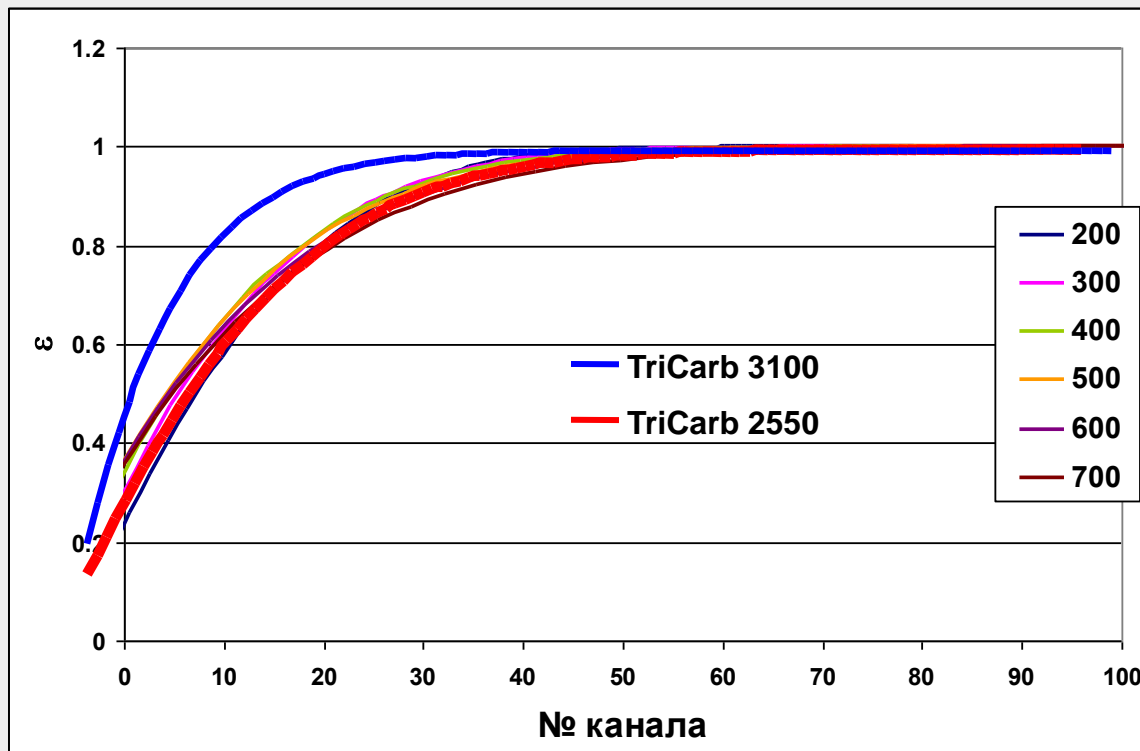
Для TriCarb-3100
 $n_0 = 5.1, c = 9.1, d = 2000$

$$\left(\frac{\varepsilon_{3100}}{\varepsilon_{2550}} \right)_n$$



$$S_n^{3100} = S_n^{2550} \left(\frac{\varepsilon_{3100}}{\varepsilon_{2550}} \right)_n$$

$$\forall n = 1, \dots, N$$



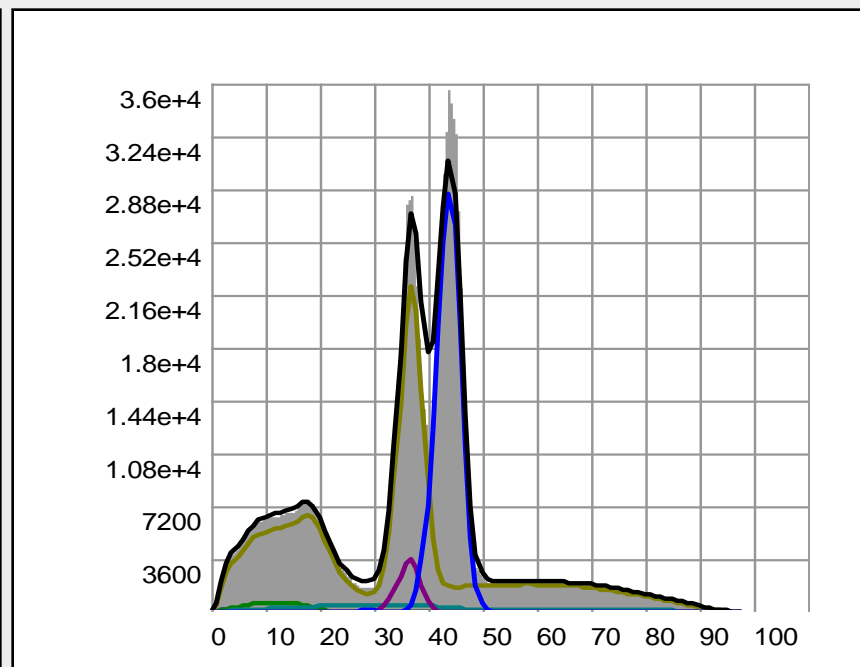
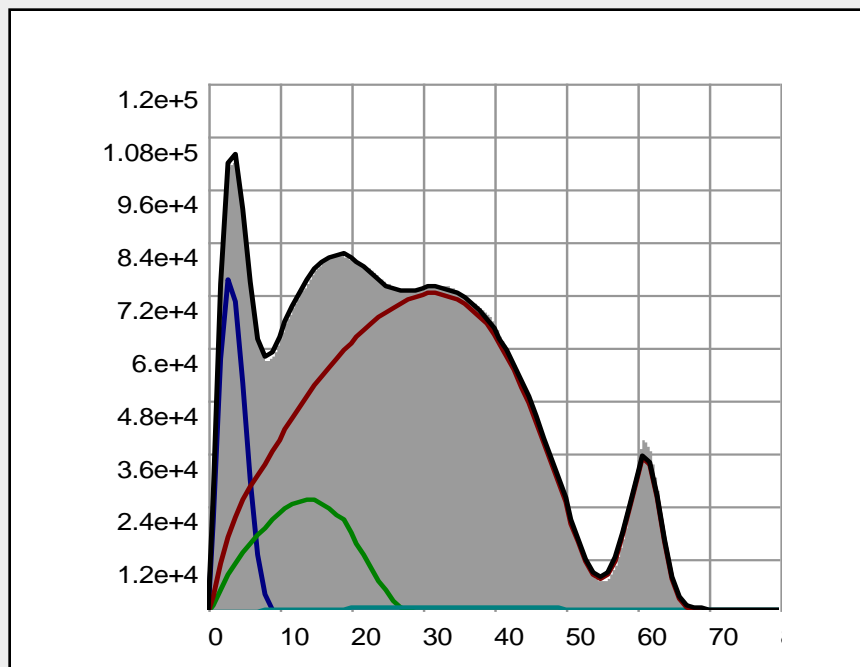
Результат обработки спектров образцов, приготовленных из стандартных растворов.

Спектрометр: TriCarb-2750 НИЦ БТС.

Библиотека: TriCarb-2550 «Радон».

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
^3H	165	176 10
^{14}C	120	123 5
$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	22	22 4
^{137}Cs	675	685 7

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
$^{238}\text{U}+^{234}\text{Th}+^{234\text{m}}\text{Pa}$	35	30.4 0.6
^{239}Pu	43	44.5 0.9



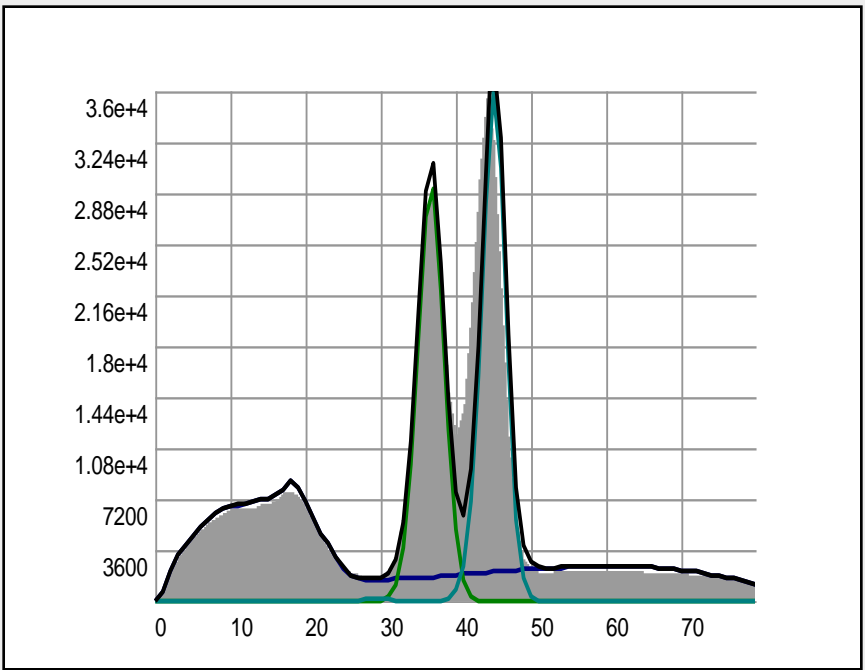
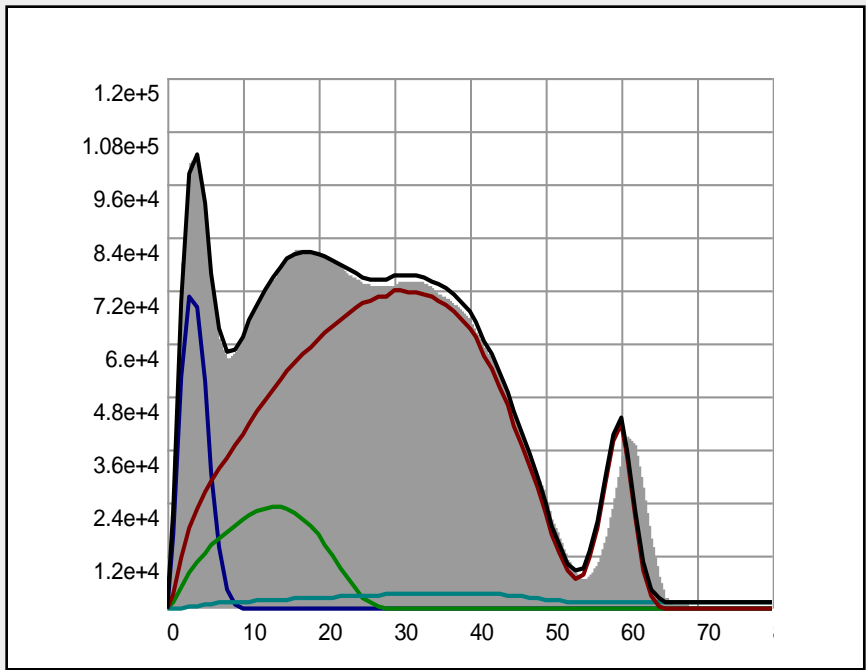
Результат обработки спектров образцов, приготовленных из стандартных растворов.

Спектрометр: TriCarb-2750 НИЦ БТС.

Библиотека: TriCarb-2900 СЭС, Санкт-Петербург.

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
^3H	165	164 10
^{14}C	120	112 5
$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	22	57 8
^{137}Cs	675	675 7

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
$^{238}\text{U}+^{234}\text{Th}+^{234\text{m}}\text{Pa}$	35	44.2 0.8
^{239}Pu	43	35.8 1.0

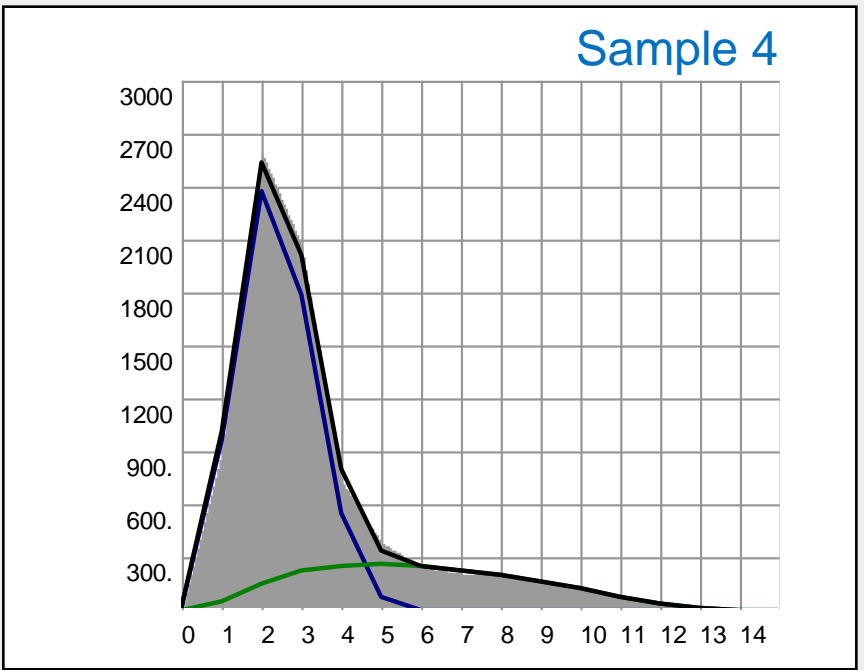
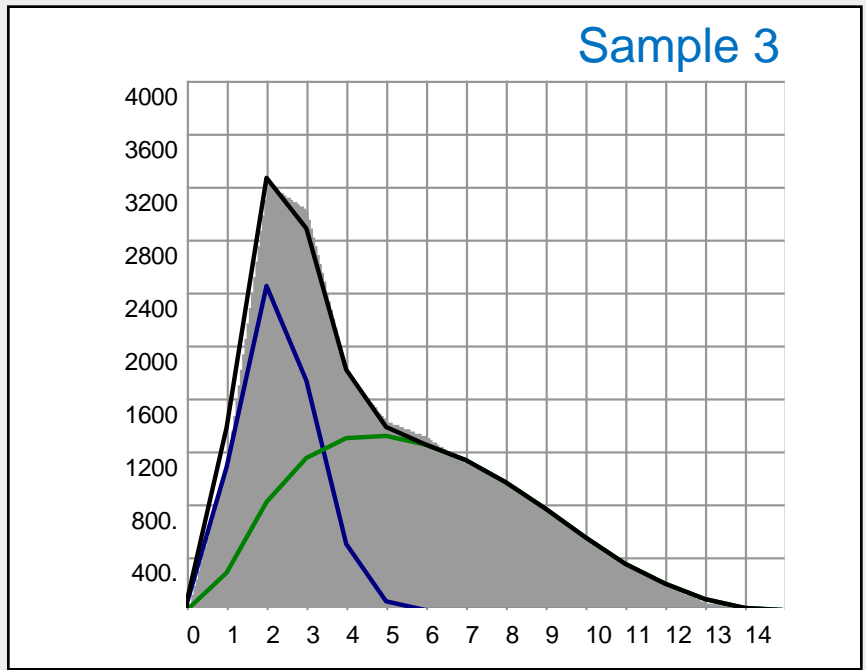


Результат обработки спектров образцов, приготовленных из стандартных растворов.

Спектрометр: TriCarb-2550 Ядерный Центр Карлсруэ, Германия.

Библиотека: TriCarb-2550 «Радон».

	Standard		Results				Difference	
	Fe-55	Ni-63	Fe-55		Ni-63		Fe-55	Ni-63
Sample 1	21.2	22.7	25.6	± 1.3	22.6	± 1.1	21%	0%
Sample 2	21.2	4.55	24.7	± 0.7	4.87	± 0.5	17%	7%
Sample 3	21.2	22.7	25.3	± 1.2	22.6	± 0.7	19%	0%
Sample 4	21.2	4.55	23.9	± 0.7	4.64	± 0.5	13%	2%



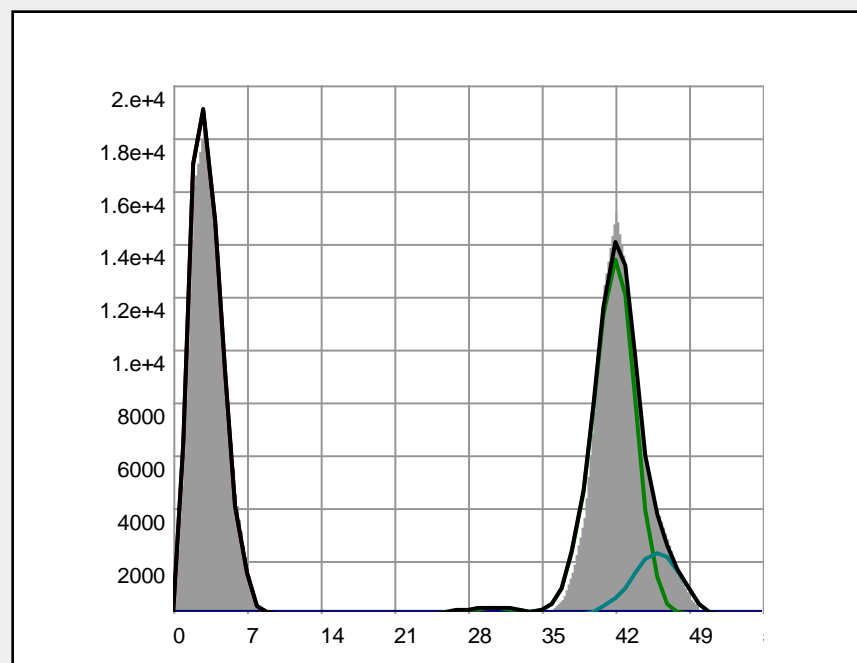
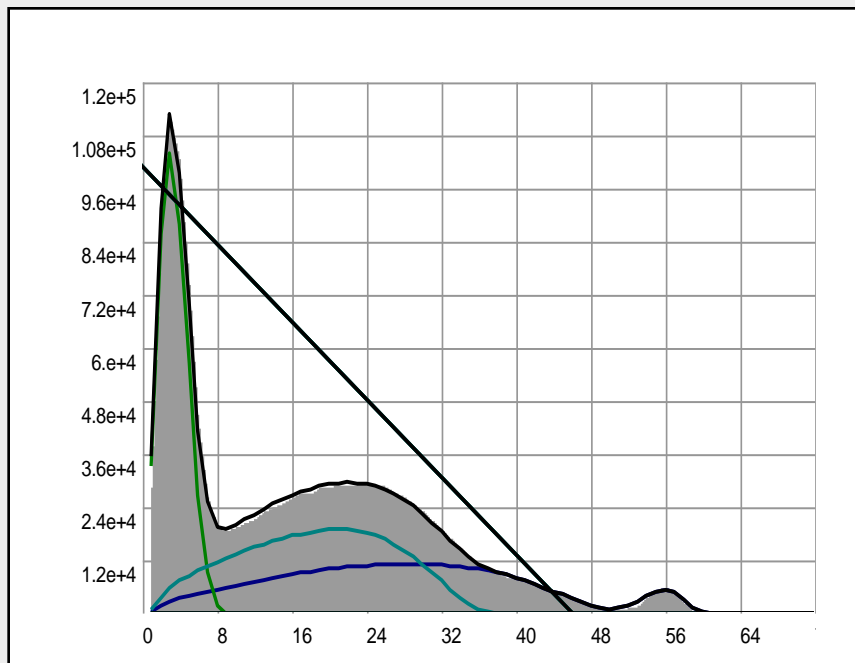
Результат обработки спектров образцов, приготовленных из стандартных растворов.

Спектрометр: TriCarb-2550 Eckert & Ziegler Analytics, USA.

Библиотека: TriCarb-2550 «Радон».

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
^3H	714	701 15
^{99}Tc	404	390 4
^{137}Cs	266	301 3

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
^{241}Pu	-	264 6
^{241}Am	-	23 3
^{239}Pu	-	115 2



Результат обработки спектров образцов, приготовленных из стандартных растворов.

Спектрометр: TriCarb-2800 BÜSING-Institut, Germany.

Библиотека: TriCarb-2550 «Радон».

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
^3H	-	3150 70
^{14}C	-	2050 30
^{32}P	-	2150 20

	Активность, Бк	
	Введённая	Обработка
^3H	-	3090 70
^{14}C	-	1950 30
^{32}P	-	2120 20

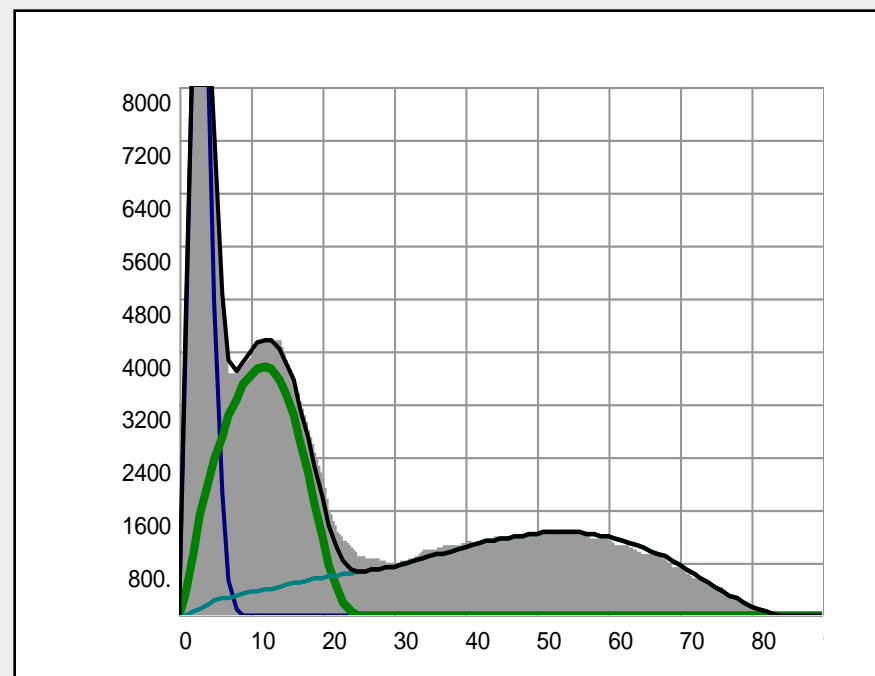
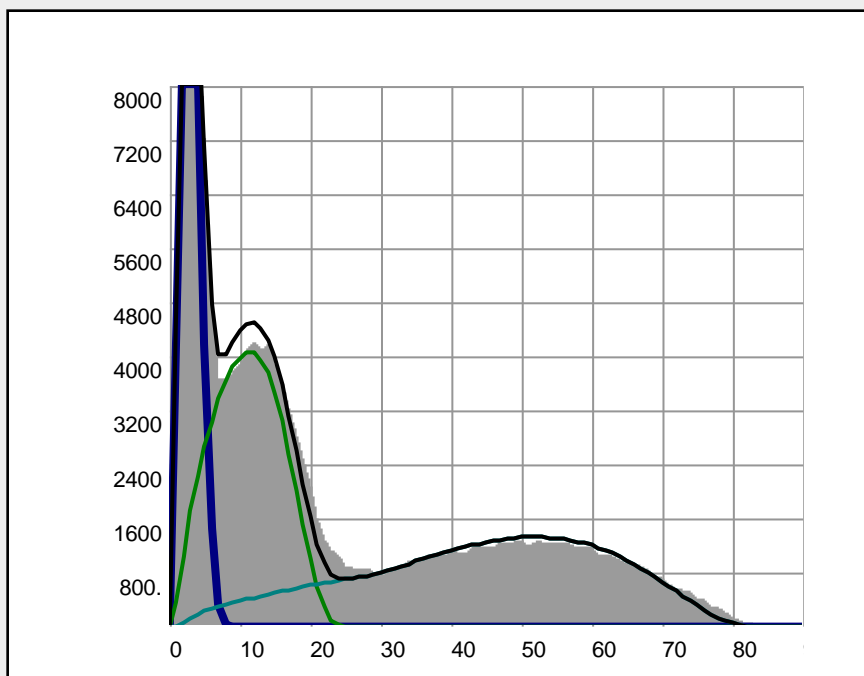


Иллюстрация преобразования библиотек

TriCarb-2550 в TriCarb-3100 для ^{232}Th в равновесии с дочерними продуктами распада

1: Развёртка до дисперсии

$$\sigma_n = 0.6 \sigma_{basen} :$$

$$S_m = \sum_n S'_n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Delta n}}} \ell^{\frac{(n-m)^2}{2\sigma_{\Delta n}^2}}$$

где $\sigma_{\Delta n} = \sqrt{\sigma_{basen}^2 - \sigma_n^2} = 0.8\sigma_{basen}$

2: Перекалибровка:

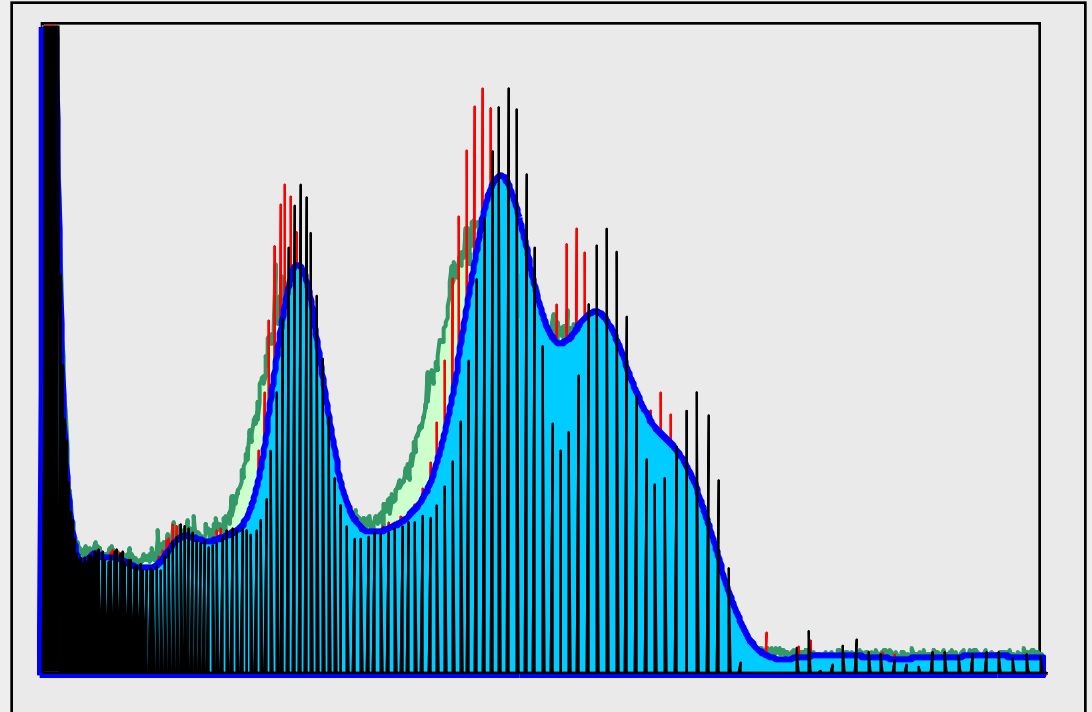
$$S'_n \rightarrow S''_n$$

3: Поправка на эффективность регистрации:

$$S''_n = S'_n \frac{\epsilon_{3100n}}{\epsilon_{2550n}}$$

4: Свёртка до дисперсии σ_{3100n} :

$$S_m^{fin} = \sum_n S''_n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Delta n}}} \ell^{\frac{(n-m)^2}{2\sigma_{\Delta n}^2}}, \quad \text{где} \quad \sigma_{\Delta n} = \sqrt{\sigma_{3100n}^2 - (0.6\sigma_{basen})^2}$$



- базовый спектр (TriCarb 2550) - S_m
- развёрнутый спектр $S_n^\'$
- развёрнутый перекалиброванный спектр $S_n^\'\'$
- конечный спектр S_n^{fin}

Выводы:

- рассмотренные приборы серии TriCarb имеют достаточно близкие спектрометрические характеристики для возможности взаимного использования библиотек;

- для оценки содержания радионуклидов в простых пробах допустимо использовать непосредственно библиотеки спектров;

- для корректной обработки спектров необходимо использовать соответствующую конвертацию;

- для определения необходимых характеристик ЖС-спектрометров

за внимание!

- из перечисленных радионуклидов образцовыми (аттестованными) должны быть только ^3H , ^{63}Ni и ^{14}C для корректного расчёта энергетической зависимости эффективности регистрации;

- для определения спектрометрических характеристик представленных в обзоре приборов необходимо провести дополнительные измерения.

Спасибо

за внимание!

3170 Радон	3100 Радон	2900 СП СЭС	3070 ЛАЭС	2750 НИЦ БТС	2800 ИБФ СО РАН	Калибровка Разрешение Эффективность
---	+ --	---	---	+ -+	-- +	2550 Радон
	---	---	---	---	---	3170 Радон
		---	---	---	---	3100 Радон
			+ --	---	---	2900 СП СЭС
				- + -	---	3070 ЛАЭС
					-- +	2750 НИЦ БТС