

Научно-производственное унитарное предприятие



ATOMTEK®

Приборы и технологии для ядерных
измерений и радиационного контроля

www.atomtex.com

Республика Беларусь, г. Минск
© 2025

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ПРИРОДНОГО УРАНА В ПРОБАХ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ С РАДИОНУКЛИДОМ RA-226 НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ СПЕКТРОМЕТРОМ МКС-АТ1315.

Семерикова В.В., Загороднюк А.А., Коновалов Е.А.

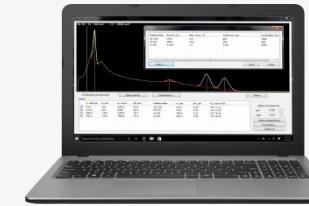
Гамма-бета-спектрометр **МКС-АТ1315** представляет собой комбинированное средство измерений, позволяющее осуществлять радиационный контроль объектов окружающей среды, в том числе строительных материалов.

БДГ-АТ1315 – детектор на основе сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) размерами $\varnothing 63 \times 63$ мм, энергетическое разрешение 7,2%.

БДБ-АТ1315 – детектор сцинтилляционная пластмасса размерами $\varnothing 128 \times 9$ мм.

Программное обеспечение «SPTR», использующее **метод максимального правдоподобия** для обработки спектров и расчета удельной активности радионуклидов.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности при измерении удельной активности радионуклидов при доверительной вероятности 0,95 составляют $\pm 20\%$.

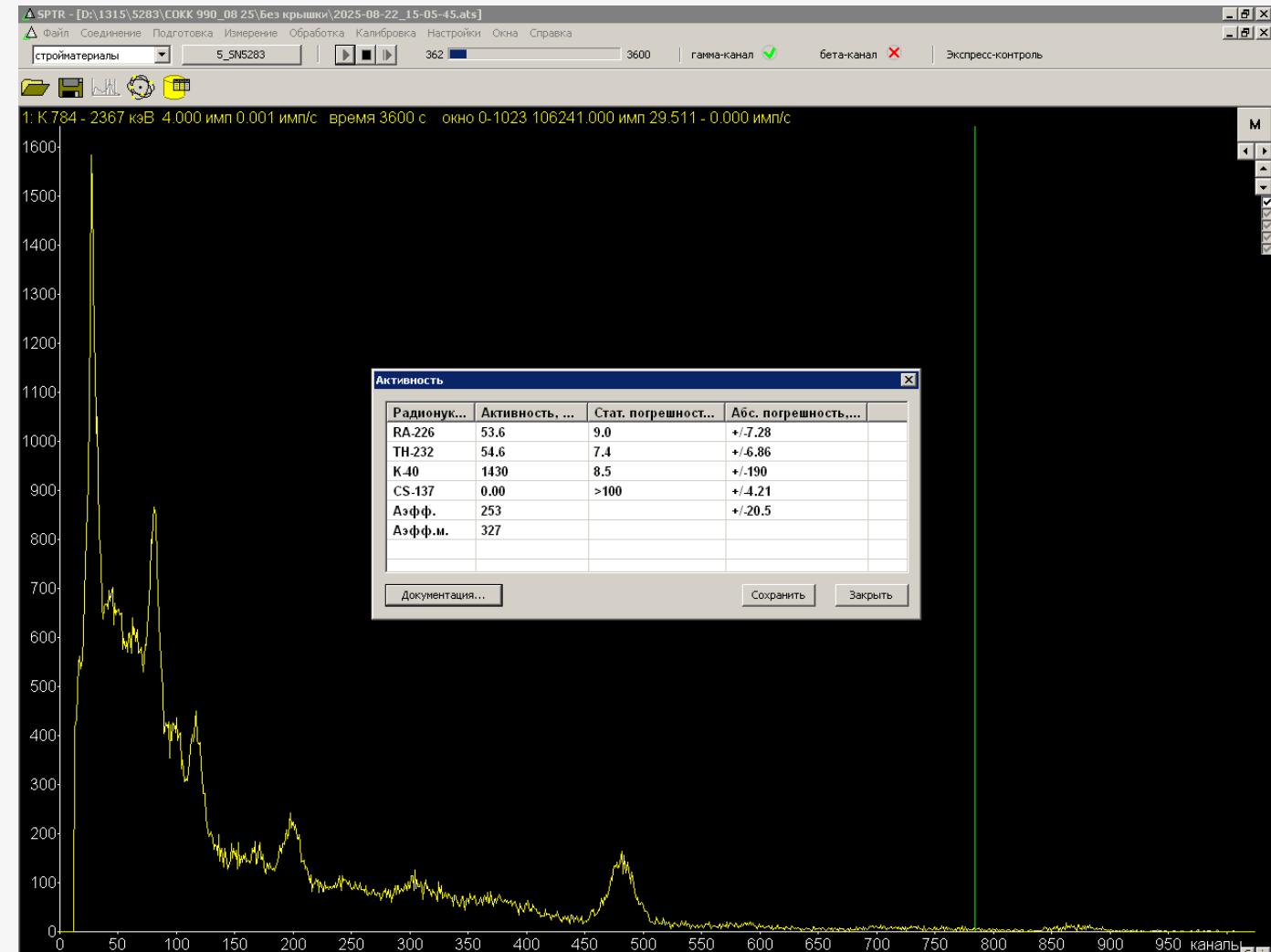


Метод максимального правдоподобия заключается в одновременном анализе спектров от гамма-канала и бета-канала спектрометра в энергетическом диапазоне 50-3000 кэВ и 150-3550 кэВ соответственно.

Метод специчен к радионуклидному составу проб и используется в предположении наличия в пробах стройматериалов радионуклидов Ra-226, Th-232, K-40 и Cs-137.

Использование метода максимального правдоподобия для определения эффективной удельной активности $A_{\text{эфф}}$ предполагает наличие калибровочных спектров, измеренных при выпуске спектрометра из производства.

$$A_{\text{эфф}} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K$$



Проблема заключается в расхождении до $\pm 40\%$ между результатами измерений и аттестованными значениями удельной активности Ra-226, Th-232, K-40, удельной эффективной активности $A_{\text{эфф}}$ стандартных образцов.

Радионуклид	Аттестованное значение УА A_0 , Бк/кг	Измеренное значение УА A , Бк/кг	Отклонение $\delta, \%$
Ra-226	675	489	-27,6
$A_{\text{эфф}}$	675	489	-27,6

Радионуклид	Аттестованное значение УА A_0 , Бк/кг	Измеренное значение УА A , Бк/кг	Отклонение $\delta, \%$
Ra-226	278	177	-36,3
Th-232	58,5	35,9	-38,6
K-40	275	0	-100
$A_{\text{эфф}}$	378	224	-40,7

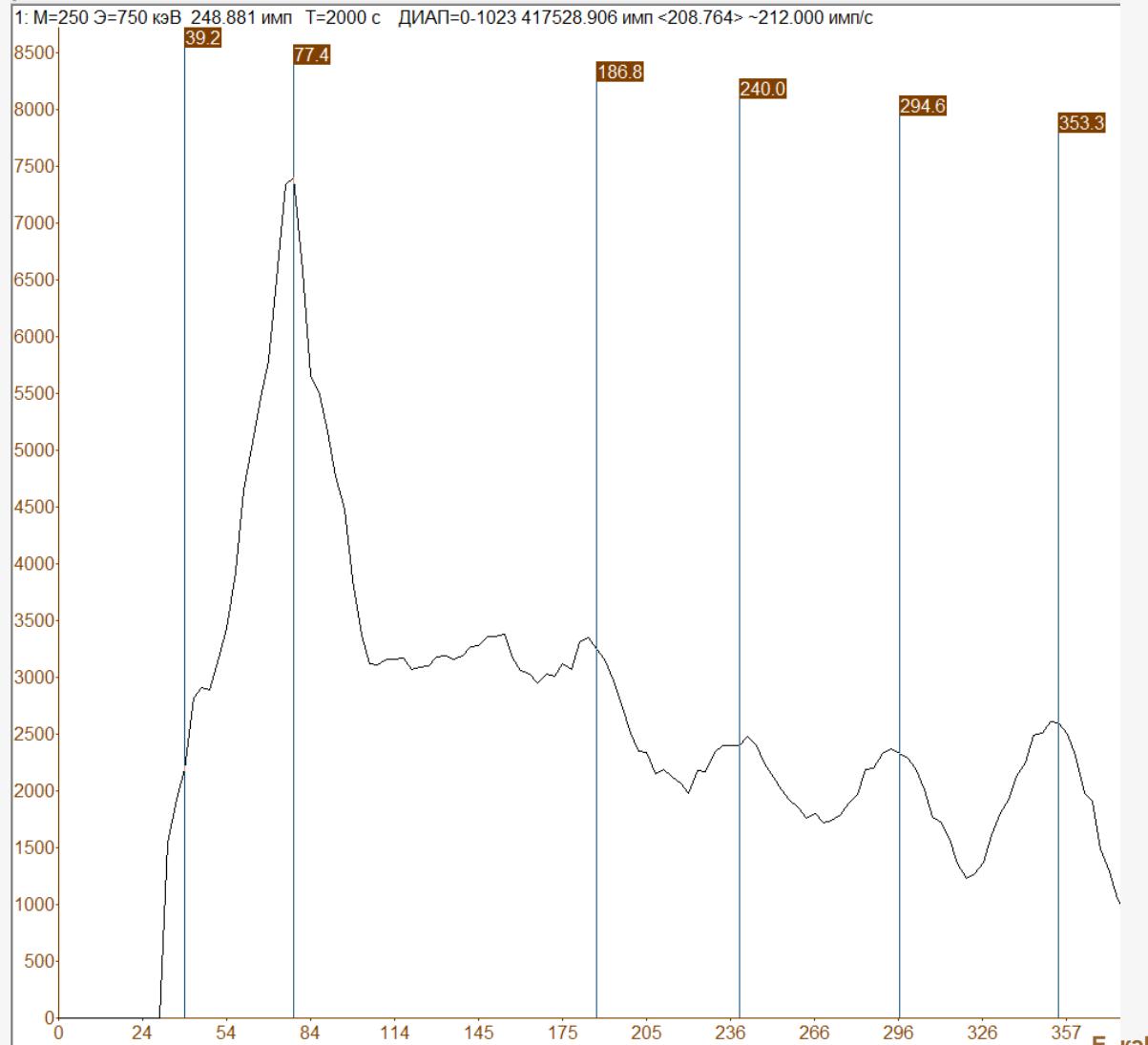


Стандартный образец (СО)

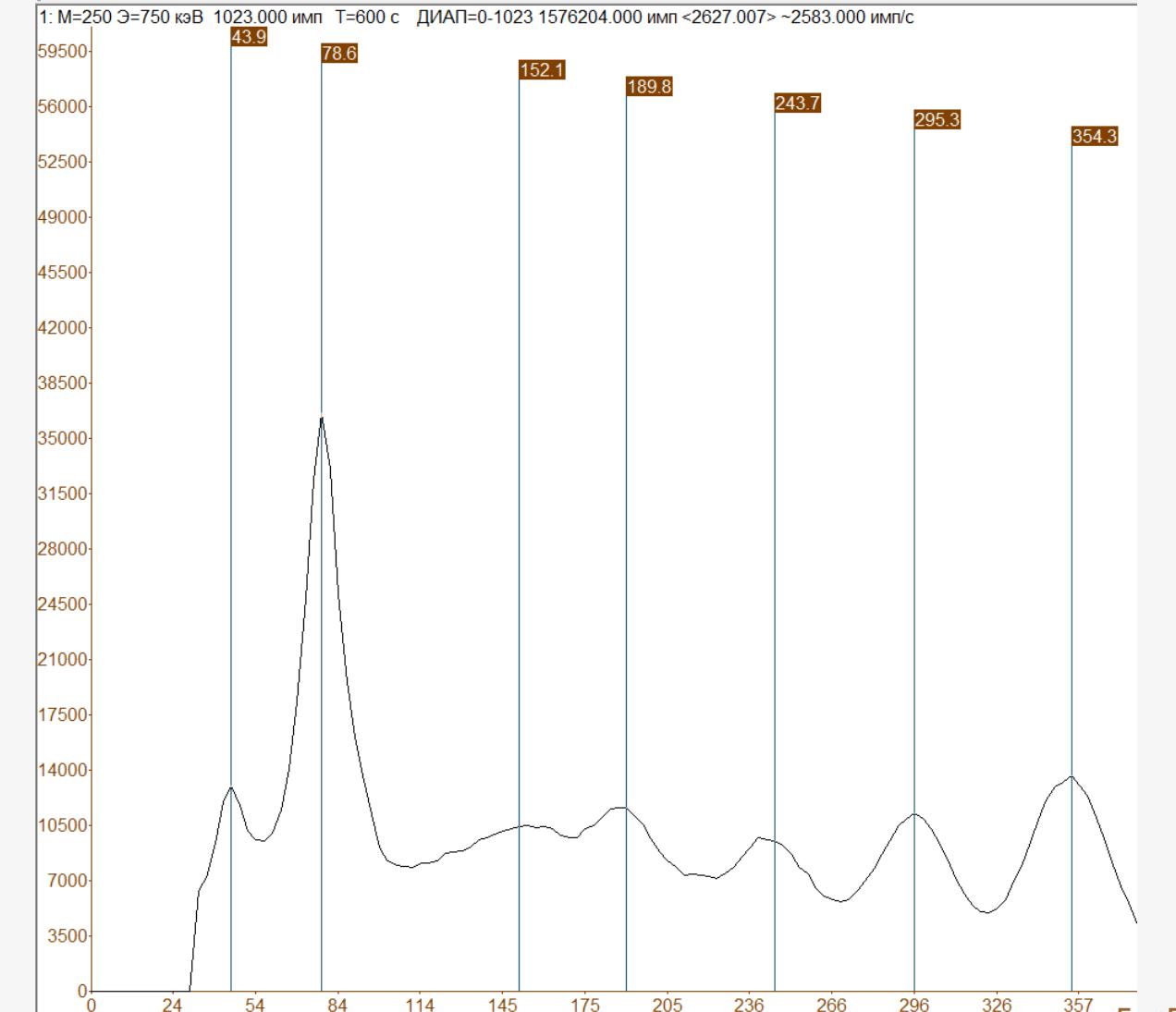
Радионуклид	Аттестованное значение УА A_0 , Бк/кг	Измеренное значение УА A , Бк/кг	Отклонение $\delta, \%$
Ra-226	1367	1190	-12,9
Th-232	756	614	-18,8
K-40	2476	1570	-36,6
Cs-137	2147	1730	-19,4
$A_{\text{эфф}}$	2568	2128	-17,1

Цель данной работы:

- установление причины расхождения между результатами измерений и аттестованными значениями удельной активности естественных радионуклидов Ra-226, Th-232, K-40 стандартных образцов,
- поиск решения данной проблемы.

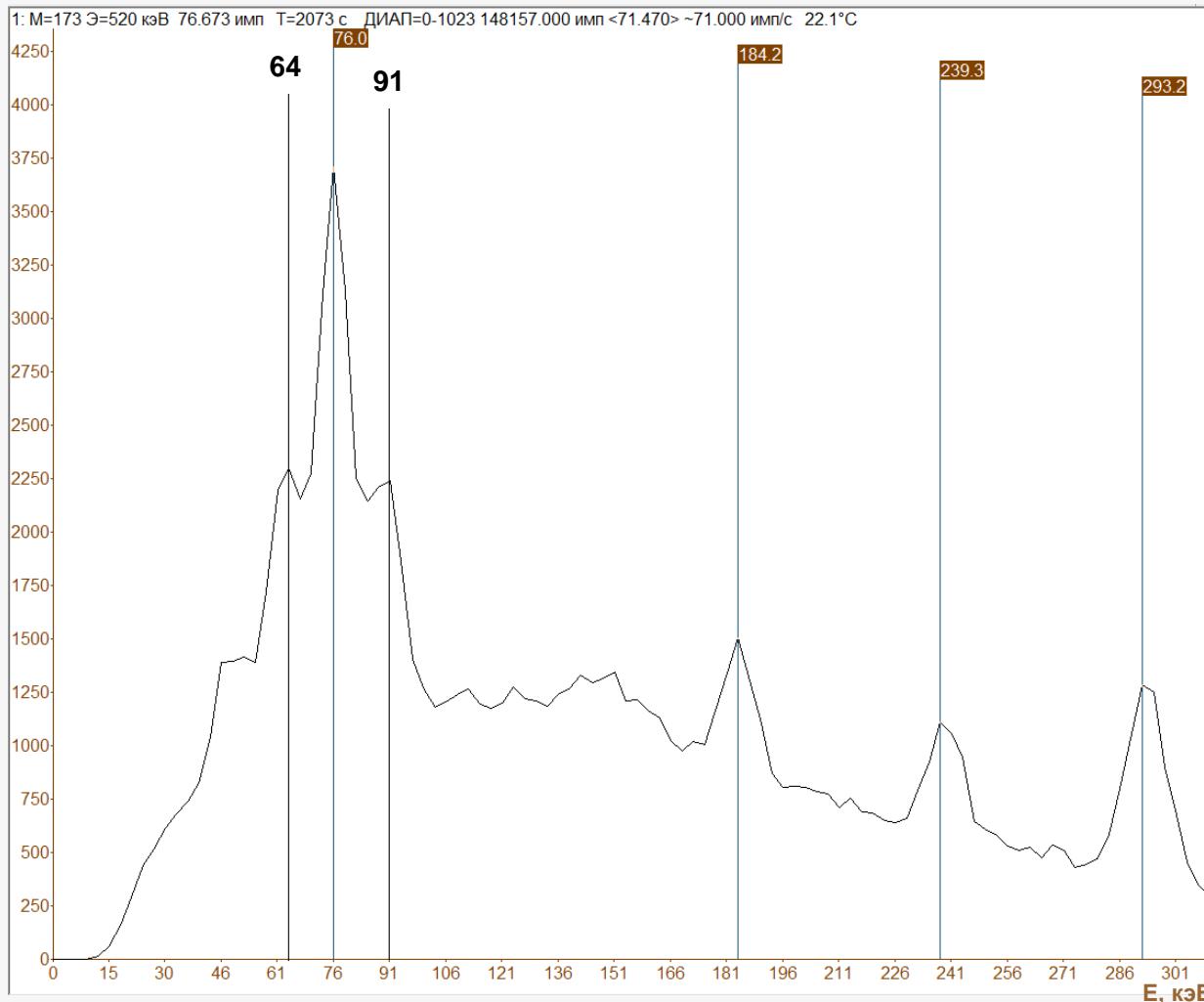


Стандартный образец Ra-226

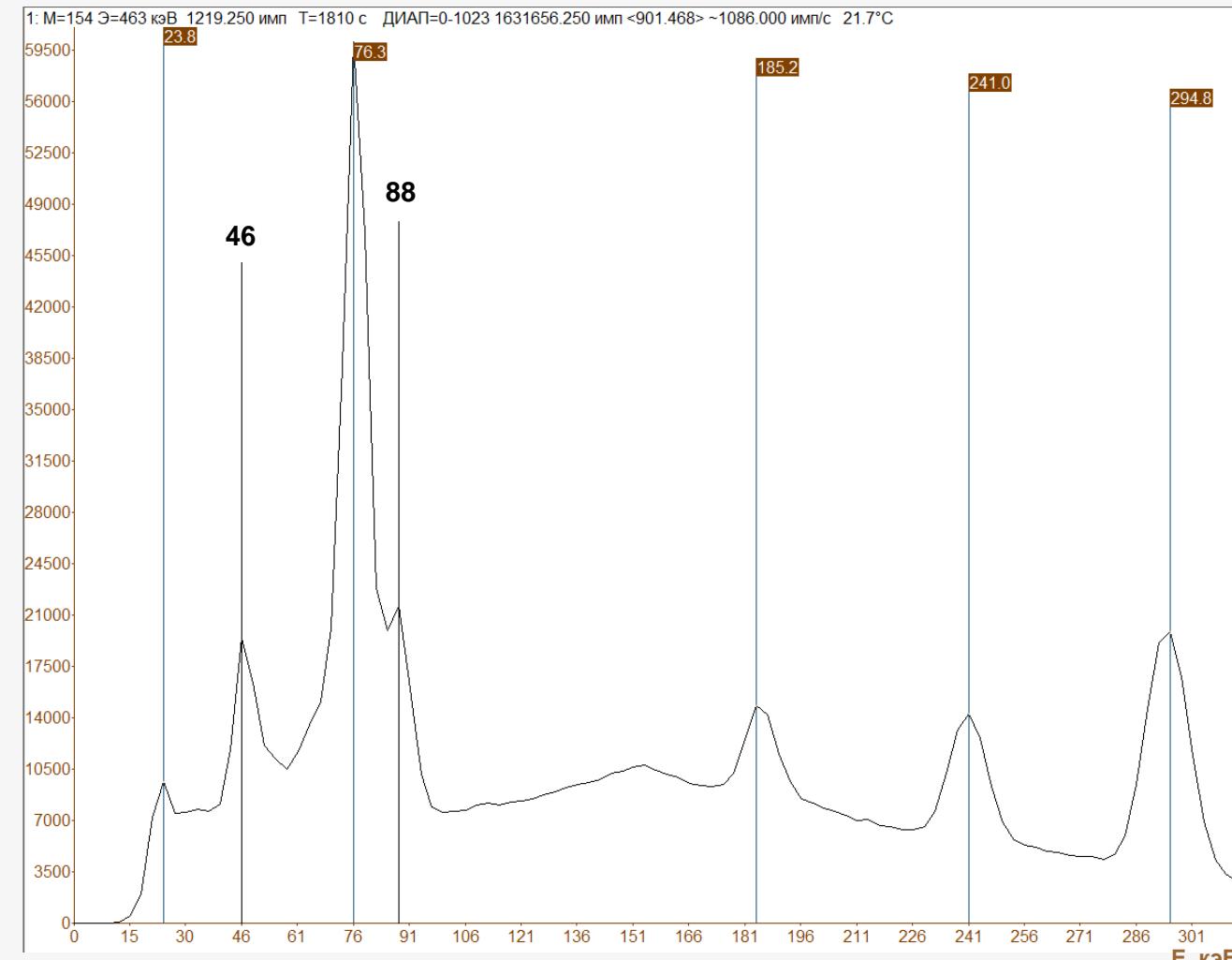


Точечный источник Ra-226

БДКГ-05С – детектор на основе кристалла SrI₂(Eu) размерами Ø38×38 мм с энергетическим разрешением 3,2%.

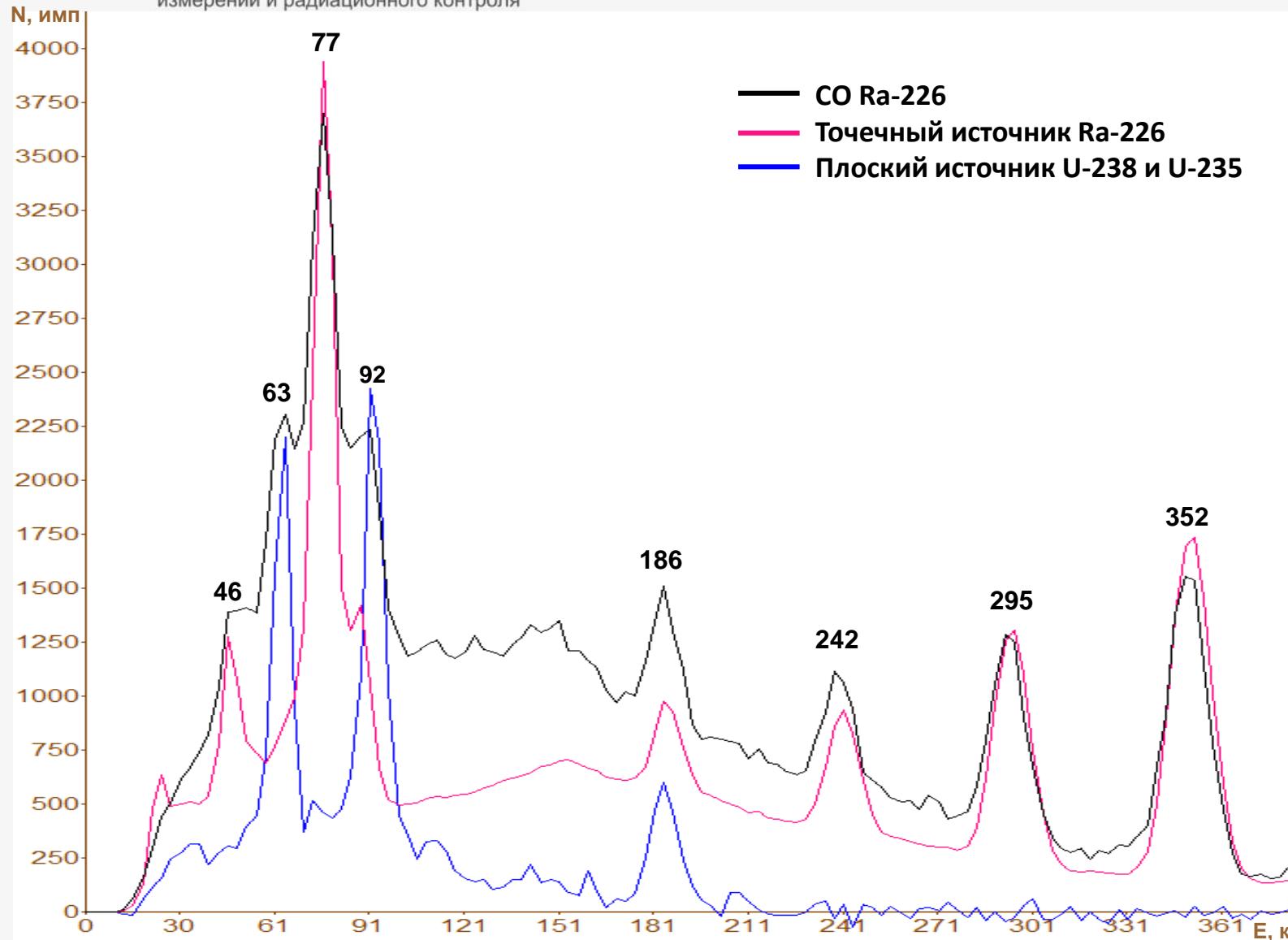


Стандартный образец Ra-226



Точечный источник Ra-226

Линии Ra-226, U-238, U-235



Линии Ra-226 от 40 кэВ до 200 кэВ при интенсивности более 0,5%.

Энергия, кэВ	Интенсивность, %	Тип линии
46,5	4,25	Gamma
53,2	1,08	Gamma
74,8	6,50	X-Ray
77,1	10,8	X-Ray
79,3	0,69	X-Ray
86,8	1,31	X-Ray
87,3	2,50	X-Ray
89,8	0,92	X-Ray
186,2	3,64	Gamma

Линии U-238 от 40 кэВ до 200 кэВ при интенсивности более 0,5%.

Энергия, кэВ	Интенсивность, %	Тип линии
63,3	3,70	Gamma
92,4	2,13	Gamma
92,8	2,10	Gamma

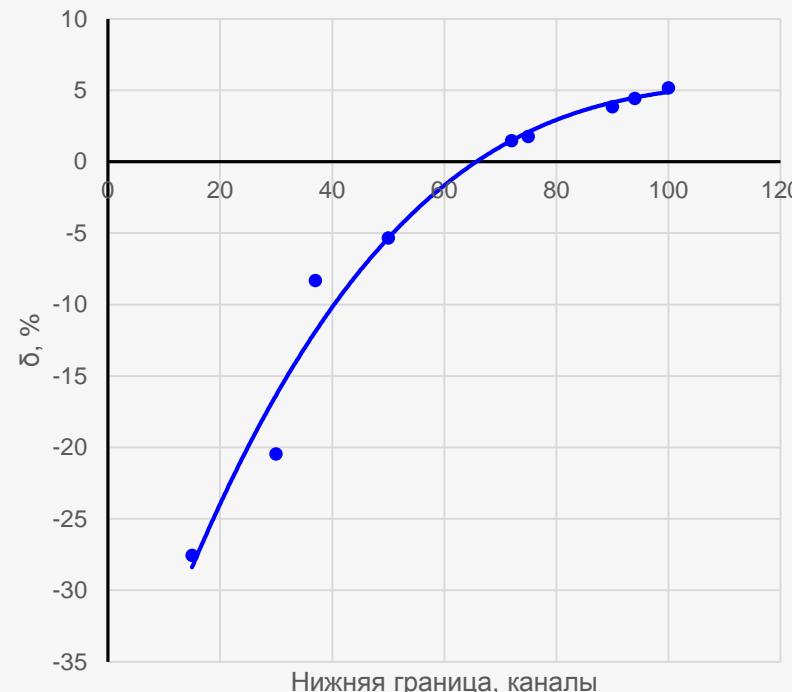
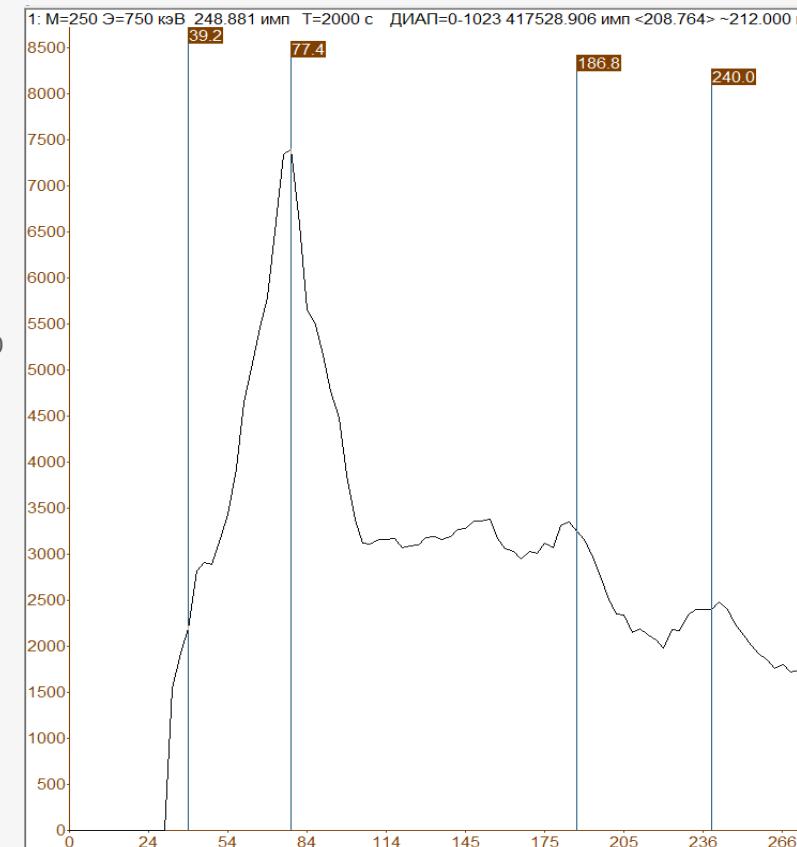
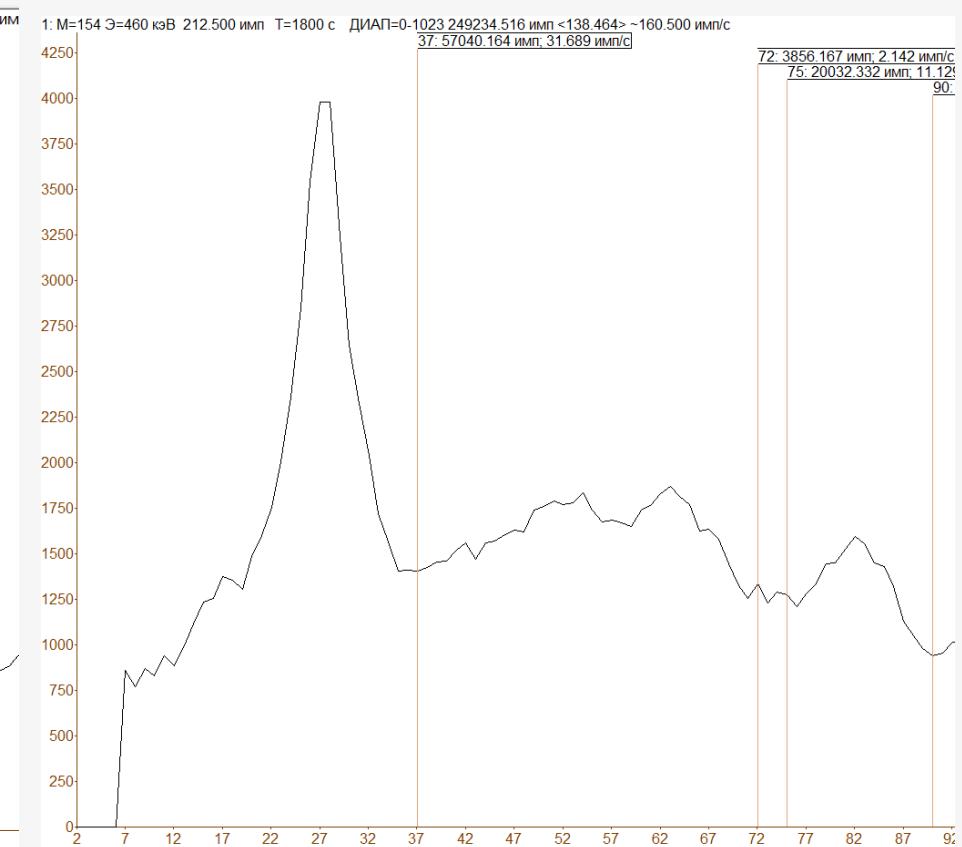
Линии U-235 от 40 кэВ до 200 кэВ при интенсивности более 3%.

Энергия, кэВ	Интенсивность, %	Тип линии
90,0	3,60	Gamma
93,4	5,81	X-Ray
143,8	11,0	X-Ray
163,4	5,08	Gamma
185,7	57,0	Gamma

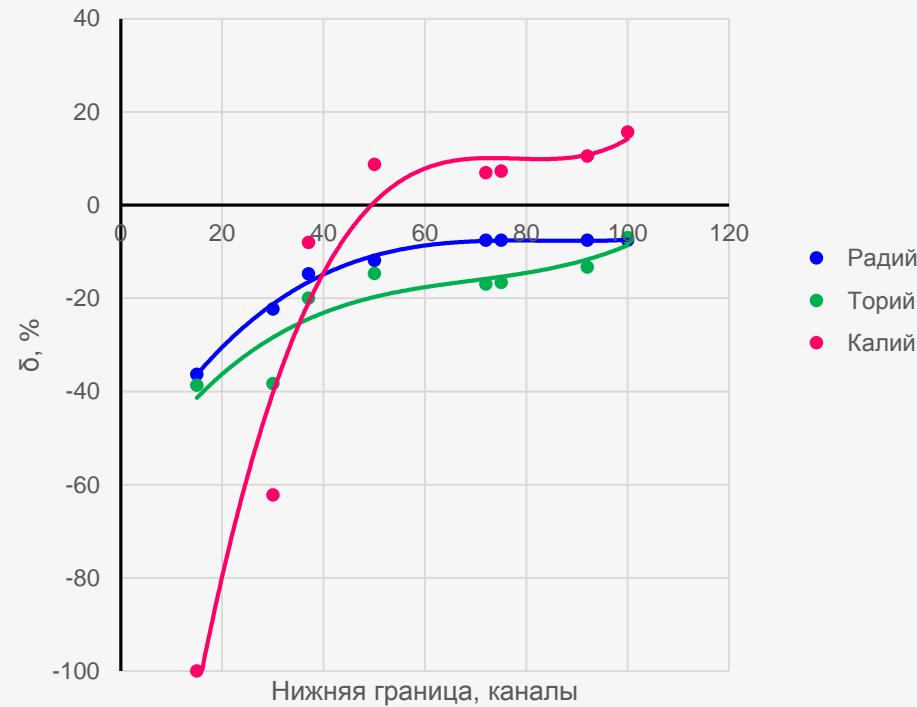
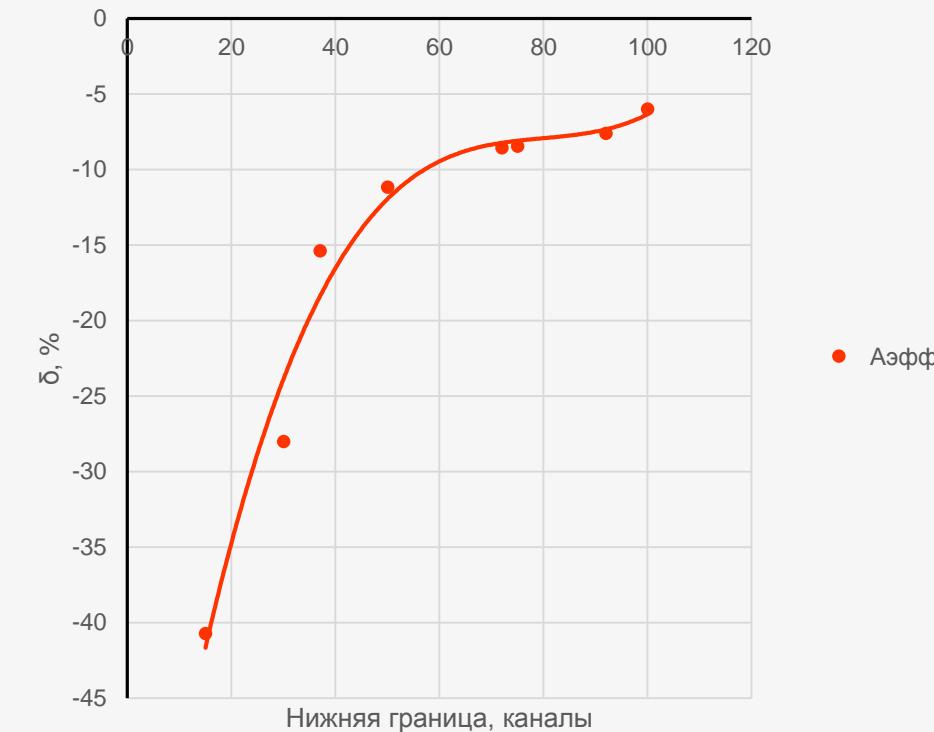
Градуировка

Корректность результатов измерений удельной активности

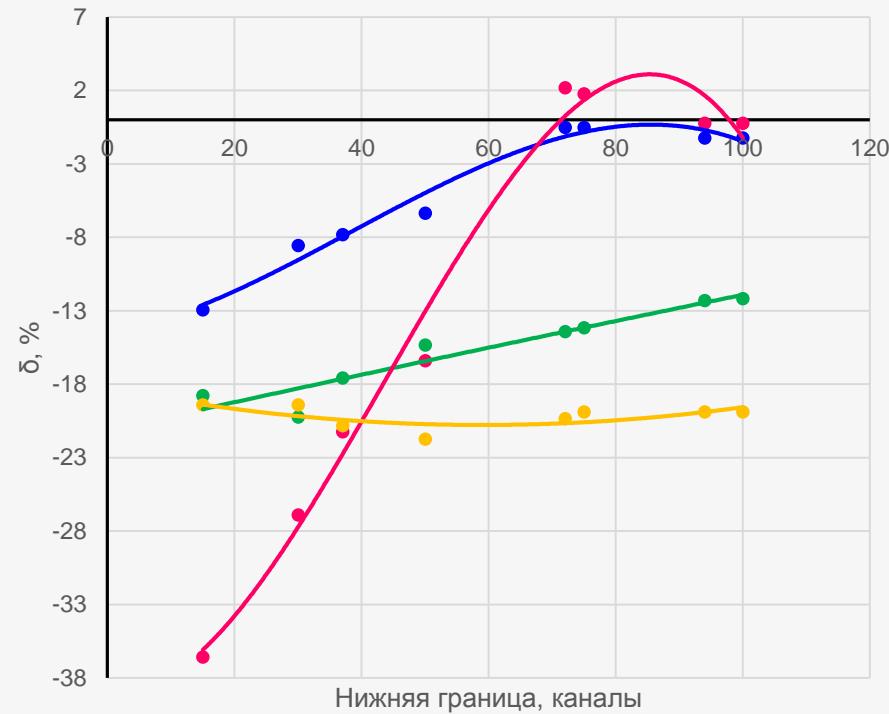
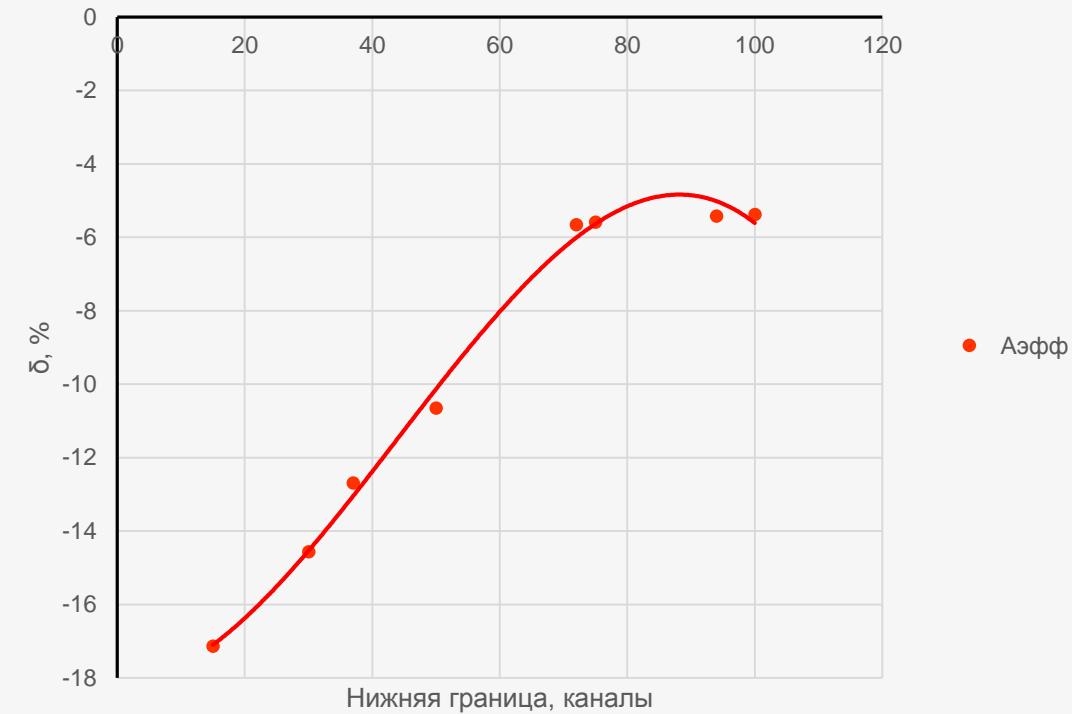
	СО ЕРН с примесью природного урана	СО ЕРН без примеси природного урана	Образцы стройматериалов, поступающие на анализ
Образец Ra-226 с примесью природного урана	✓ / X	X	X
Образец Ra-226 без примеси природного урана	X	✓	X

Зависимость δ от нижней границы

Результаты измерений СО №1

**Стандартный образец Ra-226 для
градуировки спектрометра**

**Стандартный образец Ra-226 для контроля качества
измерений (СО №1)**

Р/Н	A0, Бк/кг	15_1000		30_1000		37_1000		50_1000		72_1000		75_1000		90_1000		94_1000		100_1000	
		A, Бк/кг	δ , %																
Ra-226	675	489	-27.6	537	-20.4	619	-8.3	639	-5.3	685	1.5	687	1.8	701	3.9	705	4.4	710	5.2

Зависимость δ от нижней границы

 Зависимость δ от нижней границы


Р/Н	A0, Бк/кг	15_1000		30_1000		37_1000		50_1000		72_1000		75_1000		92_1000		100_1000	
		A, Бк/кг	δ , %														
Ra-226	278	177	-36.3	216	-22.3	237	-14.7	245	-11.9	257	-7.6	257	-7.6	257	-7.6	257	-7.6
Th-232	58.5	35.9	-38.6	36.1	-38.3	46.8	-20.0	49.9	-14.7	48.6	-16.9	48.8	-16.6	50.7	-13.3	54.4	-7.0
K-40	275	0	-100.0	104	-62.2	253	-8.0	299	8.7	294	6.9	295	7.3	304	10.5	318	15.6
Аэфф	378	224	-40.7	272	-28.0	320	-15.4	336	-11.2	346	-8.6	346	-8.5	349	-7.6	355	-6.0

Зависимость δ от нижней границы

 Зависимость δ от нижней границы


Р/Н	A0, Бк/кг	15_1000		30_1000		37_1000		50_1000		72_1000		75_1000		94_1000		100_1000	
		А, Бк/кг	δ , %														
Ra-226	1367	1190	-12.9	1250	-8.6	1260	-7.8	1280	-6.4	1360	-0.5	1360	-0.5	1350	-1.2	1350	-1.2
Th-232	756	614	-18.8	603	-20.2	623	-17.6	640	-15.3	647	-14.4	649	-14.2	663	-12.3	664	-12.2
K-40	2476	1570	-36.6	1810	-26.9	1950	-21.2	2070	-16.4	2530	2.2	2520	1.8	2470	-0.2	2470	-0.2
Cs-137	2147	1730	-19.4	1730	-19.4	1700	-20.8	1680	-21.8	1710	-20.4	1720	-19.9	1720	-19.9	1720	-19.9
A _{аэф}	2568	2128	-17.1	2194	-14.6	2242	-12.7	2294	-10.6	2423	-5.7	2424	-5.6	2428	-5.4	2430	-5.4

- Уменьшение диапазона энергий при обработке спектра со стороны низких энергий позволит исключить влияние примесей природного урана в образцах стройматериалов на результаты измерений удельной активности естественных радионуклидов при использовании метода максимального правдоподобия.
- Показано, что наиболее оптимальным будет диапазон обработки спектров с 75 по 1000 канал (225 кэВ – 3000 кэВ).
- Для гамма-бета спектрометра МКС-АТ1315 уменьшение диапазона энергий может быть реализовано путем редактирования одного из системных файлов программы «S PTR» без необходимости внесения изменений в градуировку спектрометра.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Республика Беларусь
220005, Минск, ул. Гикало, 5
Тел./Факс: +375-17-270-81-42

info@atomtex.com
www.atomtex.com