

Интенсивности гамма-излучения ^{235}U .

Берлизов А.Н.¹, В.Н. Даниленко²,
И.В. Кувыкин³, Д. Кутний⁴

1 – МАГАТЭ, г. Вена, Австрия

2 – ООО «ЛСРМ», г. Зеленоград, Россия

3 – ВНИИФТРИ, п. Менделеево, Россия

4 – ХФТИ, г. Харьков, Украина

Уточнение интенсивностей линий ^{234}Th в 2004 г.

- ENSDF до 2004 года интенсивности излучения ^{234}Th (дочерний ^{238}U):
92.38 кэВ – 2.81(26) ,
92.80 кэВ – 2.77(26).
- Интенсивность характеристической линии Th
93.35 кэВ – 5.76(14)
- Работа Abousahl, S. et. al., NIM A 517 (2004) 211-218,
уточняющая значения интенсивности линий ^{234}Th :
92.38 кэВ – 2.13(20),
92.80 кэВ – 2.10(20).

Отклонение ~30%

- Соотношения между этими линиями ^{234}Th и характеристической линии Th 93.35 кэВ, используются для анализа обогащения урана:

$$I_{92.38}/I_{93.35} = 0.484(45), I_{92.80}/I_{93.35} = 0.477(45).$$

Спектрометры и образцы

Приборы:

- Detector - LEGe GL0515R, $S=500 \text{ mm}^2$ $d=15 \text{ mm}$, input window – 0.5 mm Al.
- Detector - LEGe GL1015R, $S=1000 \text{ mm}^2$ $d=15 \text{ mm}$, input window – 0.5 mm Al.
- InSpector Portable Spectroscopy Workstation, Model 1200UPU.
- LSRM SpectraLineNM uranium isotopic software.

Образцы:

- Uranium Isotopic Standard Reference Material SRM 969 (NBS, USA) – 5 reference samples with ^{235}U enrichment in the range 0.3 – 4.4 %.
- Uranium Isotopic Certified Reference Material CRM 146 (NBS, USA) – 3 reference samples with ^{235}U enrichment in the range 20 – 93 %.



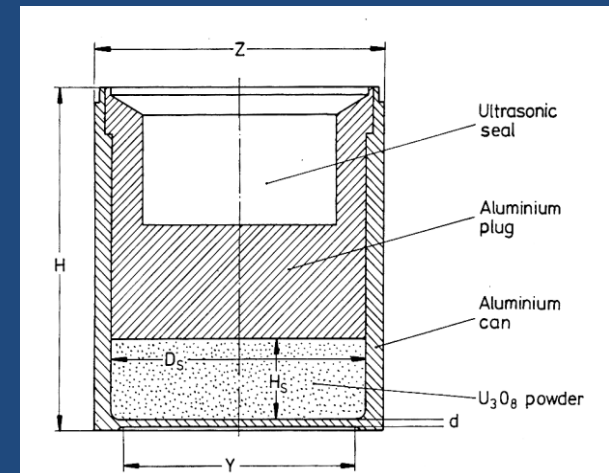
Standard Reference Material SRM 969

Material: U_3O_8 powder, $m = 200$ g, $\rho = 2.5$ g/cm³;
 Externals: $Z = 80$ mm, $H = 90$ mm;
 Sample volume: $D_S = 70$ mm, $H_S = 20.8$ mm;
 Al window thickness: $d = 2$ mm.

Certified abundances in SRM 969 (mass fractions):

	SRM 031		SRM 071		SRM 194	
	C, %	1 σ , %%	C, %	1 σ , %%	C, %	1 σ , %%
U-234	0.0020	5.0	0.0052	1.9	0.0171	0.6
U-235	0.3166	0.06	0.7119	0.07	1.9420	0.07
U-236	0.0146	1.0	0.0000	0.0	0.0003	16.7
U-238	99.6668	2.0E-04	99.2828	2.0E-04	98.0406	9.2E-04

	SRM 295		SRM 446	
	C, %	1 σ , %%	C, %	1 σ , %%
U-234	0.0279	0.7	0.0359	0.4
U-235	2.9492	0.07	4.4623	0.07
U-236	0.0033	3.0	0.0068	1.5
U-238	97.0196	1.5E-03	95.4950	1.7E-03



Certified Reference Material CRM 146

Material: U_3O_8 powder, $m = 230$ g, $\rho = 3.78$ g/cm³;
 Externals: $Z = 80$ mm, $H = 90$ mm;
 Sample volume: $D_S = 70$ mm, $H_S = 15.8$ mm;
 Al window thickness: $d = 2$ mm.



Certified abundances in CRM 146 (mass fractions):

	NBL 0041		NBL 0042		NBL 0043	
	C, %	1 σ , %%	C, %	1 σ , %%	C, %	1 σ , %%
U-234	0.1486	0.12	0.3718	0.13	0.9800	0.15
U-235	20.1070	0.05	52.4880	0.04	93.1703	0.003
U-236	0.1973	0.3	0.2645	0.11	0.2937	0.4
U-238	79.5470	1.3E-02	46.8760	4.6E-02	5.5559	4.8E-02

U/Pu InSpector System

GL0515R:
FWHM=600 eV
at 122 keV



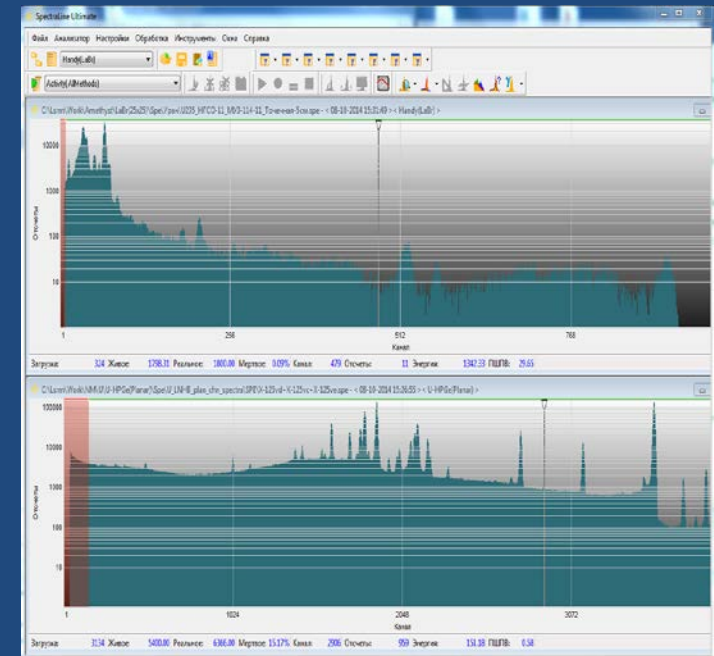
GL1015R:
FWHM=550 eV
at 122 keV

Программный комплекс- SpectraLineUltimate

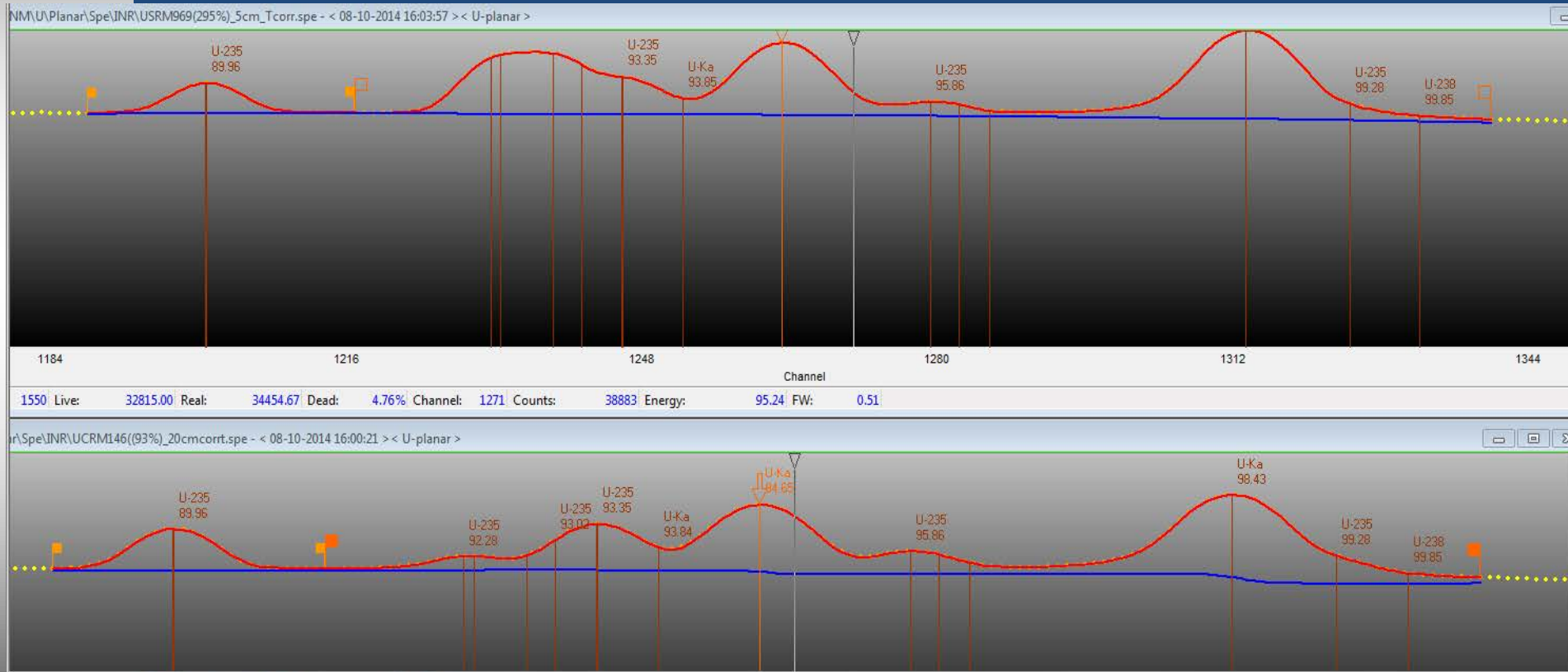
Гамма-спектрометрический анализ, как для полупроводниковых так и сцинтилляционных спектрометров-HPGe, NaI, LaBr, CdTe

Особенностями комплекса являются:

- Адекватное описание формы гамма-линий
- Учет лоренцева уширения при описании рентгеновских линий
- Учёт соотношений интенсивностей между линиями одного нуклида при аппроксимации информативных участков спектра.
- Одновременная обработка Всех информативных участков спектра. На границах информативных участков фоновые подставки под ними сшиваются из условия непрерывности спектра и его 1-ой производной.
- учет вклада пиков случайного суммирования.



Фрагменты спектров (88 – 100 кэВ) низко- и высокообогащенных образцов



Калибровка спектрометра по эффективности регистрации

Линии, используемые для расчёта эффективности регистрации ниже К-края

Нуклид	Энергия, кэВ	I (Интенсивность), число гамма-квантов на 100 распадов	ΔI , число гамма-квантов на 100 распадов	$\Delta \varepsilon$, %
^{231}Th	84.214	6.7	0.07	1.7
	102.270	0.441	0.011	2.5
^{234}U	53.2	0.123	0.002	3
^{234}Th	63.290	3.75	0.08	2.5

Калибровка спектрометра по эффективности регистрации

Линии, используемые для расчёта эффективности регистрации выше К-края

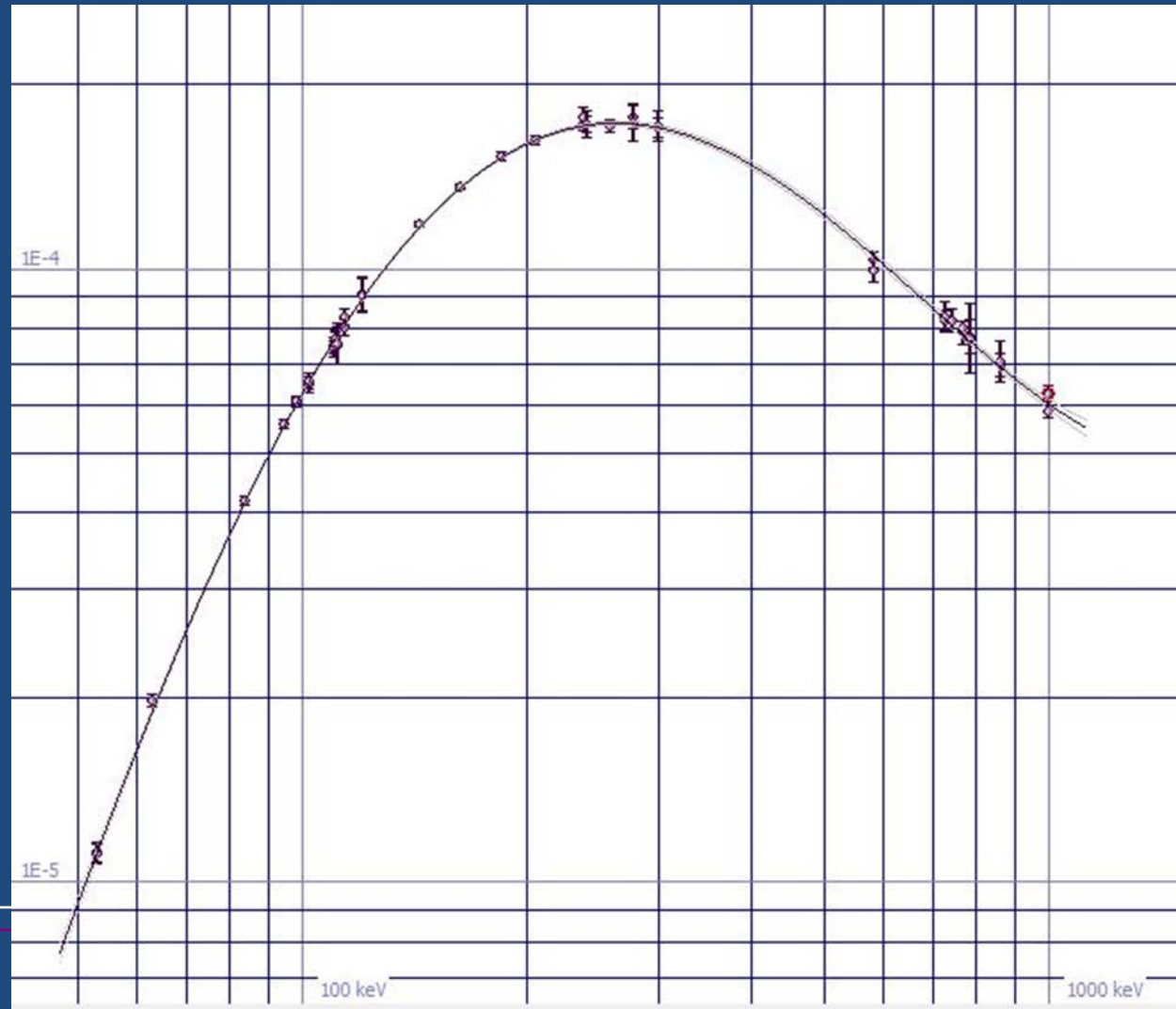
Нуклид	Энергия, кэВ	I (Интенсивность), число гамма- квантов на 100 распадов	ΔI , число гамма- квантов на 100 распадов	$\Delta \epsilon$, %
^{235}U	143.767	11.00	0.08	0.8
	163.356	4.97	0.04	0.9
	185.715	57.0	0.3	1.0
	205.31	5.01	0.05	1.1
^{234}U	120.900	0.0342	0.0005	6
^{238}U	766.321	0.323	0.004	2
	1001.026	0.847	0.008	1.5
^{228}Th	238.62	42.2	0.556	2.5
	583.191	29.6	0.49	3

Коррекция кривой эффективности на скачок в области К-края

$$\frac{\varepsilon_{E < 115.6}}{\varepsilon_{E > 115.6}} = 3.916$$

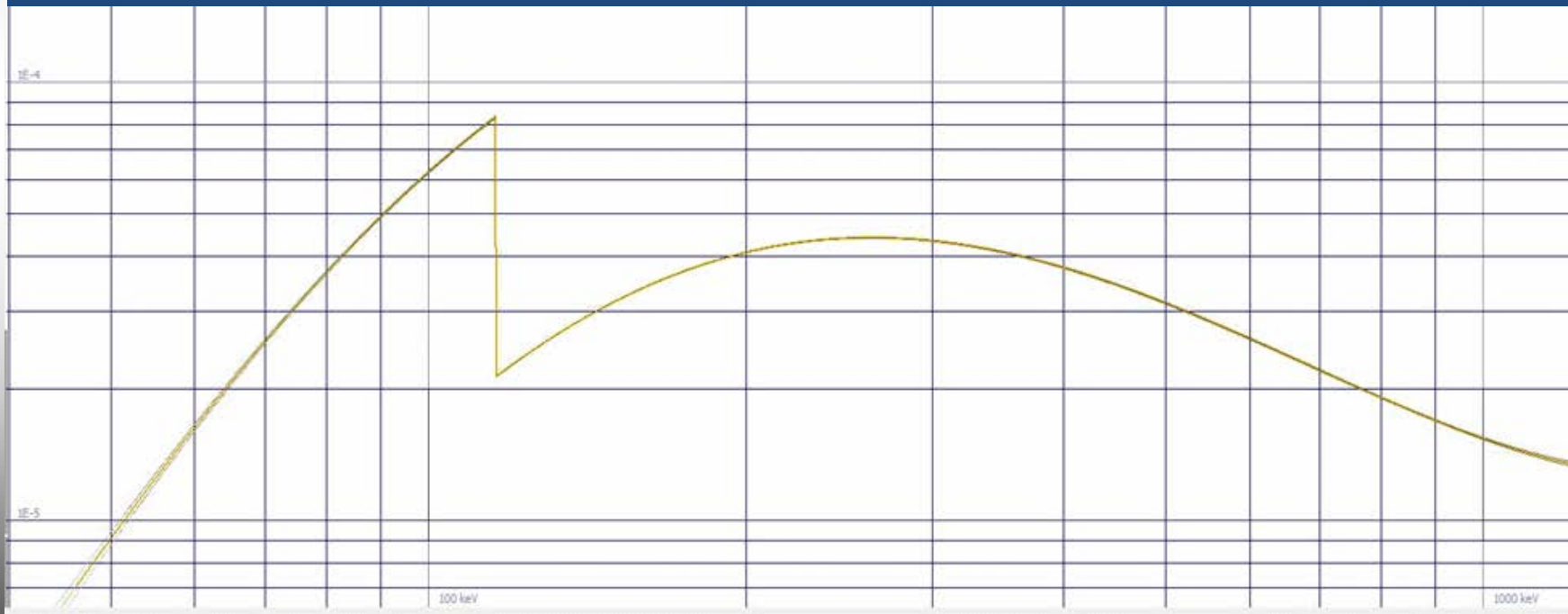
Аппроксимация
эффективности
регистрации
одним полиномом
4-й степени

$$\lg(\varepsilon(E)) = \sum_{i=0}^4 a_i \cdot (\lg(E))^i$$



Калибровка спектрометра по эффективности регистрации

Обратное преобразование кривой на скачок в области ниже К-края



Результаты.

Измерение интенсивности линии 93.35 кэВ

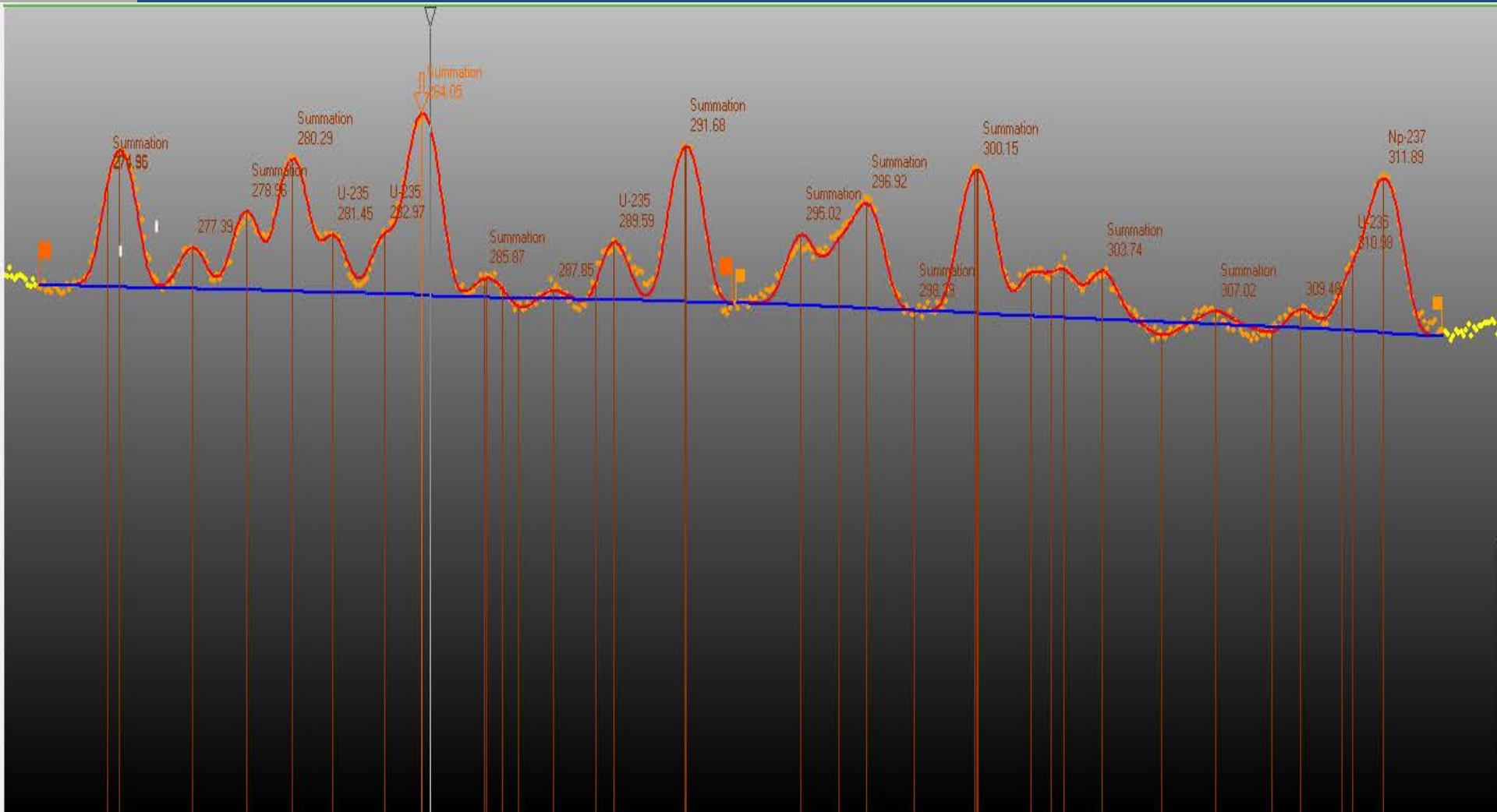
Спектрометр	Образец	$I_{93.35}$
GL1015R	CRM52	4.83(6)
GL1015R	CRM93	4.83(6)
GL0515R	CRM52	4.88(6)
GL0515R	CRM93	4.85(6)
Среднее значение		4.85(6)

Измерение отношений интенсивностей

Интенсивности линий 92.38 кэВ, 92.80 кэВ ^{238}U (^{234}Th) и 93.35 кэВ ^{235}U и их отношения

	ENSDF до 2004 и NuDat	ENSDFи NuDat	LNHB 2011/53	Настоящая работа
$I_{92.38}$	2.81(26)	2.13(20)	2.18(19)	2.35(6)
$I_{92.80}$	2.77(26)	2.10(20)	2.15(19)	2.42(6)
$I_{93.35}$	5.81(11)	5.54(14)	5.76(14)	4.85(6)
$I_{92.38}/I_{93.35}$	0.484(45)	0.384(40)	0.370(40)	0.4845(15)
$I_{92.80}/I_{93.35}$	0.477(45)	0.379(40)	0.373(40)	0.4997(30)

Вклад пиков суммирования 270 – 315 кэВ



Интенсивности линий ^{235}U в равновесии с ^{231}Th

E,кэВ	I (Интенсивность), число гамма-квантов на 100 распадов	
	LNHB 2011/53	Настоящая работа
58.57	0.477(6)	0.471(7)
74.94	0.051(6)	0.036(9)
89.95	1.01(3)	1.02(3)
89.957	3.56(9)	3.04(6)
92.288	0.37(4)	0.41(4)
93.351	5.76(14)	4.85(6)
95.869	0.59(7)	0.69(7)
96.09	0.091(11)	0.093(9)
99.278	0.137(6)	0.149(12)
104.819	2.06	0.606(18)
105.604		1.16(3)
106.239		0.0411(19)
108.582	0.685	0.443(13)
108.955		0.0119(5)
109.442		0.097(6)
109.18	1.66(13)	1.45(3)
115.45	0.03(1)	0.03(1)
194.94	0.63(1)	0.63(4)
198.9	0.036(2)	0.044(2)
202.11	1.08(2)	1.09(1)

Интенсивности линий ^{235}U в равновесии с ^{231}Th

E,кэВ	I (Интенсивность), число гамма-квантов на 100 распадов	
	LNHB 2011/53	Настоящая работа
205.31	5.02(3)	5.01(5)
215.28	0.029(3)	0.0295(5)
221.38	0.118(5)	0.116(10)
228.78	0.0074(4)	0.070(2)
233.5	0.038(4)	0.0287(4)
240.87	0.074(4)	0.067(1)
246.84	0.055(3)	0.054(1)
266.47	0.0078(6)	0.060(3)
275.35	0.051(6)	0.0153(4)
275.49	0.032	
275.4 (сумма)	0.083	0.0153(4)
281.42	0.0063	0.039(5)
282.94	0.0063	0.043(5)
289.56	0.0074	0.004(2)
291.65	0.040(6)	0.019(2)
301.7	0.0053	0.0022(3)
345.9	0.04	0.034(5)
387.84	0.04(6)	0.037(3)

Основные результаты

$I_{93.35}$	
5.76(14)	4.85(6)
$I_{92.38} / I_{93.35}$	
0.484(45)	0.4845(15)
$I_{92.80} / I_{93.35}$	
0.477(45)	0.4997(30)