

Научно-производственное  
унитарное предприятие



**ATOMTEX®**

Приборы и технологии для ядерных  
измерений и радиационного контроля

[www.atomtex.com](http://www.atomtex.com)

Республика Беларусь, г. Минск

© 2025



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

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



**ATOMTEX®**  
Приборы и технологии для ядерных  
измерений и радиационного контроля

## Описание оборудования

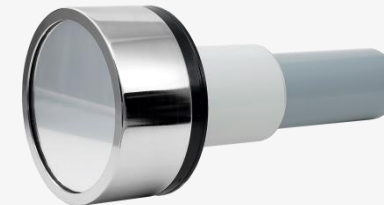
Гамма-бета-спектрометр **МКС-АТ1315** представляет собой комбинированное средство измерений, позволяющее осуществлять радиационный контроль объектов окружающей среды, в том числе строительных материалов.

**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  $\pm 20\%$ .

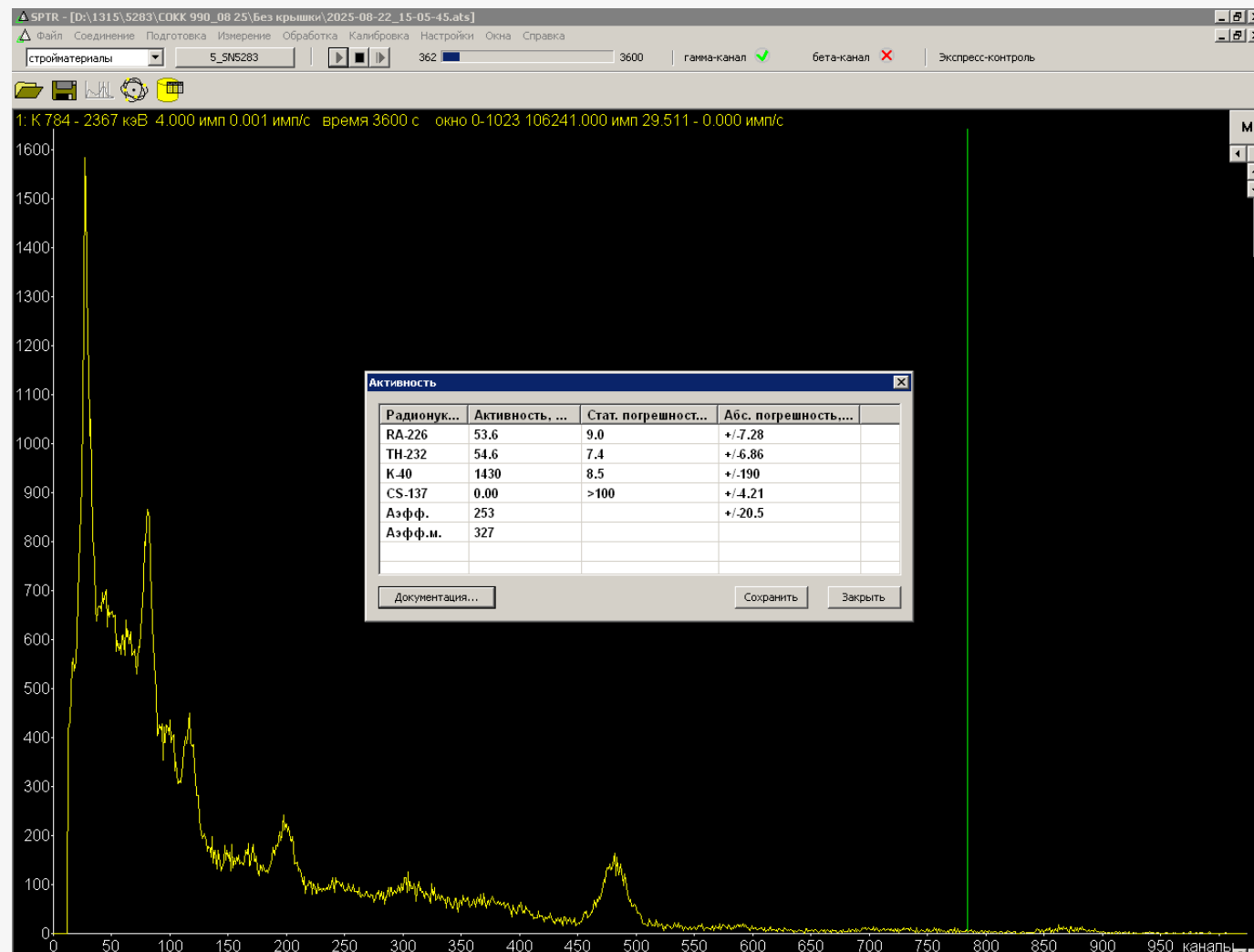


Метод максимального правдоподобия заключается в одновременном анализе спектров от гамма-канала и бета-канала спектрометра в энергетическом диапазоне 50-3000 кэВ и 150-3550 кэВ соответственно.

Метод специфичен 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  $A_{эфф}$  предполагает наличие калибровочных спектров, измеренных при выпуске спектрометра из производства.

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



## Описание проблемы

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 А0, Бк/кг	Измеренное значение УА А, Бк/кг	Отклонение $\delta$ , %
Ra-226	<b>675</b>	489	-27,6
$A_{\text{эфф}}$	<b>675</b>	489	-27,6

Радионуклид	Аттестованное значение УА А0, Бк/кг	Измеренное значение УА А, Бк/кг	Отклонение $\delta$ , %
Ra-226	<b>278</b>	177	-36,3
Th-232	<b>58,5</b>	35,9	-38,6
K-40	<b>275</b>	0	-100
$A_{\text{эфф}}$	<b>378</b>	224	-40,7



Стандартный образец (СО)

Радионуклид	Аттестованное значение УА А0, Бк/кг	Измеренное значение УА А, Бк/кг	Отклонение $\delta$ , %
Ra-226	<b>1367</b>	1190	-12,9
Th-232	<b>756</b>	614	-18,8
K-40	<b>2476</b>	1570	-36,6
Cs-137	<b>2147</b>	1730	-19,4
$A_{\text{эфф}}$	<b>2568</b>	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.

**ATOMTEX®**

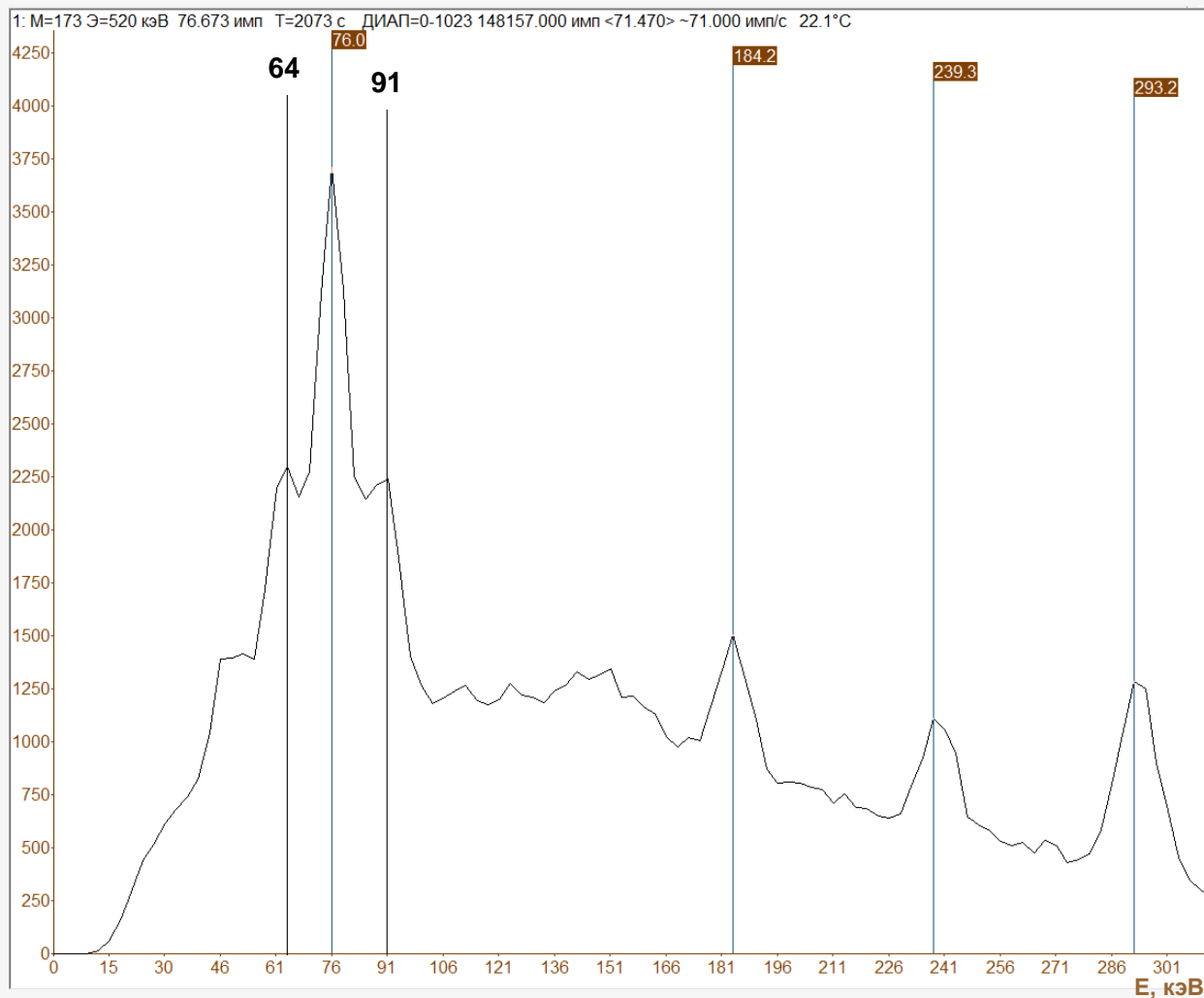
Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

# Спектры Ra-226 на БДГ-АТ1315 (NaI(Tl))

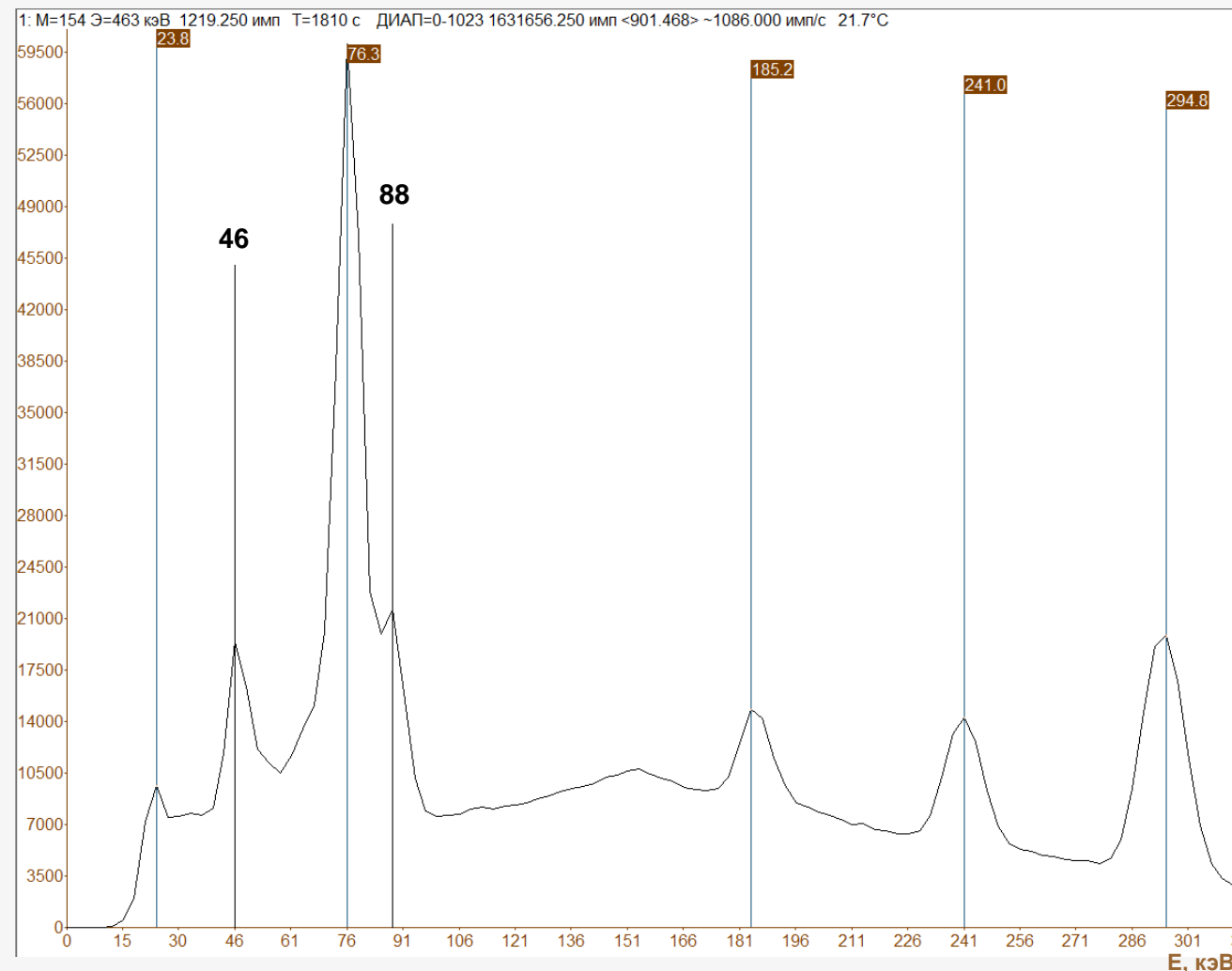
**Стандартный образец Ra-226****Точечный источник Ra-226**



БДКГ-05С – детектор на основе кристалла  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$  размерами  $\varnothing 38 \times 38$  мм с энергетическим разрешением 3,2%.



Стандартный образец Ra-226

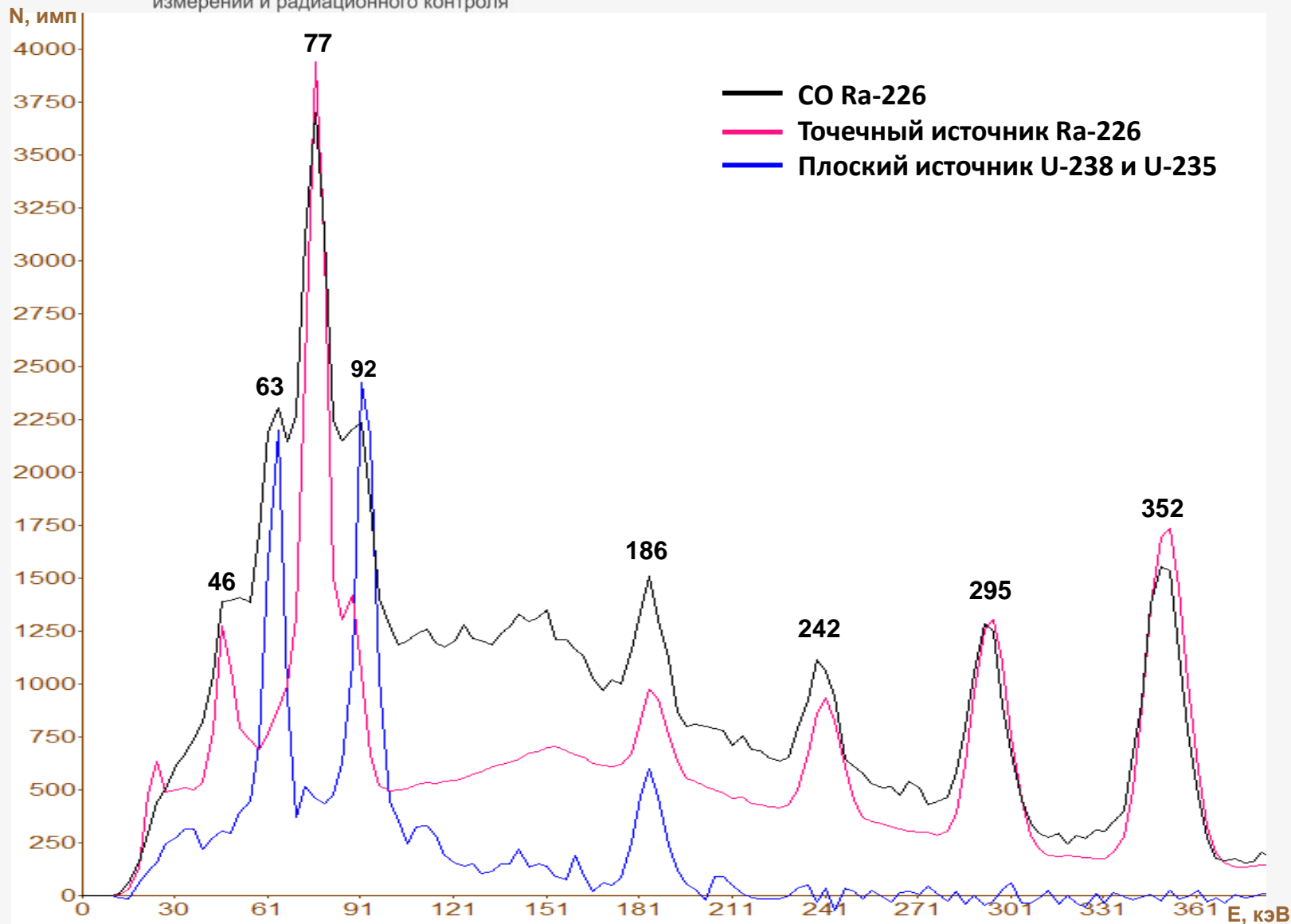


Точечный источник Ra-226



**ATOMTEX®**Приборы и технологии для ядерных  
измерений и радиационного контроля

## 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



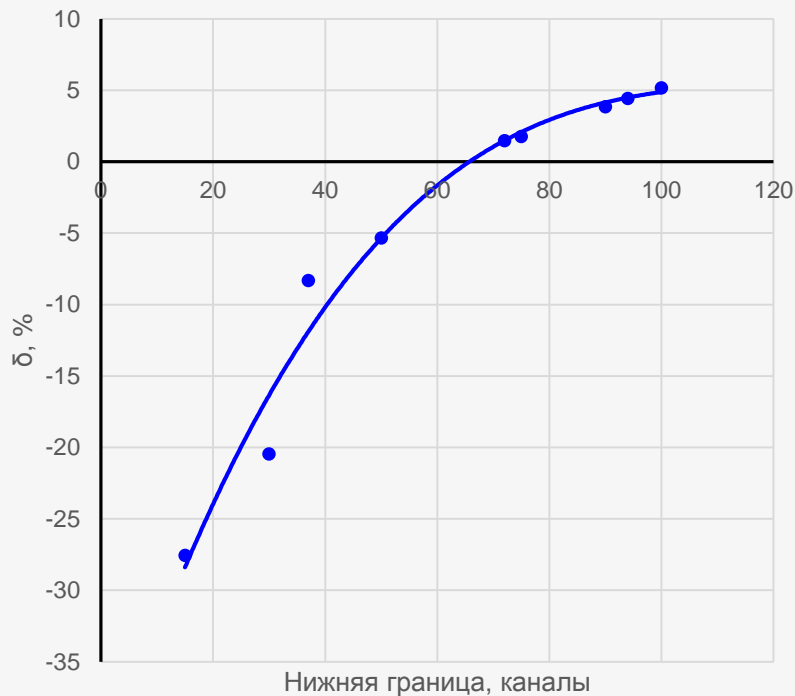
Градуировка	Корректность результатов измерений удельной активности		
	СО ЕРН с примесью природного урана	СО ЕРН <b>без</b> примеси природного урана	Образцы стройматериалов, поступающие на анализ
Образец Ra-226 <b>с</b> примесью природного урана	✓ / ✗	✗	✗
Образец Ra-226 <b>без</b> примеси природного урана	✗	✓	✗



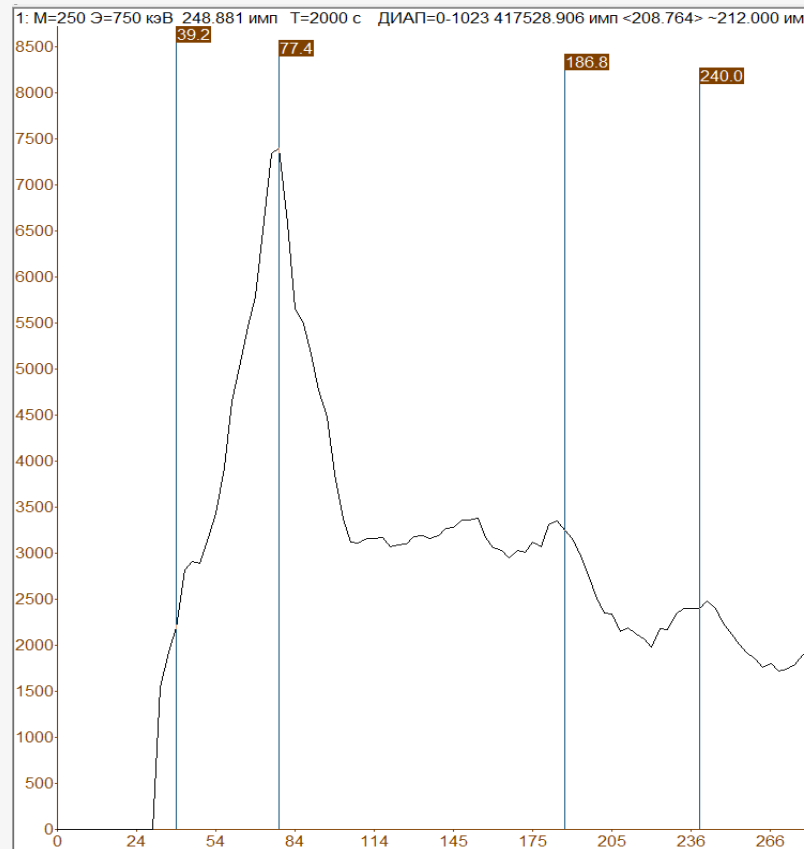
# ATOMTEX®

Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

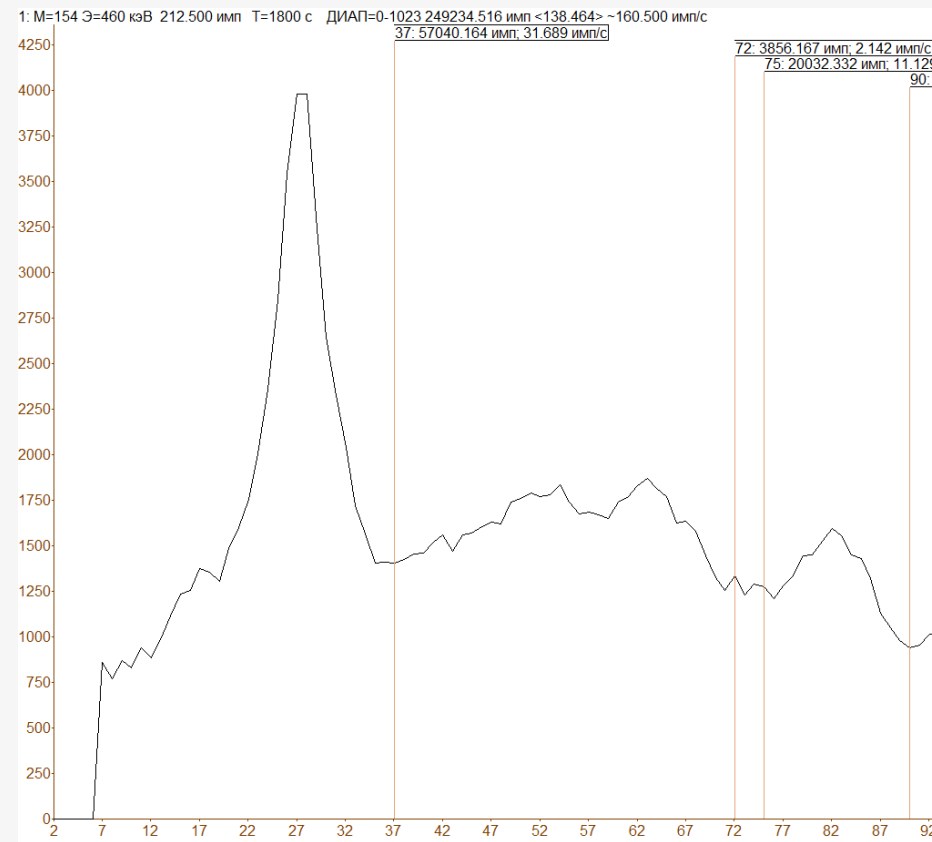
## Зависимость $\delta$ от нижней границы



## Результаты измерений СО №1



Стандартный образец Ra-226 для градуировки спектрометра

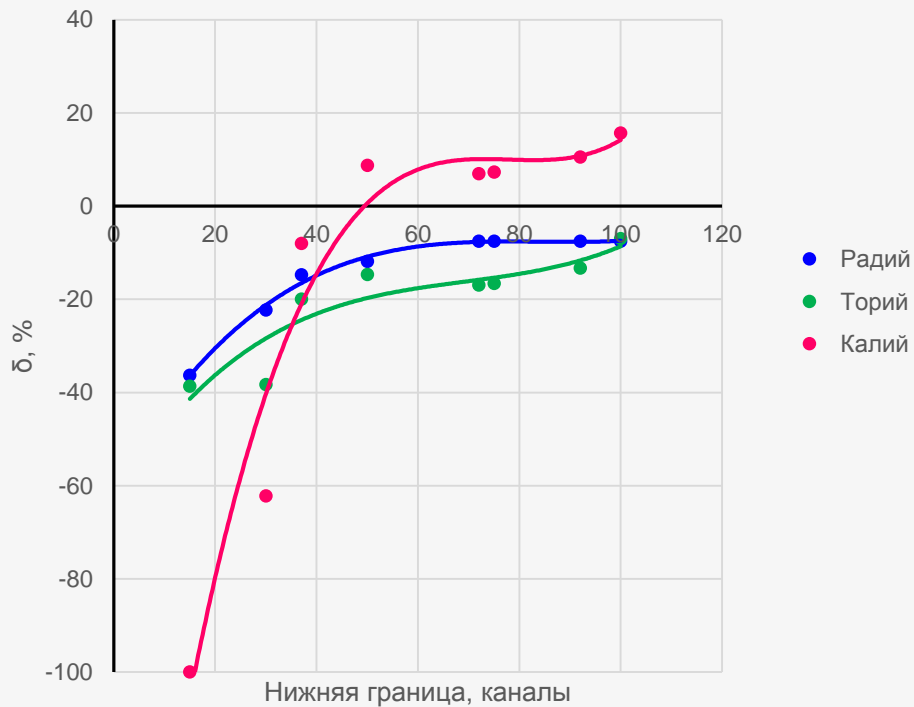


Стандартный образец Ra-226 для контроля качества измерений (СО №1)

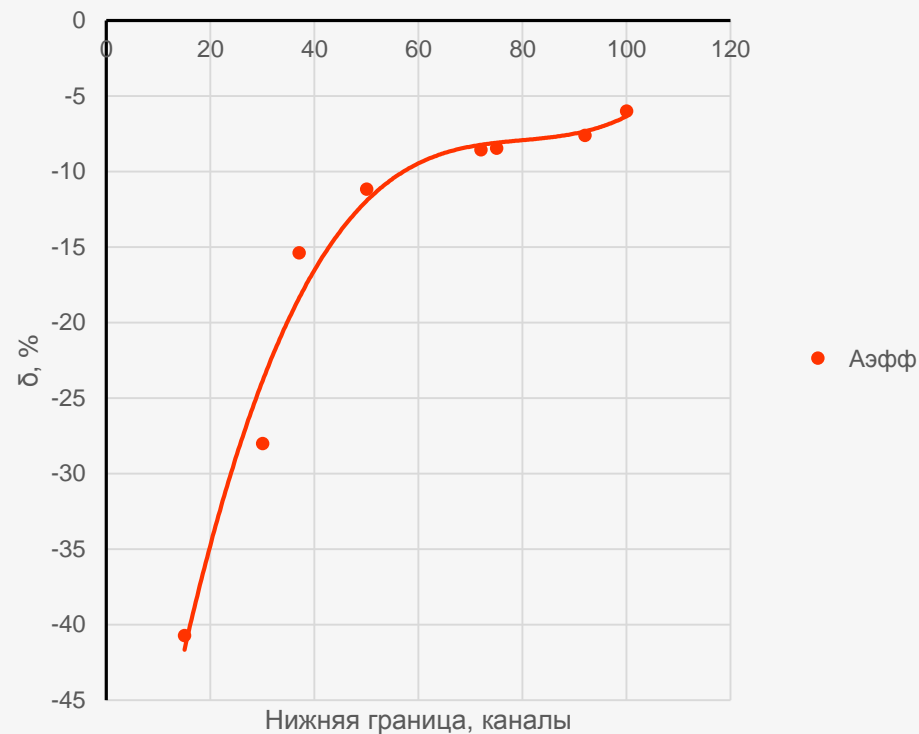
Р/Н	А0, Бк/кг	15_1000		30_1000		37_1000		50_1000		72_1000		75_1000		90_1000		94_1000		100_1000	
		А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %
Ra-226	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  $\delta$  от нижней границы



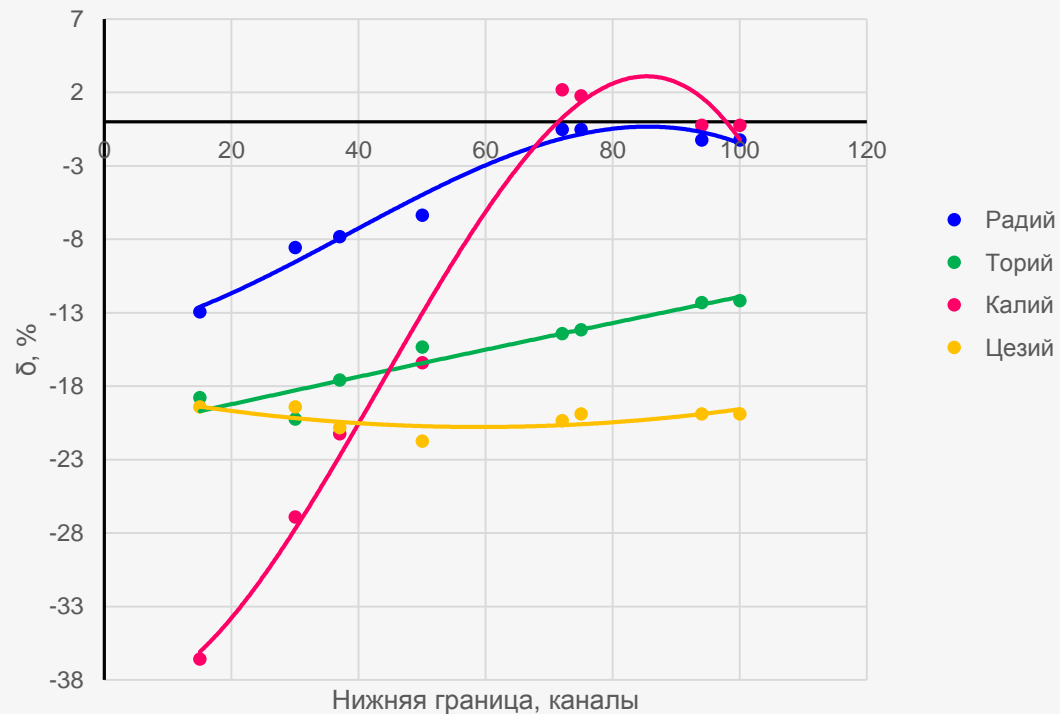
Зависимость  $\delta$  от нижней границы



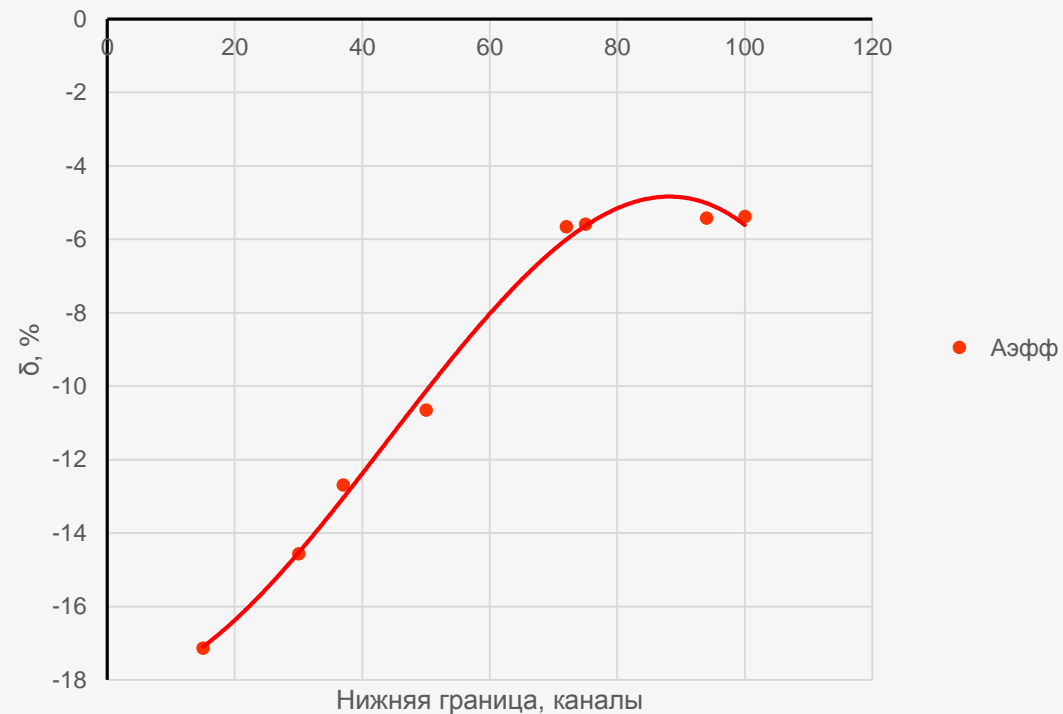
Р/н	А0, Бк/кг	15_1000		30_1000		37_1000		50_1000		72_1000		75_1000		92_1000		100_1000	
		А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %
Ra-226	278	177	-36.3	216	-22.3	237	-14.7	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  $\delta$  от нижней границы



Зависимость  $\delta$  от нижней границы



Р/н	А0, Бк/кг	15_1000		30_1000		37_1000		50_1000		72_1000		75_1000		94_1000		100_1000	
		А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %	А, Бк/кг	$\delta$ , %
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
Аэфф	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 «SPTR» без необходимости внесения изменений в градуировку спектрометра.



**ATOMTEX®**

Приборы и технологии для ядерных  
измерений и радиационного контроля

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

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

[info@atomtex.com](mailto:info@atomtex.com)  
[www.atomtex.com](http://www.atomtex.com)