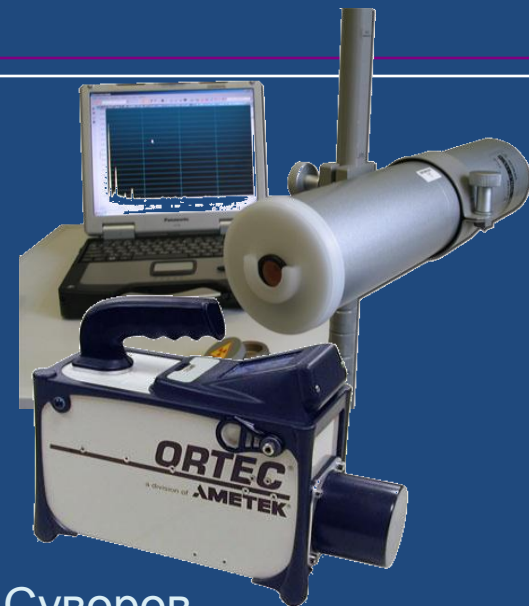


**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ SPECTRALINE2010 ДЛЯ
АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С
ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНЫХ
СПЕКТРОМЕТРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**



**В.Н.Даниленко, Е.А.Ковальский., Ю.В.Скубо, Д.А.Суворов,
Д.А..Шарилов, А.Ю. Юферов
(ООО «ЛСРМ», Зеленоград,)**

IAEA Research Contract No: 14900/R1

**DEVELOPMENT AND TEST OF FIELD USEABLE SOFTWARE FOR THE ANALYSIS OF
GAMMA SPECTRA OF SEIZED SOURCES.**

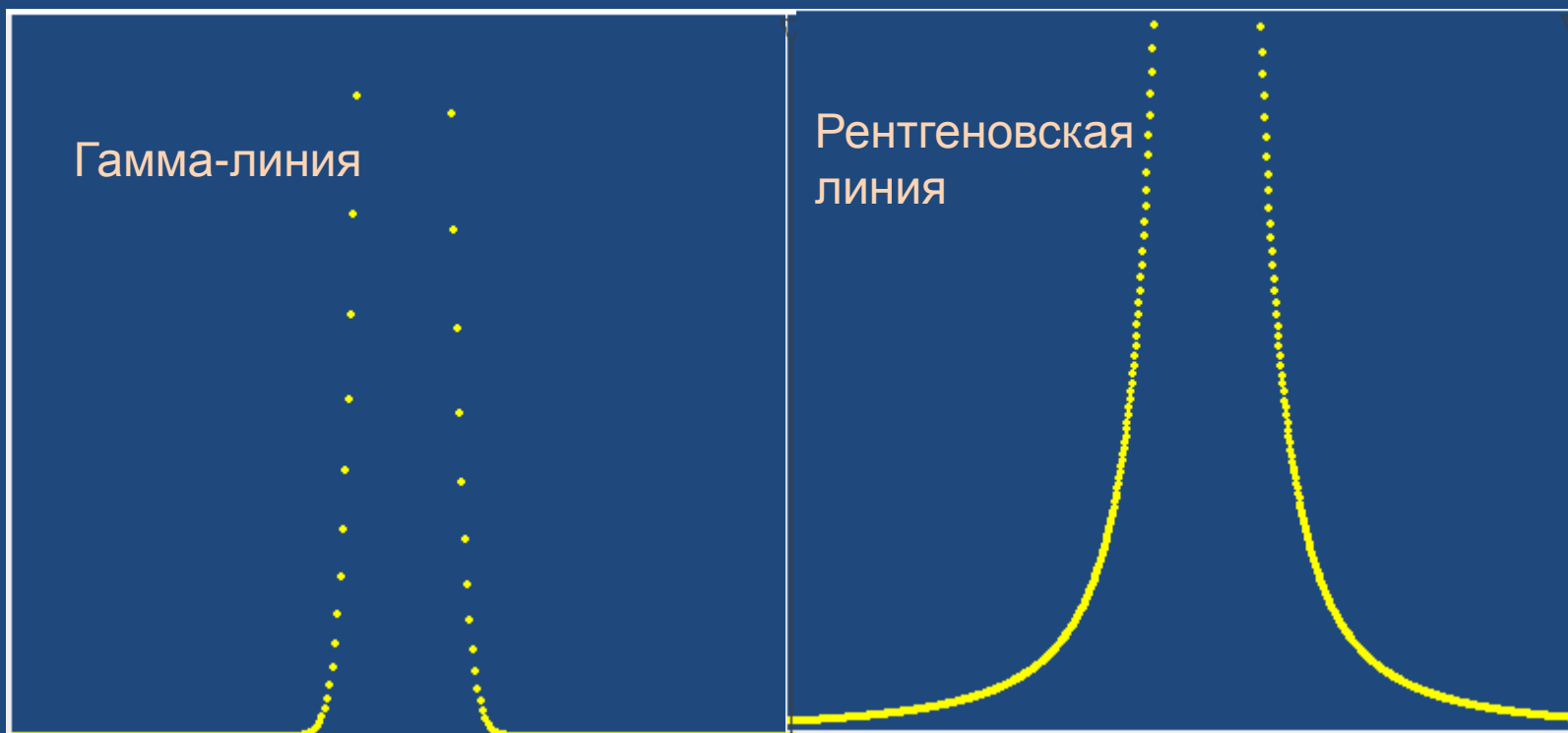


**LABORATORY
of spectrometry
and radiometry**

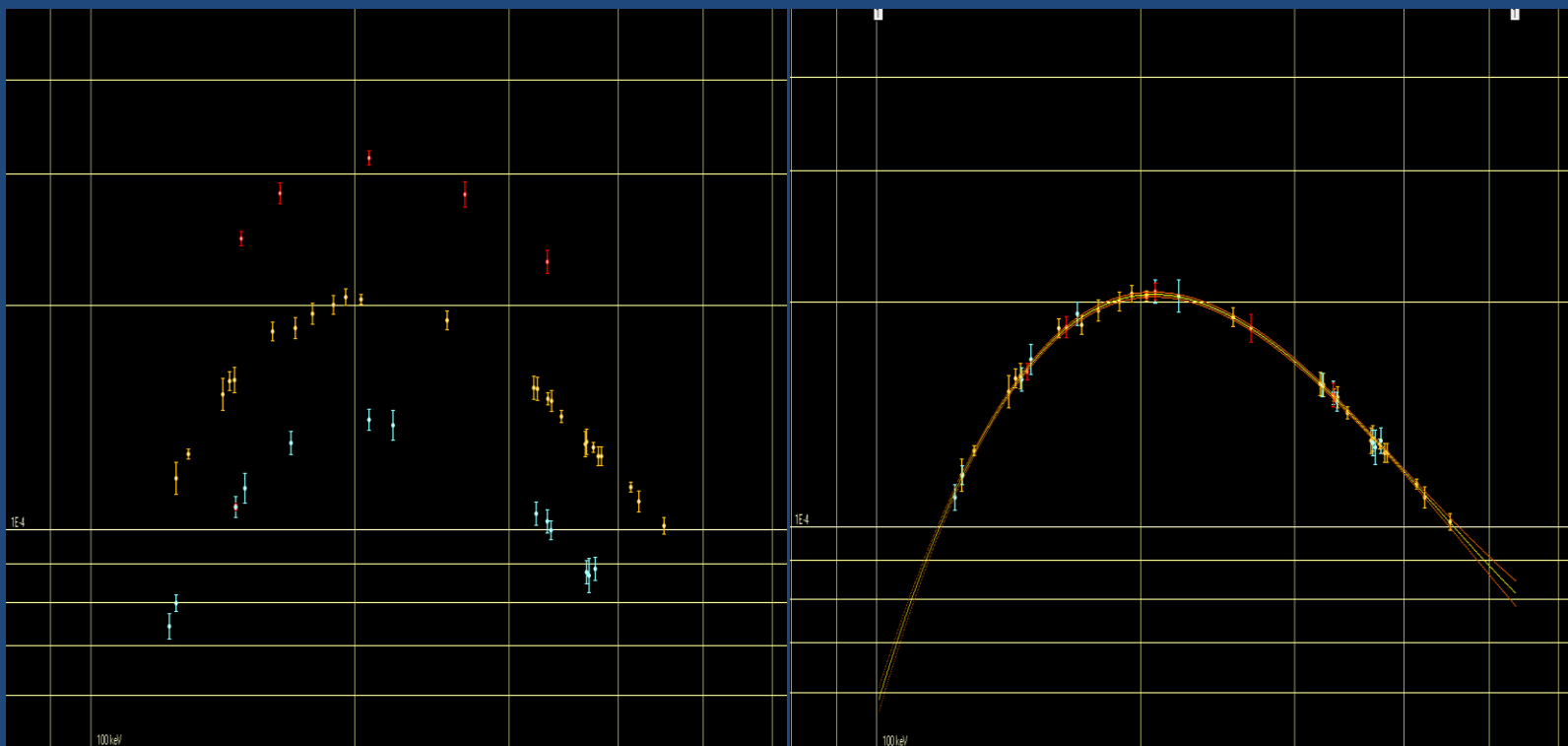
**<http://www.lsrn.ru>
mail: lsrm@lsrm.ru
Phone: +7 495 660-16-14
Located in Moscow, Russia**

Особенности ПО для анализа ядерных материалов

- Учет отличия в форме гамма и рентгеновских линий
- Калибровка по относительной эффективности регистрации (по измеряемому образцу)
- Аппроксимация информативных участков спектра с учетом соотношения интенсивностей



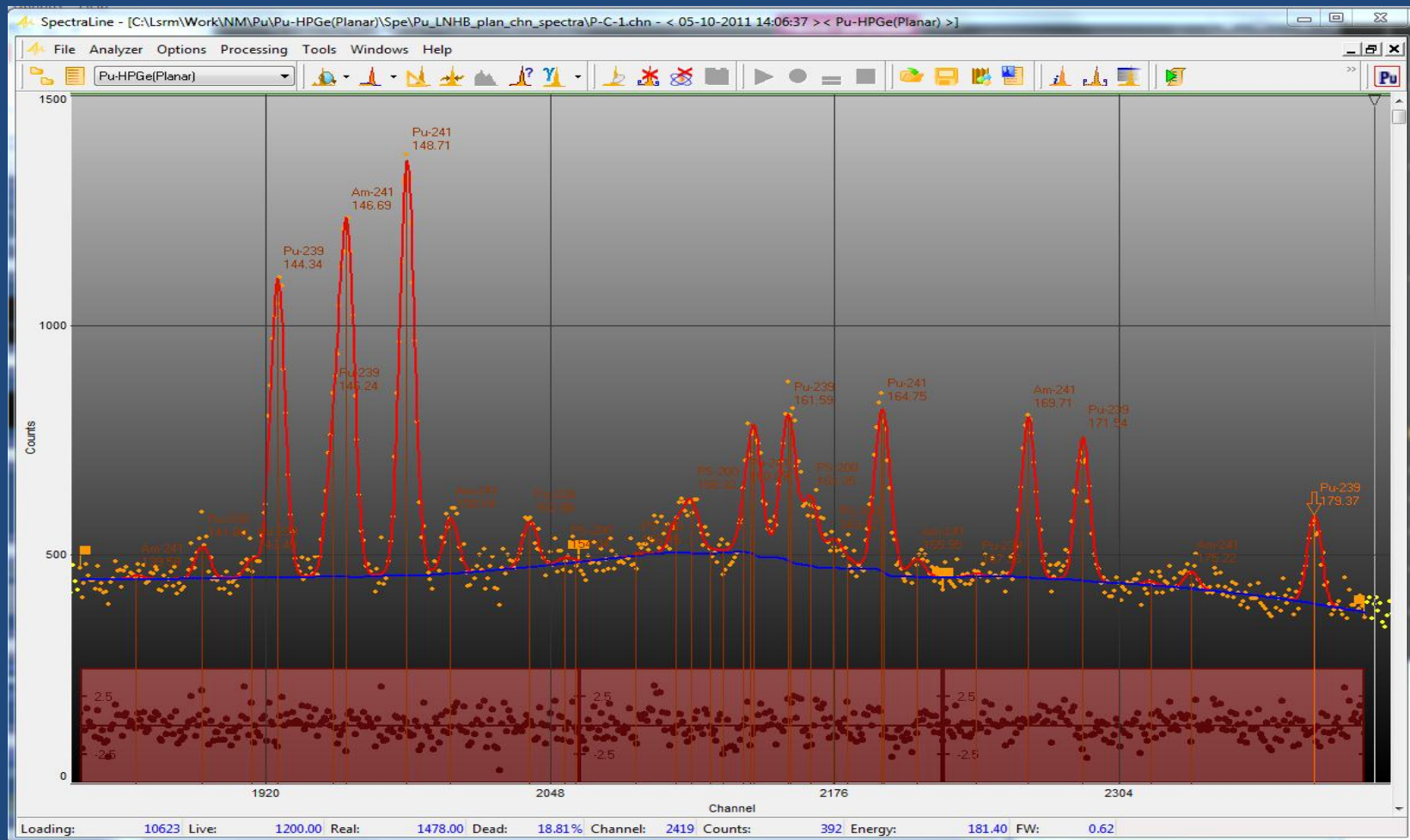
Эффективность регистрации – сшивка относительных эффективностей



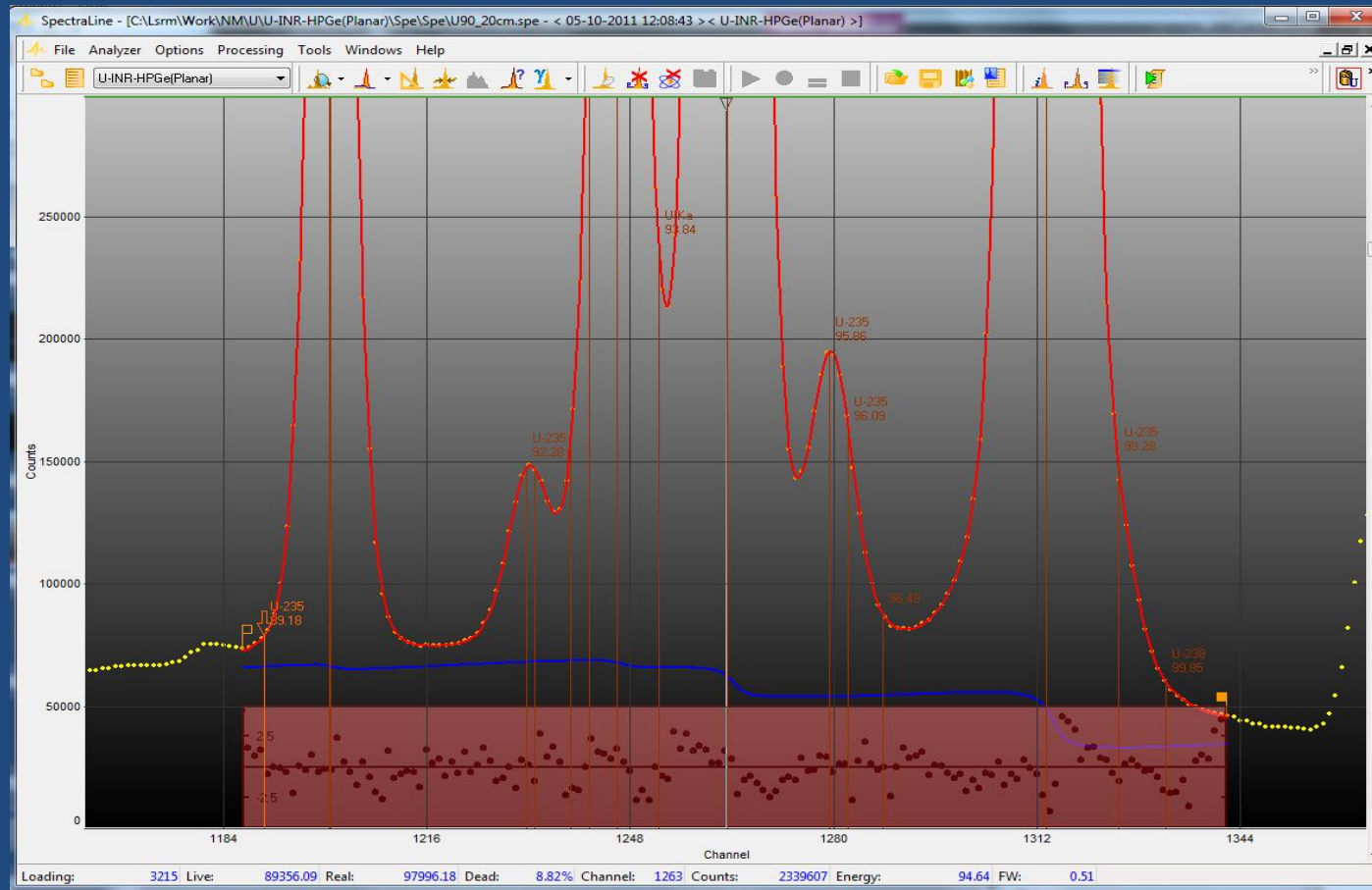
Эффективность регистрации – скачок на К-крае



Фрагмент спектра плутониевого образца



Фрагмент спектра уранового образца



Верификация кода

International Workshop on Gamma Evaluation Codes for Plutonium and Uranium Isotope Abundance Measurements by High-Resolution Gamma Spectrometry: Current Status and Future Challenges

*Institute for Transuranium Elements, Karlsruhe
November 14 – 16, 2005*

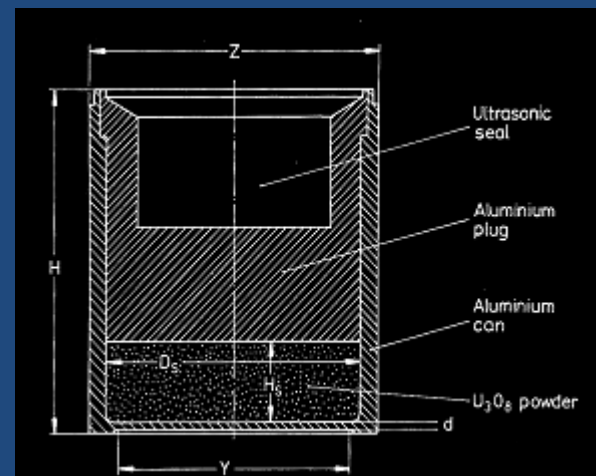
STUDY OF THE MGAU APPLICABILITY TO ACCURATE ISOTOPIC CHARACTERIZATION OF URANIUM SAMPLES

Andrey Berlizov and Volodymyr Tryshyn

Institute for Nuclear Research
National Academy of Sciences of Ukraine

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.



Isotope	Reference sample, mass %				
	031	071	194	295	446
²³⁴ U	0.0020(2)	0.0052(2)	0.0171(2)	0.0279(4)	0.0359(3)
²³⁵ U	0.3166(2)	0.7119(5)	1.9420(14)	2.9492(21)	4.4623(32)
²³⁶ U	0.0146(3)	<0.00002	0.0003(1)	0.0033(2)	0.0068(2)
²³⁸ U	99.6668(4)	99.2828(4)	98.0406(18)	97.0196(29)	95.4950(32)



Certified Reference Material CRM 146

Material: U₃O₈ powder, m = 230 g, ρ = 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.



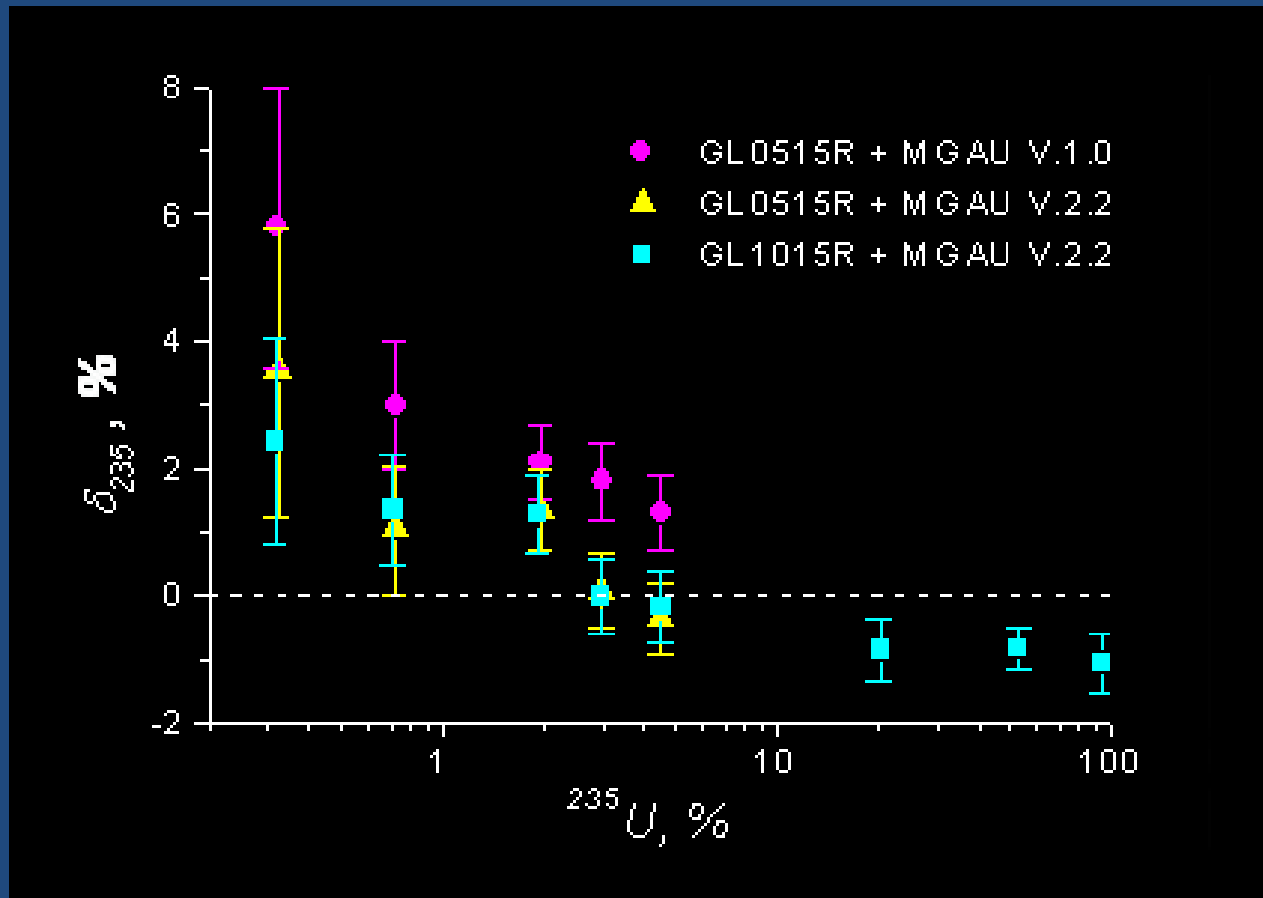
Isotope	Reference sample, mass %		
	20	52	93
²³⁴ U	0.1486 (2)	0.3718(5)	0.9800(15)
²³⁵ U	20.107 (10)	52.488(21)	93.1703(3)
²³⁶ U	0.1973(6)	0.2645(3)	0.2937(12)
²³⁸ U	79.547(10)	46.876(21)	5.5559(26)

Аппаратура

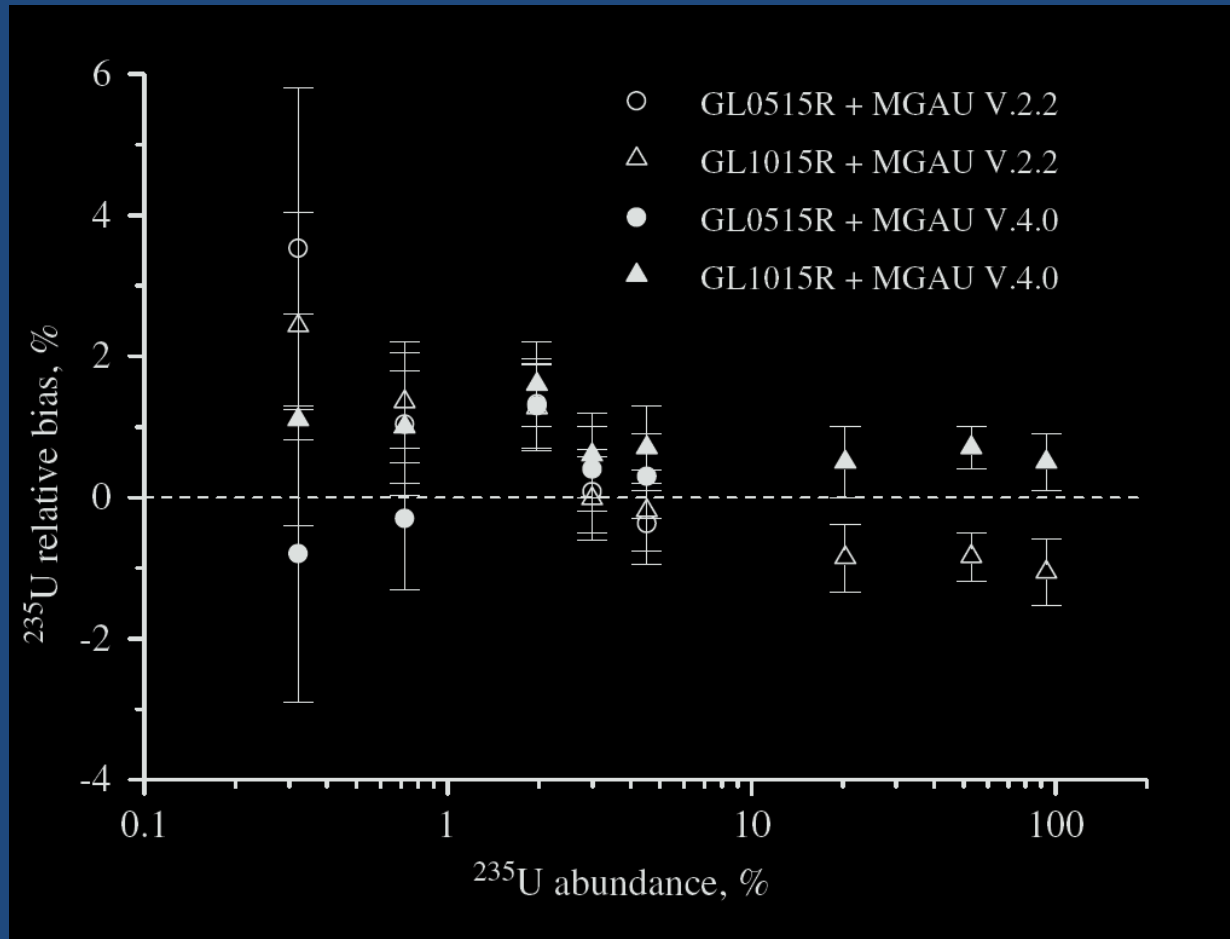
- Detector - LEGe GL0515R, S=500 mm² d=15 mm, input window – 0.5 mm Al.
- InSpector Portable Spectroscopy Workstation, Model 1200UPU.
- MGAU V.1.0 V2.2 uranium isotopic software.



Certified Reference Material CRM 146 & SRM 969

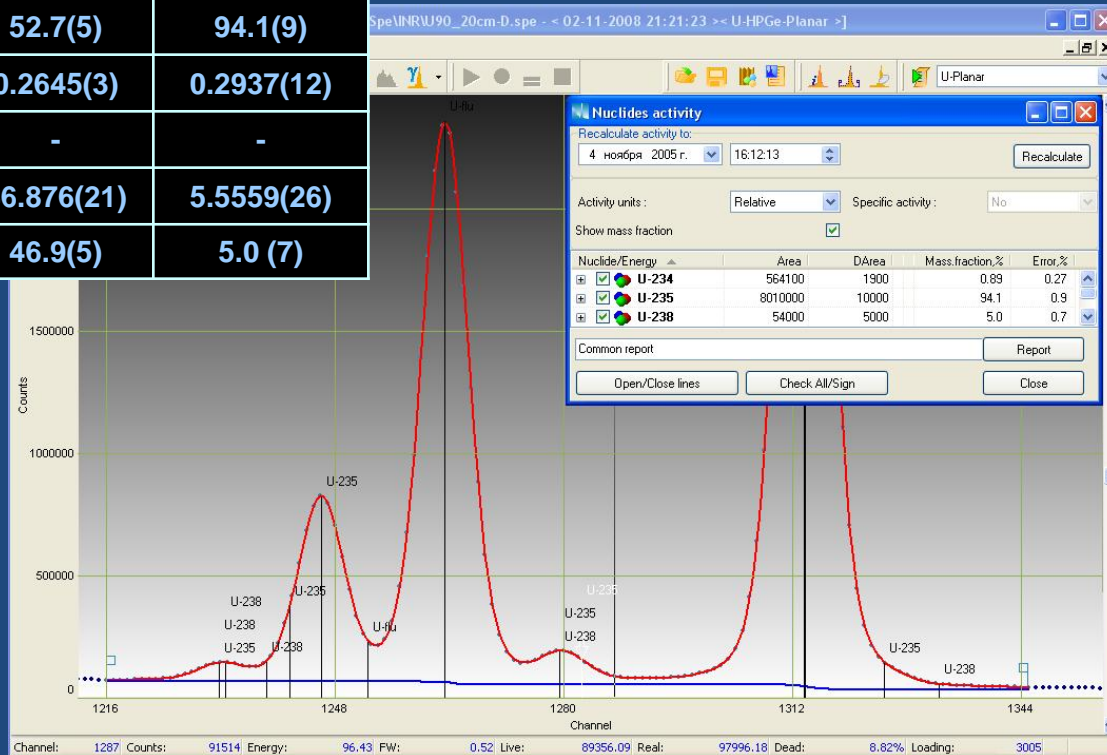


Certified Reference Material CRM 146 & SRM 969



Certified Reference Material CRM 146

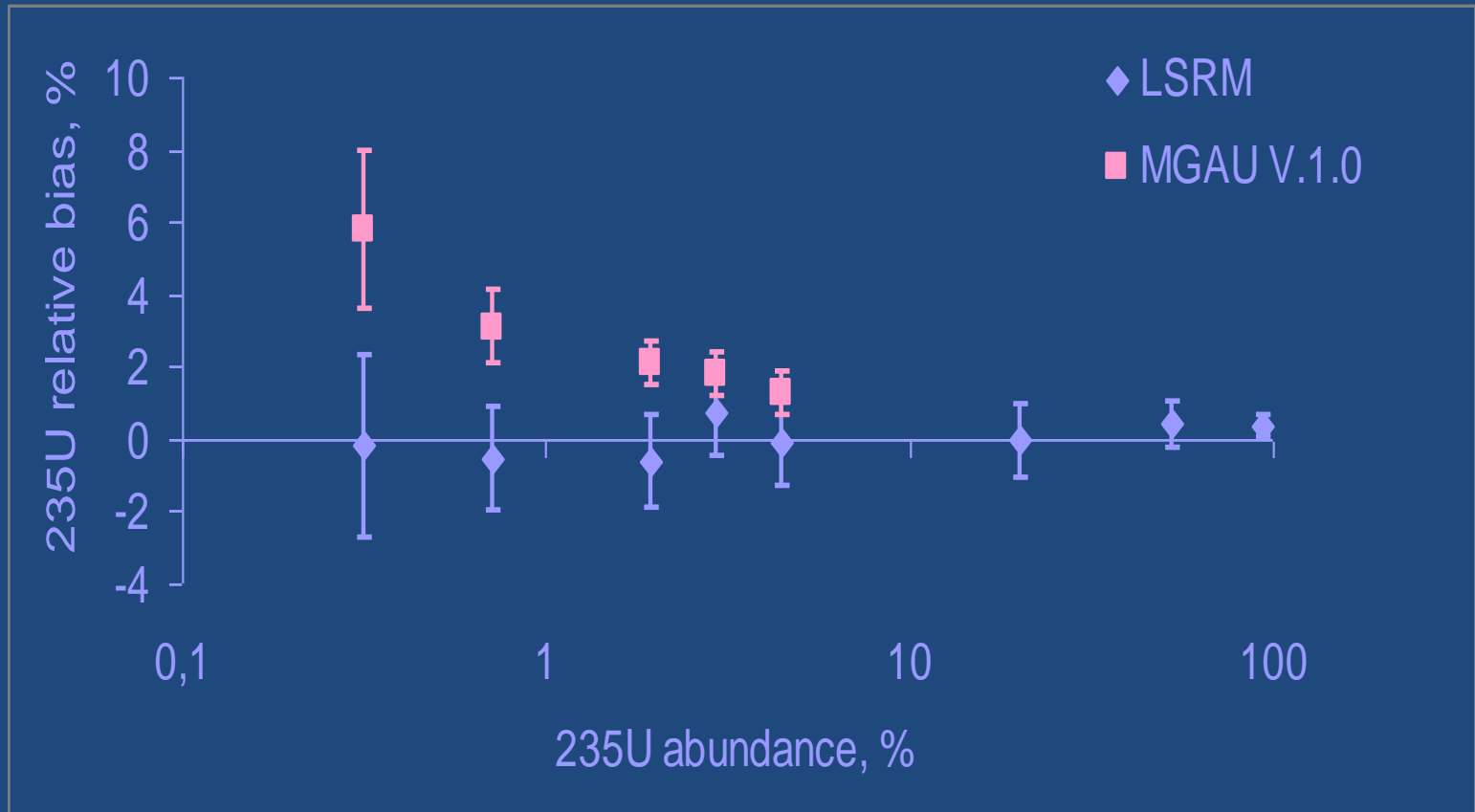
Isotope		Reference sample, mass %		
		20	52	93
²³⁴ U	Reference	0.1486 (2)	0.3718(5)	0.9800(15)
	Lsrm	0.138(21)	0.35(5)	0.89 (27)
²³⁵ U	Reference	20.107 (10)	52.488(21)	93.1703(3)
	Lsrm	20.18 (22)	52.7(5)	94.1(9)
²³⁶ U	Reference	0.1973(6)	0.2645(3)	0.2937(12)
	Lsrm	-	-	-
²³⁸ U	Reference	79.547(10)	46.876(21)	5.5559(26)
	Lsrm	79.68(22)	46.9(5)	5.0 (7)



Standard Reference Material SRM 969

Isotope		Reference sample, mass %				
		031	071	194	295	446
²³⁴ U	Reference	0.0020(2)	0.0052(2)	0.0171(2)	0.0279(4)	0.0359(3)
	Lsrn	0.0016(4)	0.0049(8)	0.0160(24)	0.026(4)	0.033(5)
²³⁵ U	Reference	0.3166(2)	0.7119(5)	1.9420(14)	2.9492(21)	4.4623(32)
	Lsrn	0.308(9)	0.702(14)	1.941(29)	2.95(4)	4.49(6)
²³⁶ U	Reference	0.0146(3)	<0.00002	0.0003(1)	0.0033(2)	0.0068(2)
	Lsrn	-	-	-	-	-
²³⁸ U	Reference	99.6668(4)	99.2828(4)	98.0406(18)	97.0196(29)	95.4950(32)
	Lsrn	99.690(9)	99.293(14)	98.043(29)	97.03(4)	95.48(6)

Certified Reference Material CRM 146 & SRM 969



U reference spectra from LNHB and LLNL

<http://www.nucleide.org/spectres.htm>

Laboratoire National Henri Becquerel Uranium spectra							
LLNL spectra <small>(all files ASCII format)</small>		LNHB spectra					
		Coaxial detector <small>(all files ASCII format) (all files CHN format)</small>		CZT detector <small>(all files ASCII format) (all files CHN format)</small>		Planar detector <small>(all files ASCII format) (all files CHN format)</small>	
125v003.asc	G-125VC ASC	G-125vc.chn	C-125.asc	C-125.chn	X-125VC.ASC	X-125vc.chn	
15411001.asc	G-125VD.ASC	G-125vd.chn	C-1541.ASC	C-1541.chn	X-125VD.ASC	X-125vd.chn	
15411002.asc	G-125VE.ASC	G-125ve.chn	C-1542.ASC	C-1542.chn	X-125VE.ASC	X-125ve.chn	
15411003.asc	G-1541C.ASC	G-1541c.chn	C-1613.ASC	C-1613.chn	X-1541C.ASC	X-1541c.chn	
15411004.asc	G-1541D.ASC	G-1541d.chn	C-1614.ASC	C-1614.chn	X-1541D.ASC	X-1541d.chn	
1542-001.asc	G-1541E.ASC	G-1541e.chn	C-R1.ASC	C-r1.chn	X-1541E.ASC	X-1541e.chn	
1542-002.asc	G-1542C.ASC	G-1542c.chn	C-R2.ASC	C-r2.chn	X-1542C.ASC	X-1542c.chn	
1542-003.asc	G-1542D.ASC	G-1542d.chn	C-R3.ASC	C-r3.chn	X-1542D.ASC	X-1542d.chn	
1542-004.asc	G-1542E.ASC	G-1542e.chn	C-R4.ASC	C-r4.chn	X-1542E.ASC	X-1542e.chn	
1542-005.asc	G-1613C.ASC	G-1613c.chn	C-R5.ASC	C-r5.chn	X-1613C.ASC	X-1613c.chn	
1542-006.asc	G-1613D.ASC	G-1613d.chn	C-X2.ASC	C-x2.chn	X-1613D.ASC	X-1613d.chn	
1542-007.asc	G-1613E.ASC	G-1613e.chn	C-Y2.ASC	C-y2.chn	X-1613E.ASC	X-1613e.chn	
1542-008.asc	G-1614C.ASC	G-1614c.chn			X-1614C.ASC	X-1614c.chn	
1542-009.asc	G-1614D.ASC	G-1614d.chn			X-1614D.ASC	X-1614d.chn	
1542-010.asc	G-1614E.ASC	G-1614e.chn			X-1614E.ASC	X-1614e.chn	
16131001.asc	G-R1C.ASC	G-r1c.chn			X-R1C.ASC	X-r1c.chn	
16131002.asc	G-R2C.ASC	G-r2c.chn			X-R2C.ASC	X-r2c.chn	
16131003.asc	G-R3C.ASC	G-r3c.chn			X-R3C.ASC	X-r3c.chn	
16141001.asc	G-R4C.ASC	G-r4c.chn			X-R4C.ASC	X-r4c.chn	
16141002.asc	G-R5C.ASC	G-r5c.chn			X-R5C.ASC	X-r5c.chn	
16141003.asc	G-X2C.ASC	G-x2c.chn			X-X3C.ASC	X-x3c.chn	
U0_017.ASC	G-X2CC.ASC	G-x2cc.chn			X-X3CC.ASC	X-x3cc.chn	
U0_483.ASC	G-X2D.ASC	G-x2d.chn			X-X3D.ASC	X-x3d.chn	
U0_991.ASC	G-X2DD.ASC	G-x2dd.chn			X-X3DD.ASC	X-x3dd.chn	
U10_075.ASC	G-X2E.ASC	G-x2e.chn			X-X3E.ASC	X-x3e.chn	
U2_013.asc	G-X2EE.ASC	G-x2ee.chn			X-X3EE.ASC	X-x3ee.chn	
U3_009.ASC	G-Y2C.ASC	G-y2c.chn			X-Y2C.ASC	X-y2c.chn	
U49_38.ASC	G-Y2CC.ASC	G-y2cc.chn			X-Y2CC.ASC	X-y2cc.chn	
U4_949.ASC	G-Y2D.ASC	G-y2d.chn			X-Y2D.ASC	X-y2d.chn	
U75_13.ASC	G-Y2DD.ASC	G-y2dd.chn			X-Y2DD.ASC	X-y2dd.chn	
U93_076.ASC	G-Y2E.ASC	G-y2e.chn			X-Y2E.ASC	X-y2e.chn	
g295001.asc	G-Y2EE.ASC	G-y2ee.chn			X-Y2EE.ASC	X-y2ee.chn	
g295002.asc							
g295003.asc							

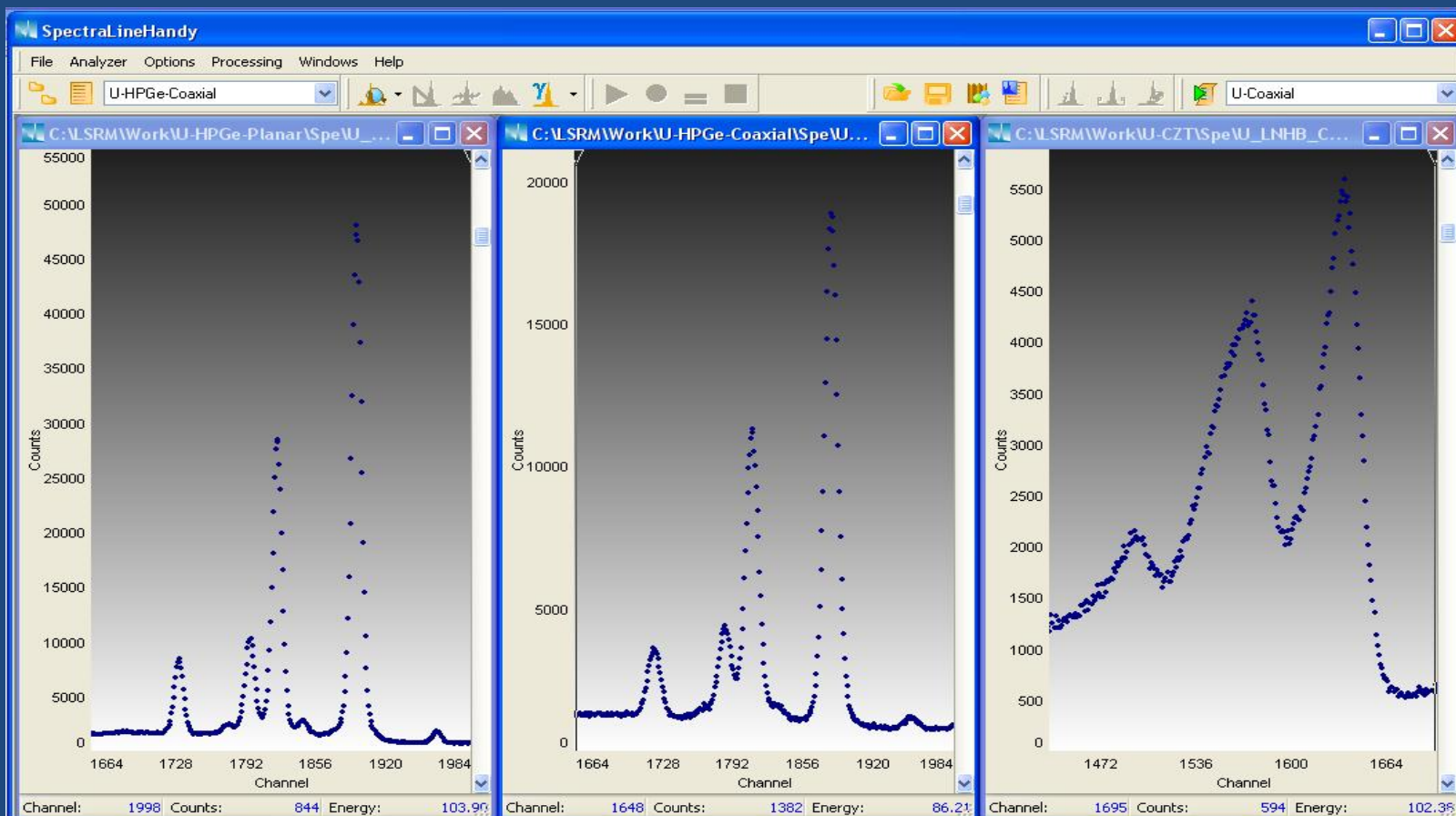
U reference spectra from LNHB and LLNL

<http://www.nucleide.org/spectres.htm>

HPGe-Planar
FWHM at 122 keV: 0.52 keV

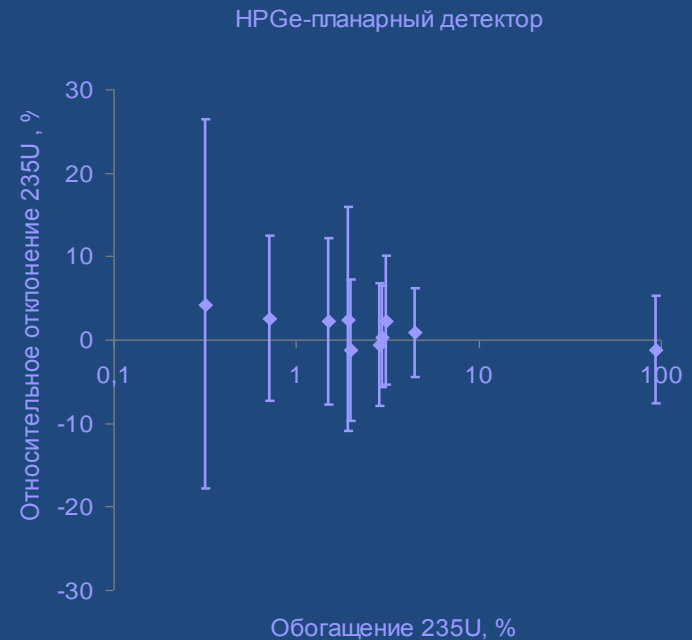
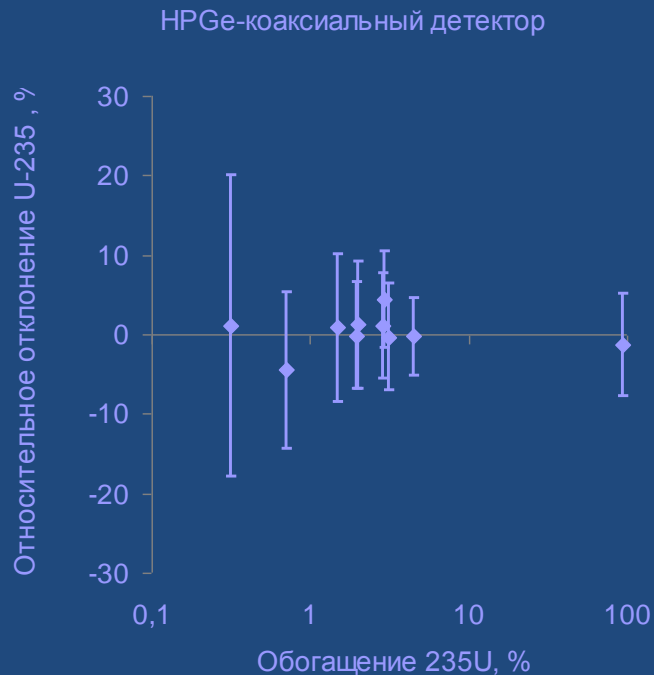
HPGe-Coaxial
0.71 keV

CZT
1.95 keV

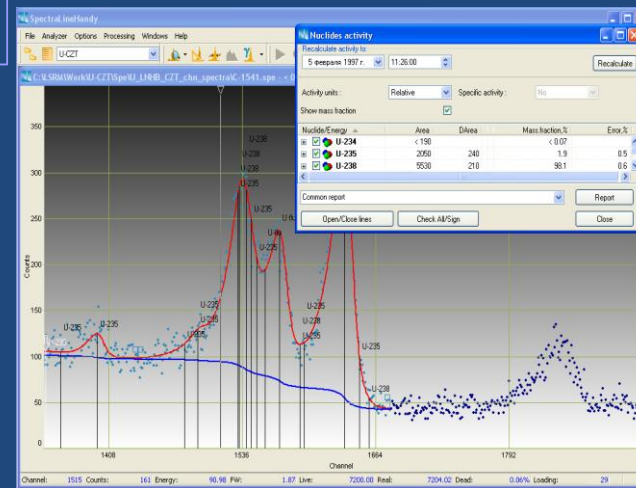
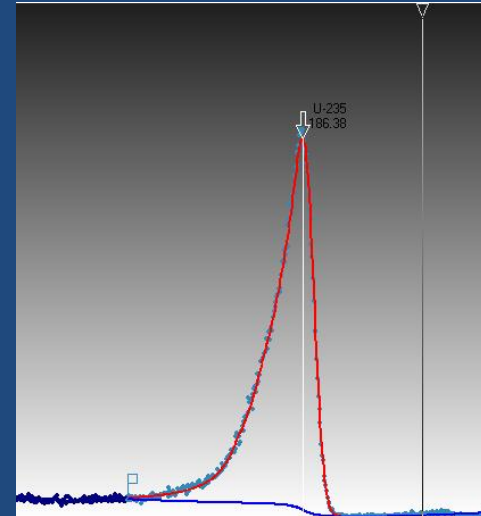
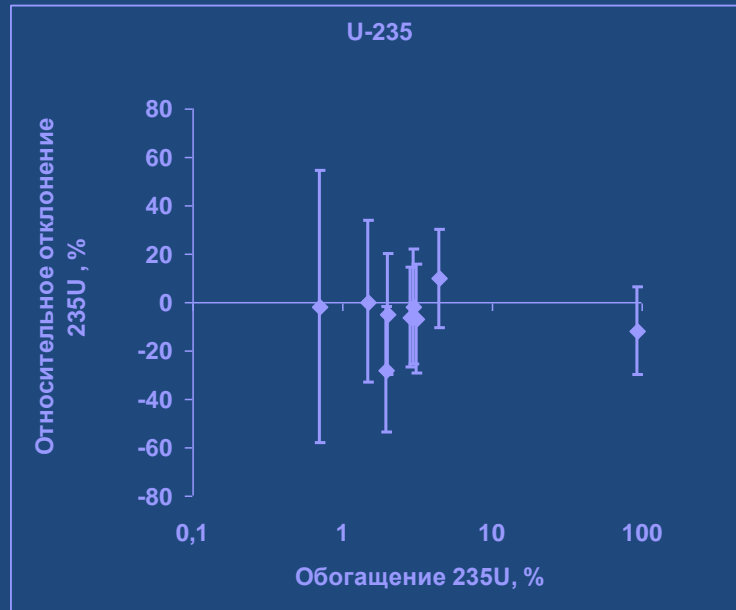


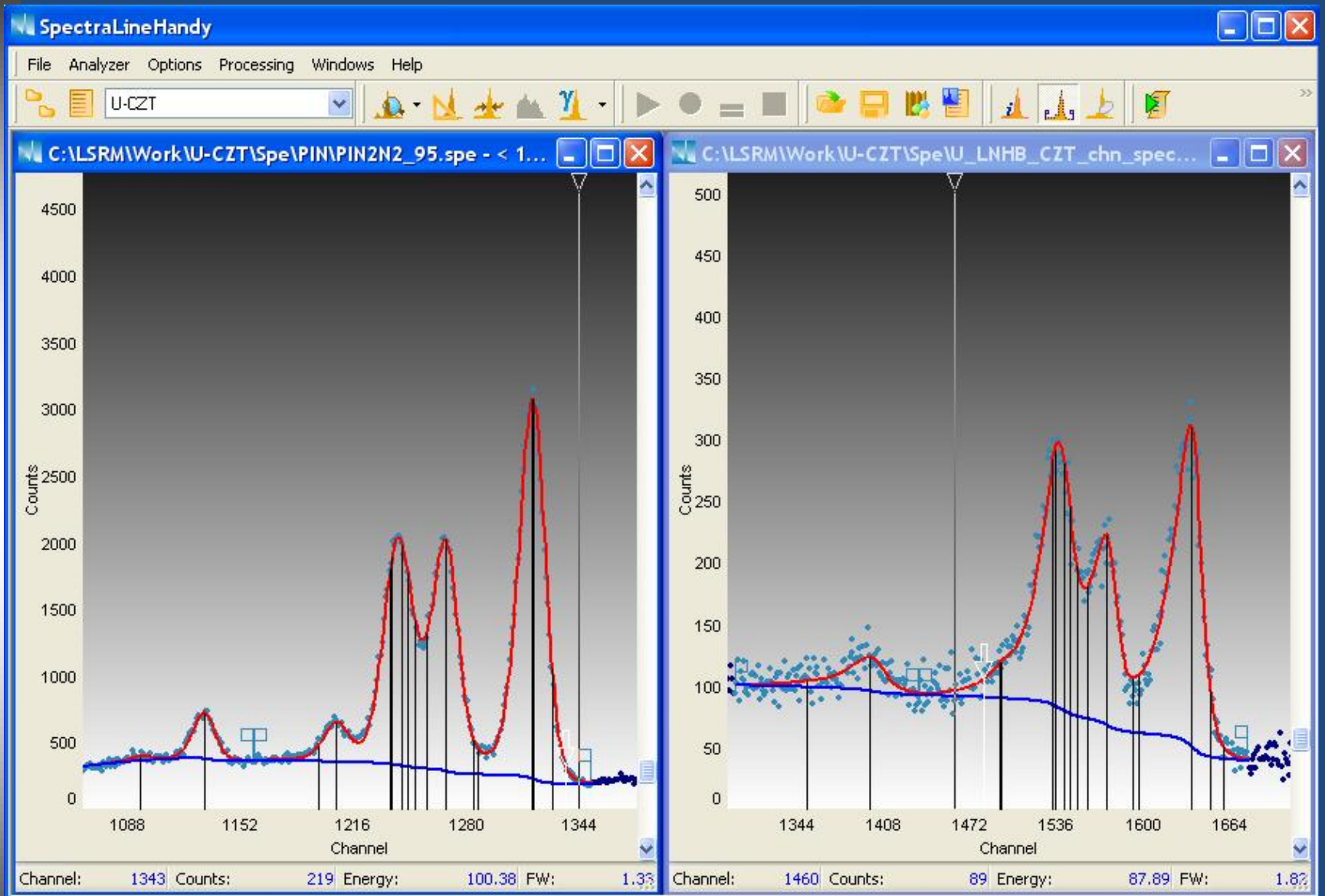
U reference spectra from LNHB and LLNL

<http://www.nucleide.org/spectres.htm>



U reference spectra from LNHB CZT-detector



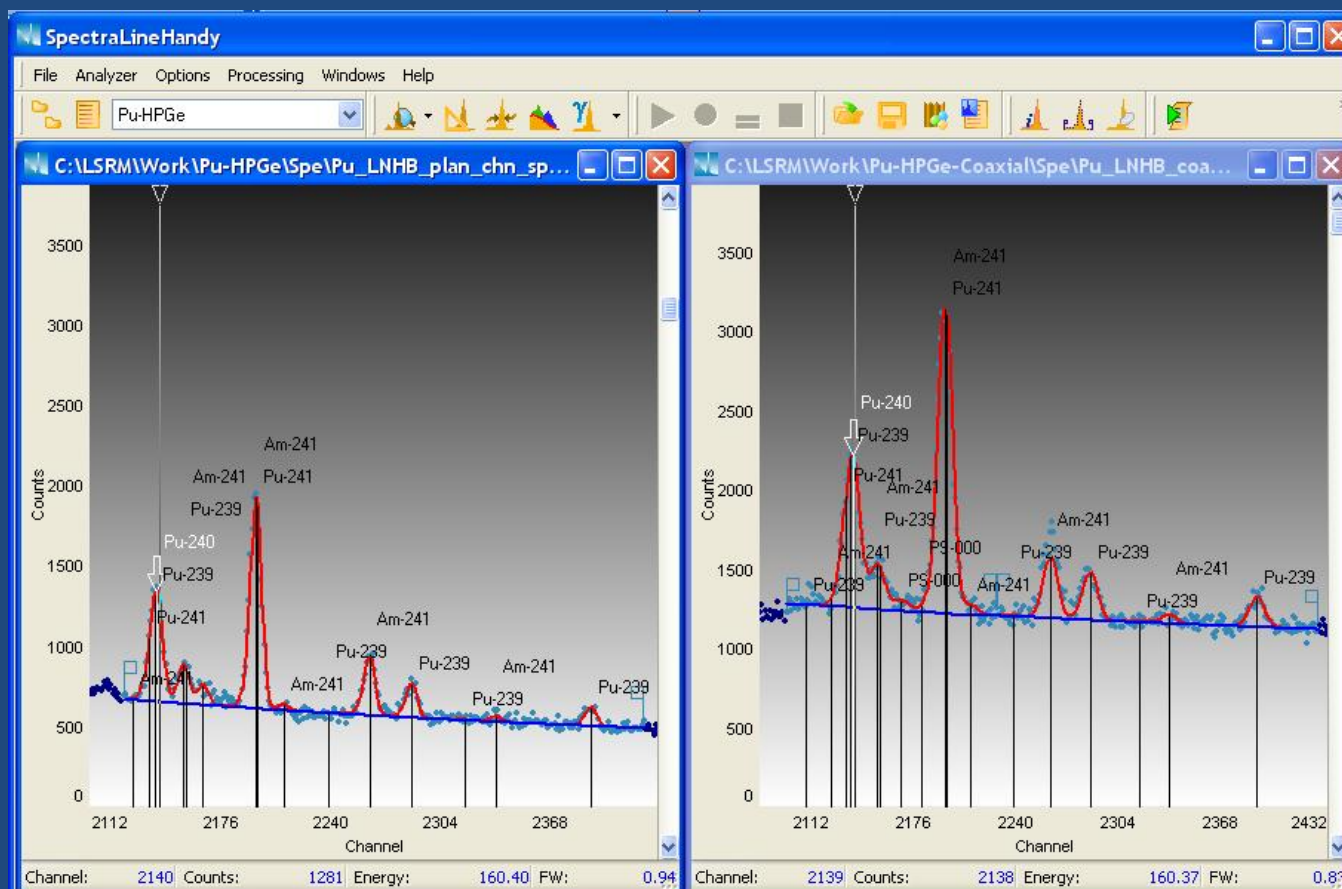


Pu reference spectra from LNHB

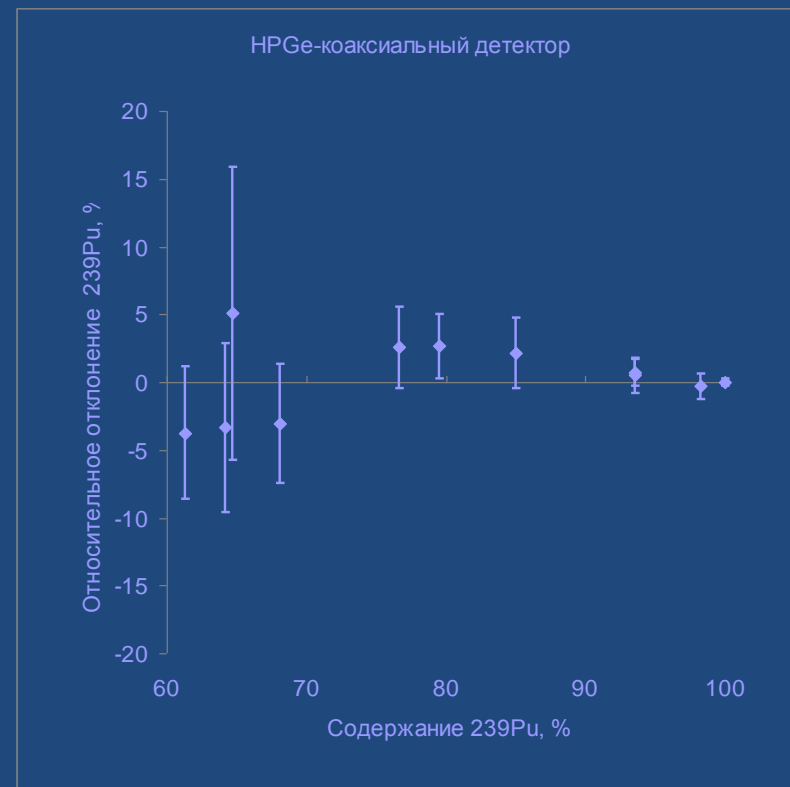
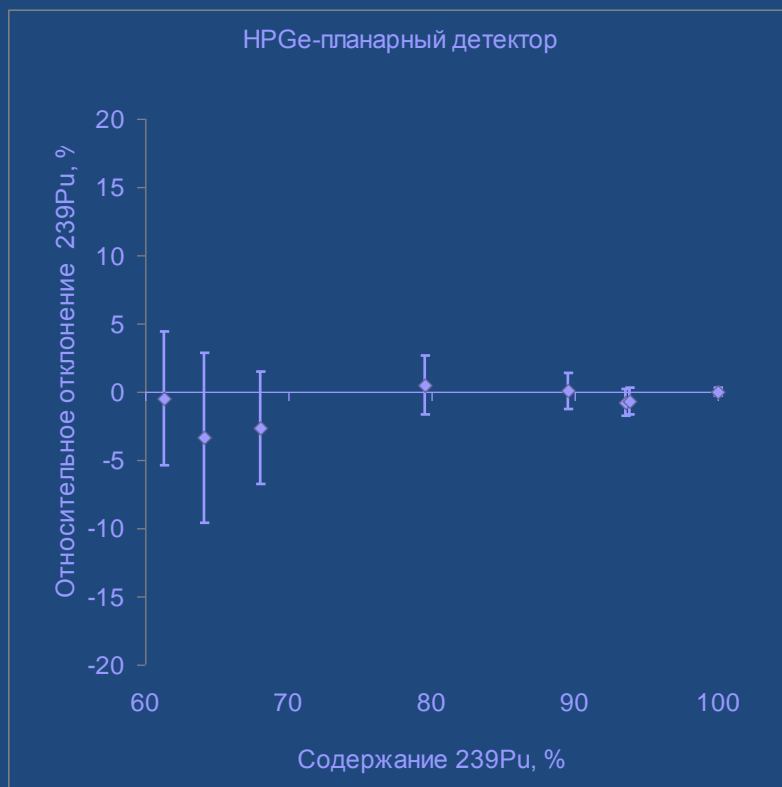
<http://www.nucleide.org/spectres.htm>

HPGe-Planar
FWHM at 122 keV: 0.52 keV

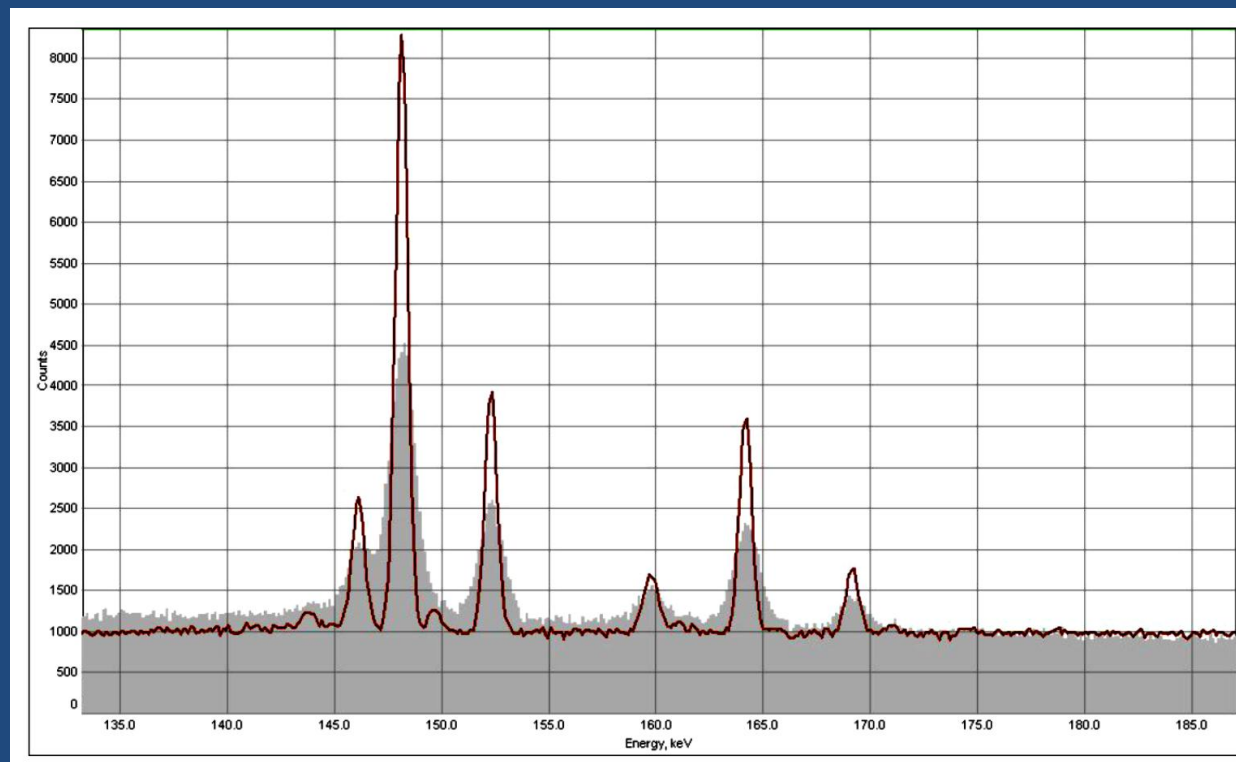
HPGe-Coaxial
0.71 keV



Pu reference spectra from LNHB

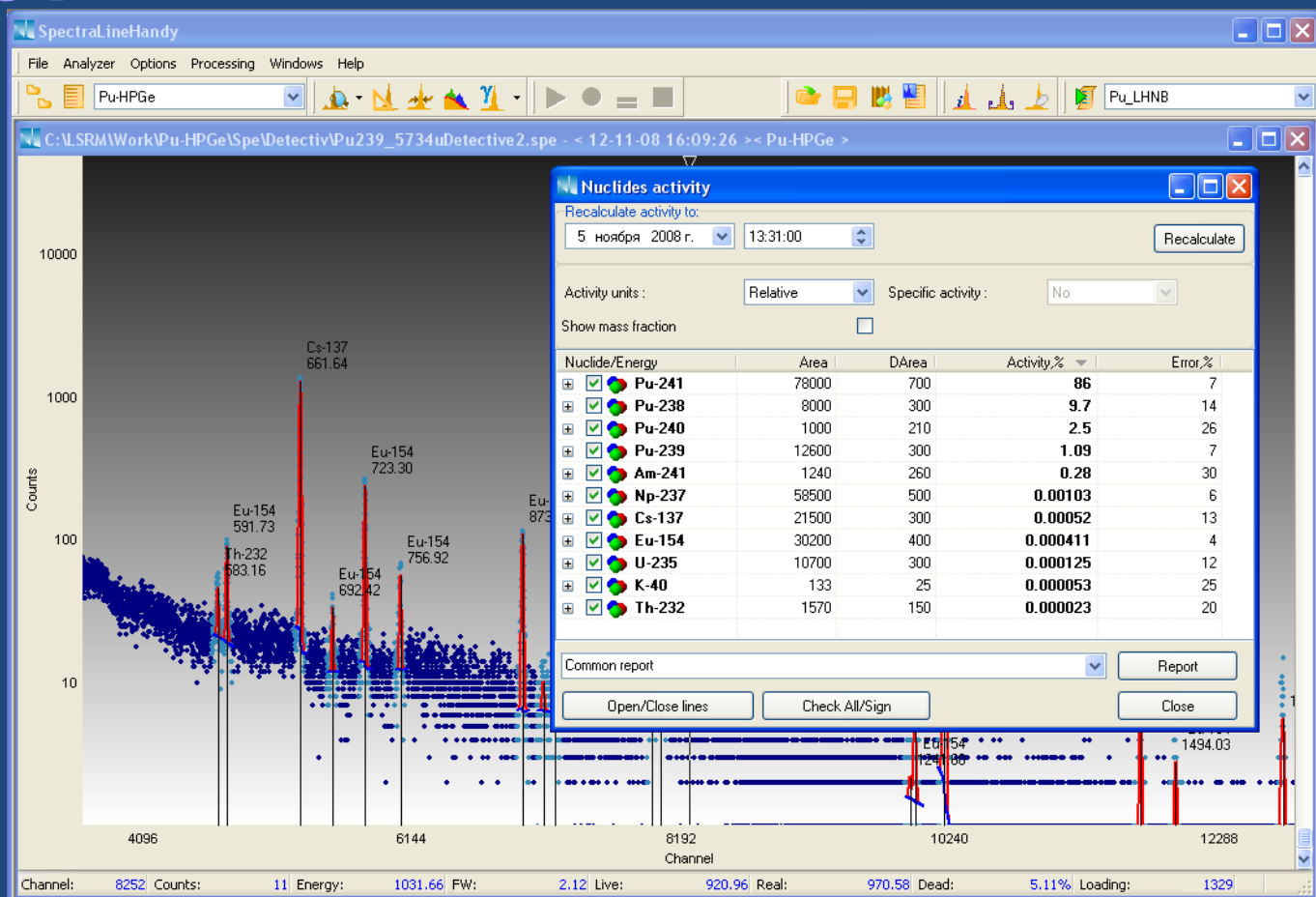
<http://www.nucleide.org/spectres.htm>

Тестирование Micro-trans-SPEC

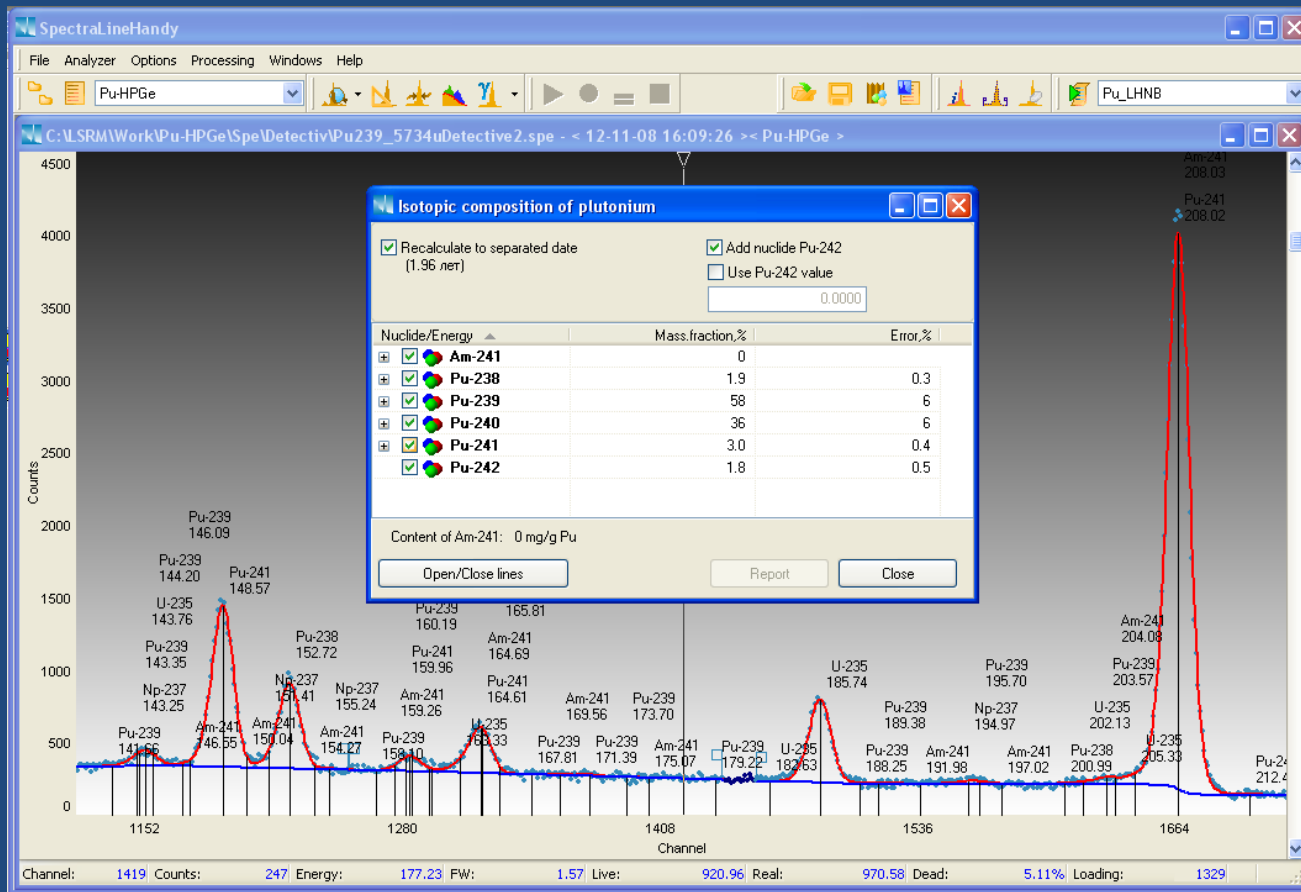


Сравнение спектров плутониевого образца измеренных на планарном HPGe-детекторе и Micro-trans-SPEC

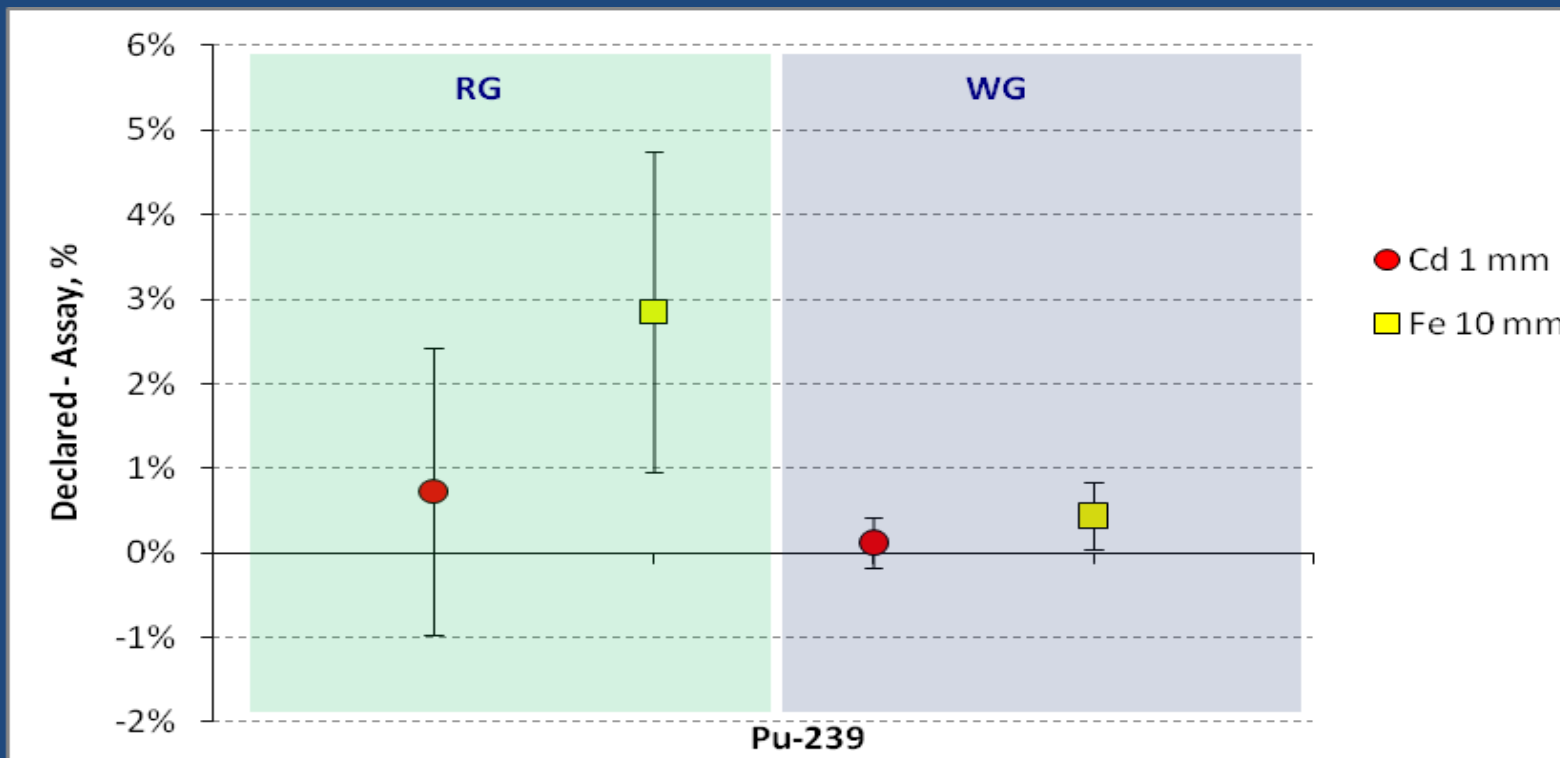
MicroDetective: FWHM at 122keV = 1.5 keV



MicroDetective : Низкоэнергетический участок спектра



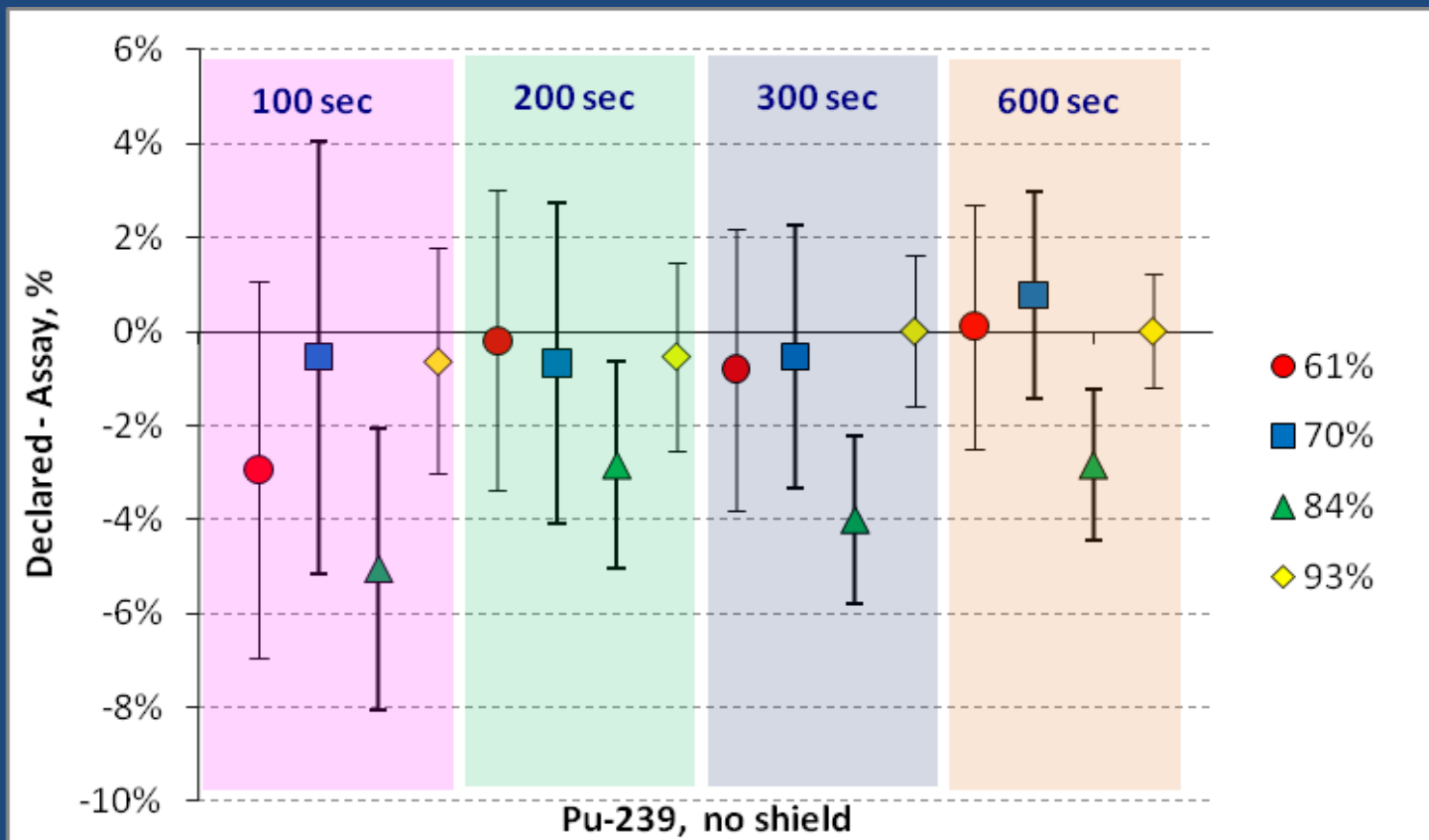
Тестирование Micro-trans-SPEC



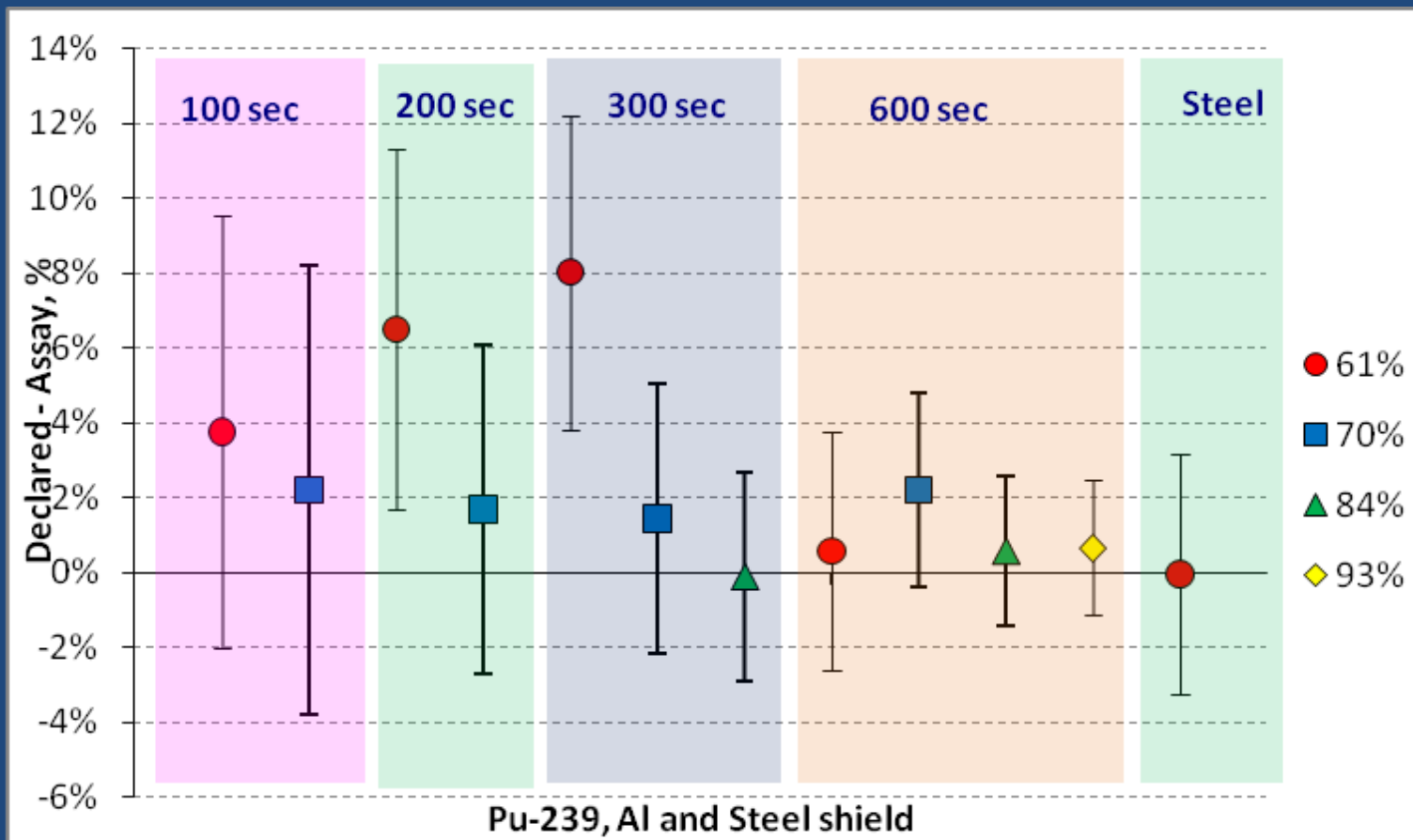
	Tlive	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Am-241	Np-237	U-232*10 ⁻⁶
RG Cd 1mm	909	1.15(5)	66.2(17)	25.7(17)	2.56(10)	6.09 (21)	0.171(4)	0.99(4)
RG Fe10mm	646	1.00(7)	67.6(19)	24.7(20)	2.35(12)	5.96 (26)	0.163(5)	0.86(5)
RG Declared?		1.058	65.723	26.545	2.322	6.001		
WG Cd 1mm	747	0.0160(22)	93.7(3)	6.2(3)	0.0741(27)	0.220(8)	0.0084(4)	0.0068(19)
WG Fe10mm	737	0.0124(18)	94.0(4)	5.9(4)	0.0802(30)	0.256(9)	0.0088(4)	0.0091(15)
WG Declared?		0.010	93.585	6.292	0.074	0.245		

Тестирование Falcon 5000

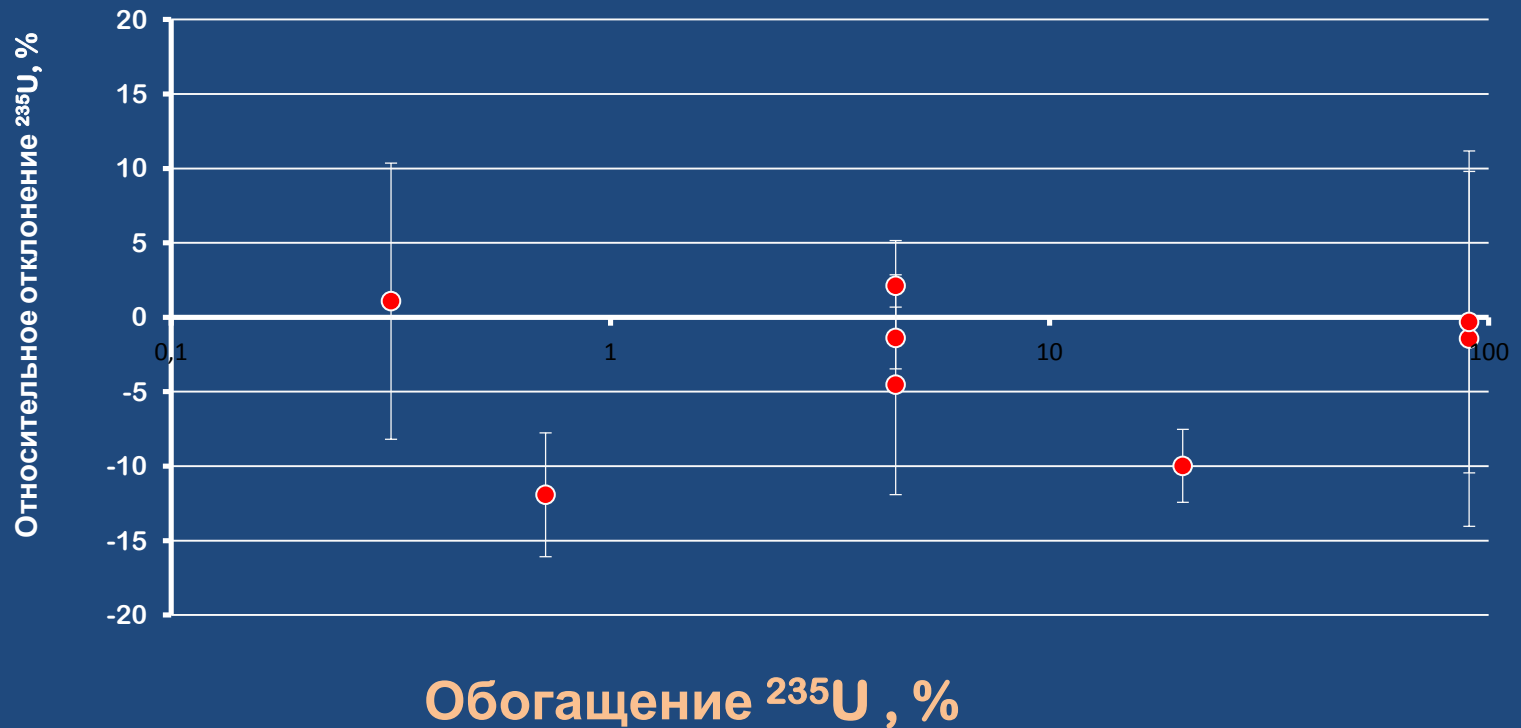
- Были использованы **CBNM** плутониевые стандарты массой около 6.5 г с содержанием **Pu-239** - 93%, 84%, 70% and 61%. Спектры этих образцов измерялись в МАГАТЭ в рамках возможности использования кода **MGA** для определения изотопного состава плутония с помощью **Falcon 5000**.



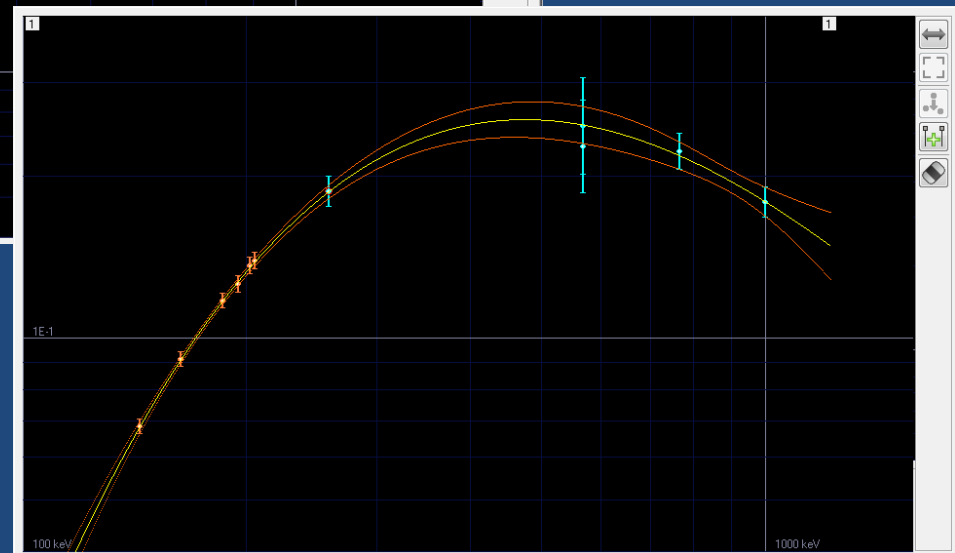
Тестирование Falcon 5000



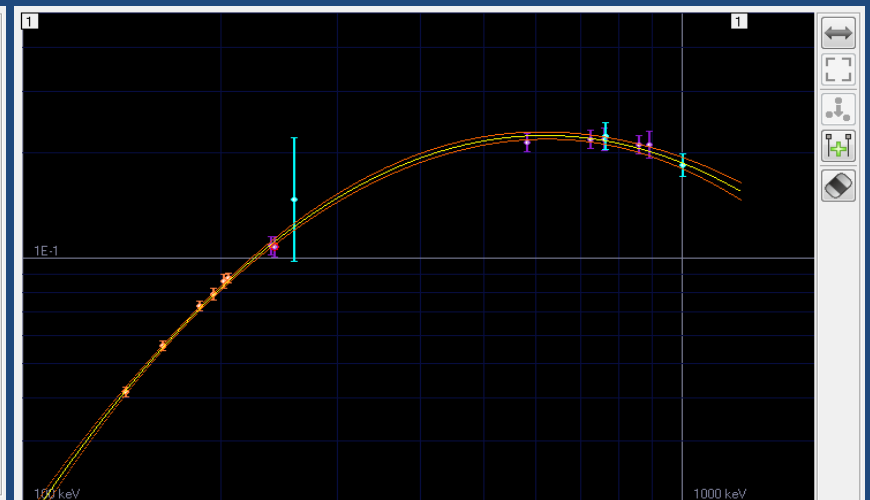
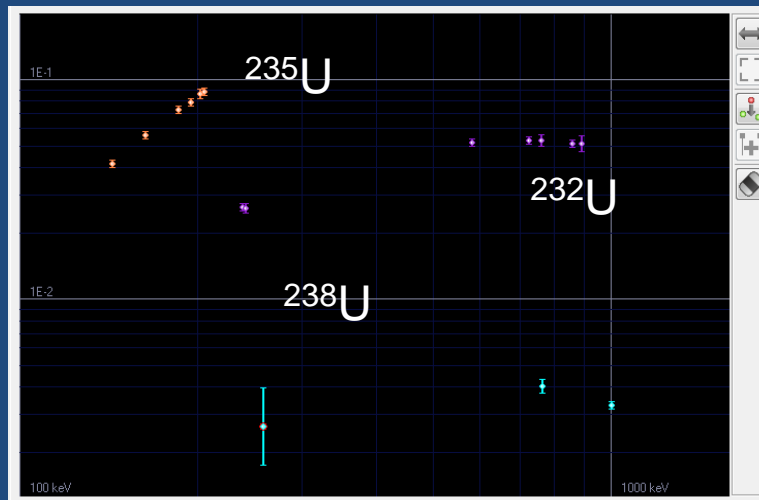
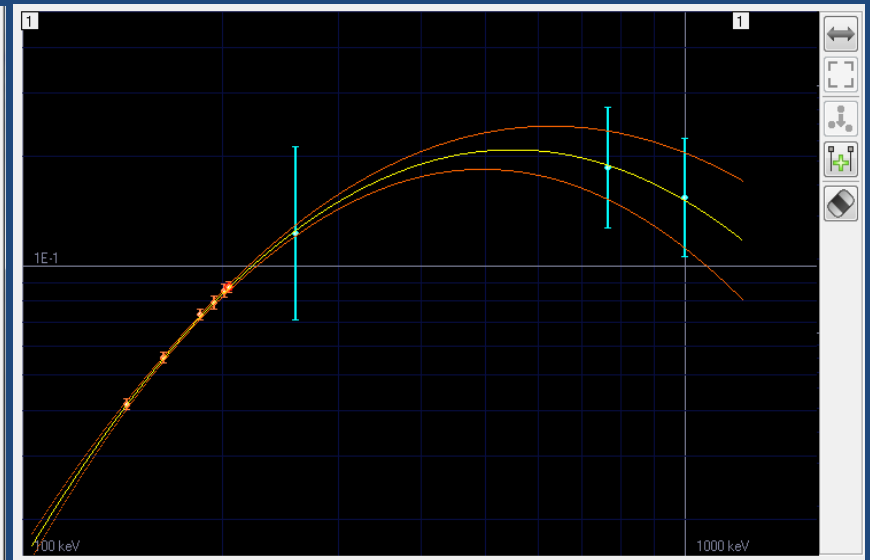
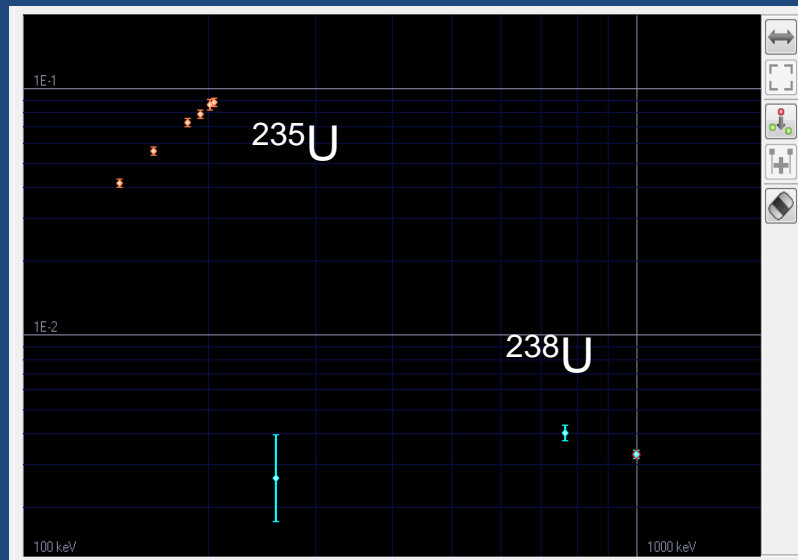
90-100кэВ

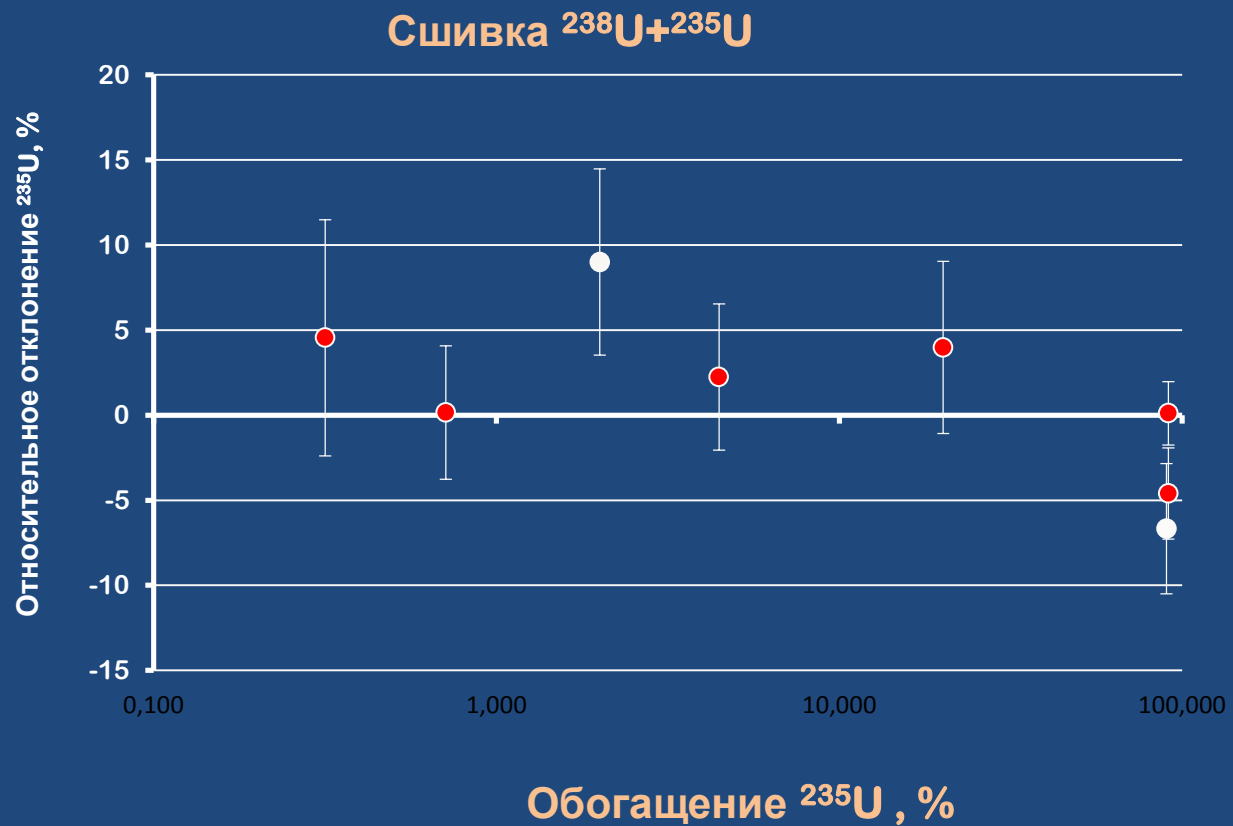


Сшивка эффективностей регистрации

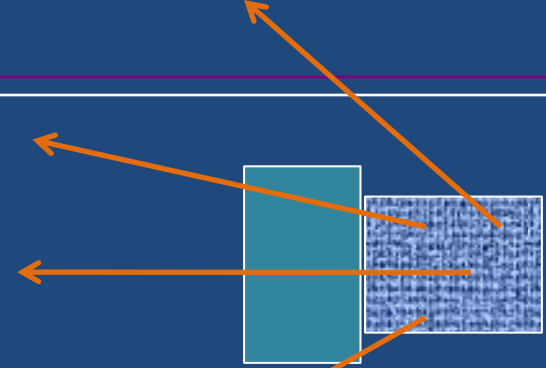


Сшивка эффективностей регистрации





детектор

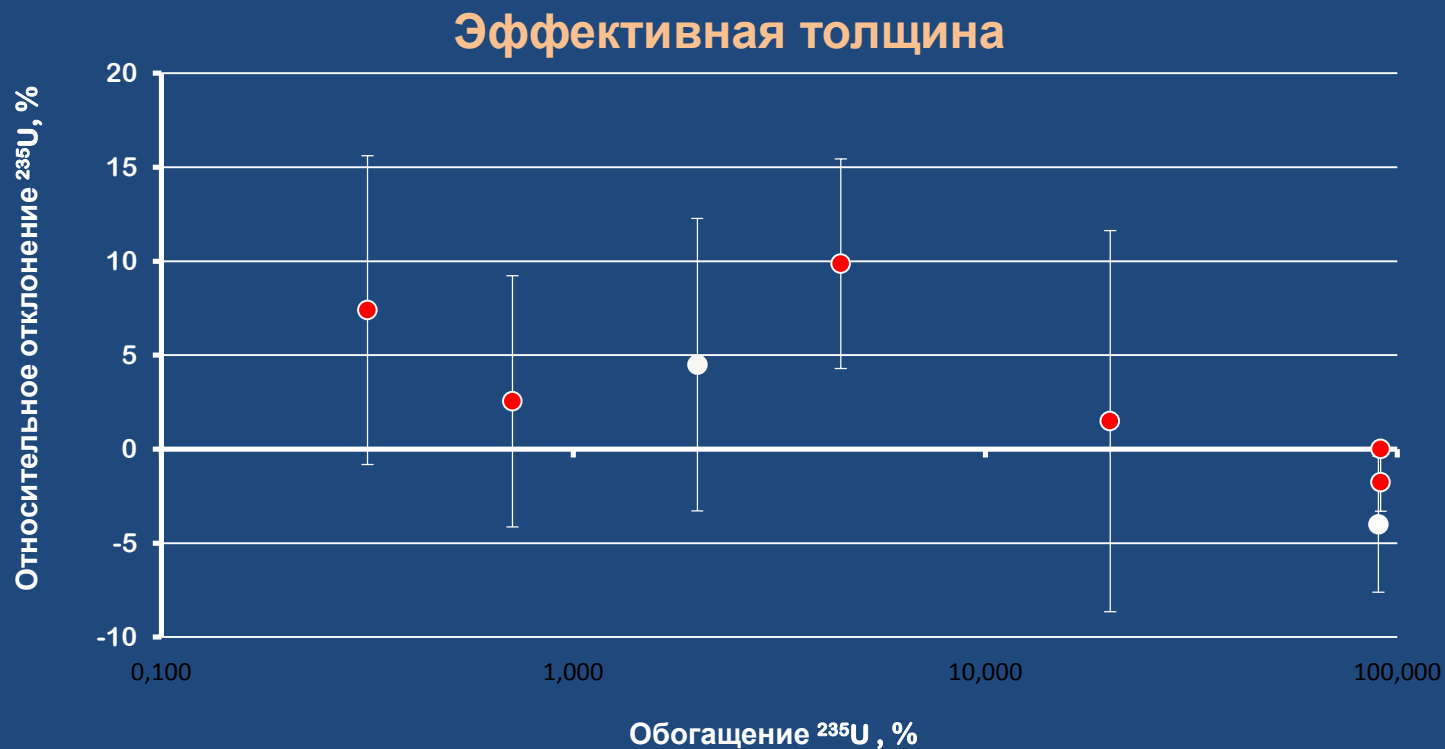


$$\varepsilon = \varepsilon_D \cdot K_{\text{Э}}(\mu_{\text{Э}}) \cdot K_0(\mu_0)$$

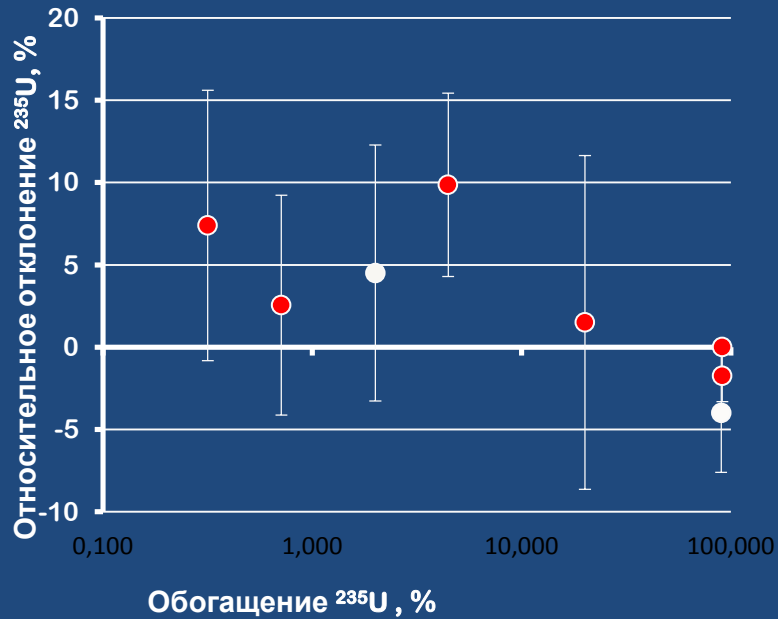
$$K_0(\mu_0) = \frac{1 - e^{-\mu_0 \cdot \rho_0 \cdot t_0}}{\mu_0 \cdot \rho_0 \cdot t_0}$$

$$K_{\text{Э}}(\mu_{\text{Э}}) = e^{-\mu_{\text{Э}} \cdot \rho_{\text{Э}} \cdot t_{\text{Э}}}$$

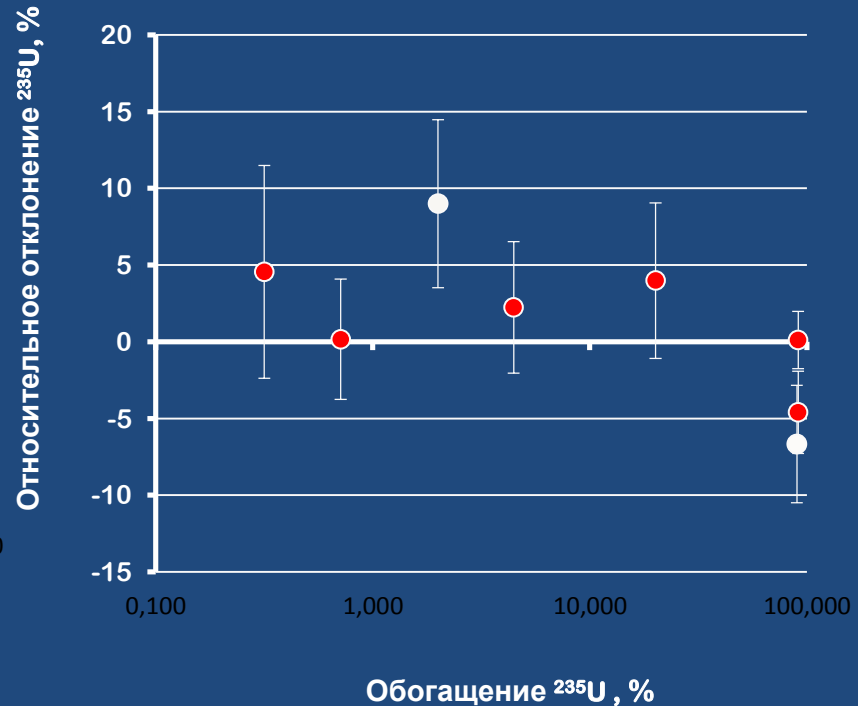
$$G = G_0 \exp(-\mu_s \cdot \rho_s \cdot d_s) \cdot \frac{1 - \exp(-\mu_u \cdot \rho_u \cdot d_u)}{\mu_u \cdot \rho_u \cdot d_u}$$

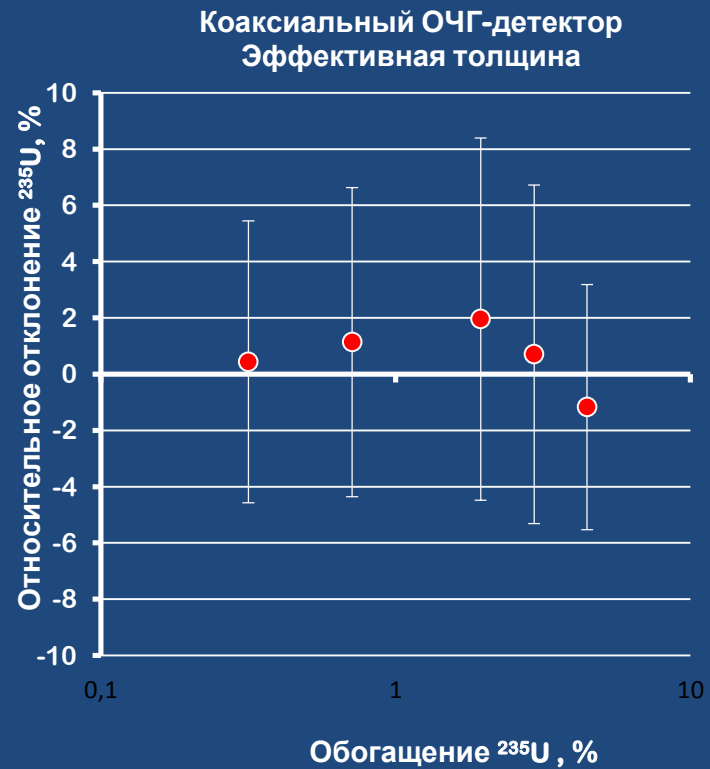
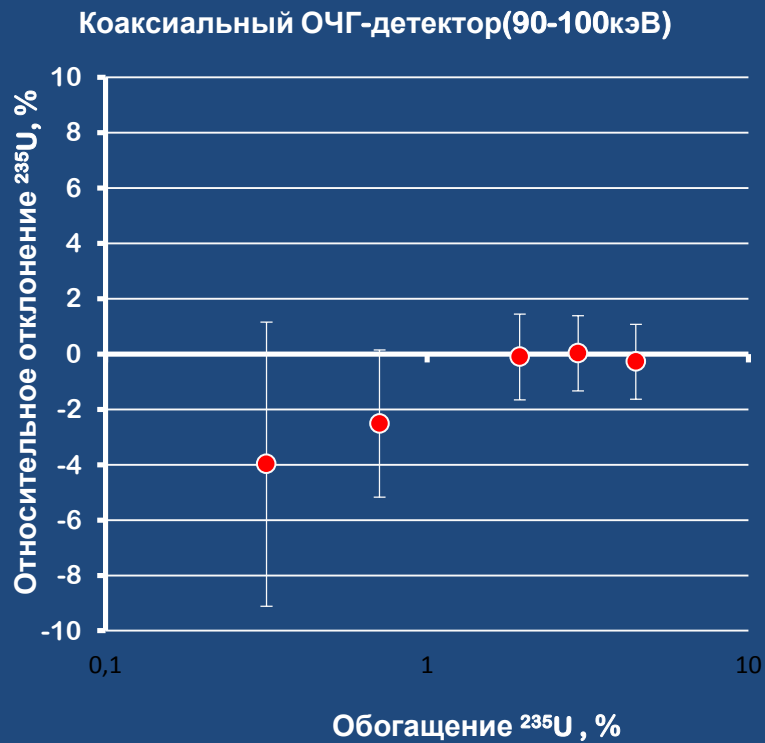


Эффективная толщина

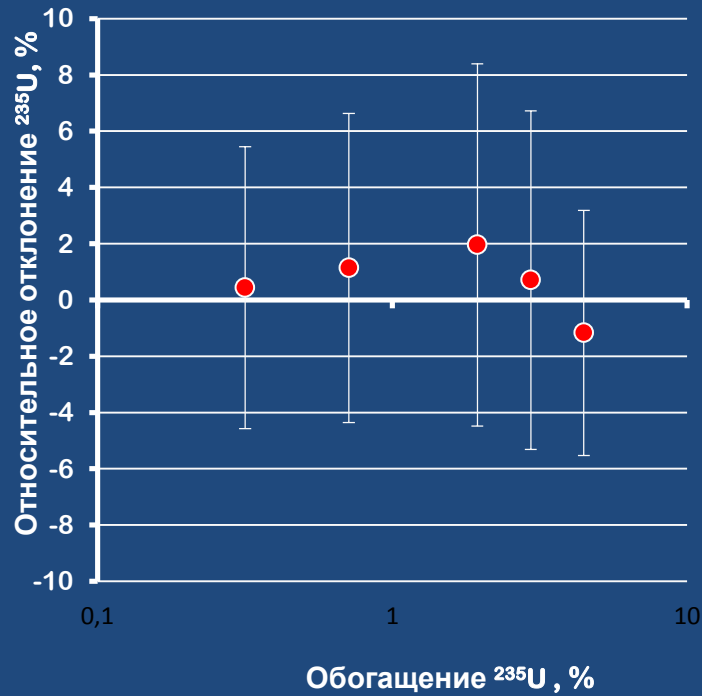


Сшивка $^{238}\text{U}+^{235}\text{U}$

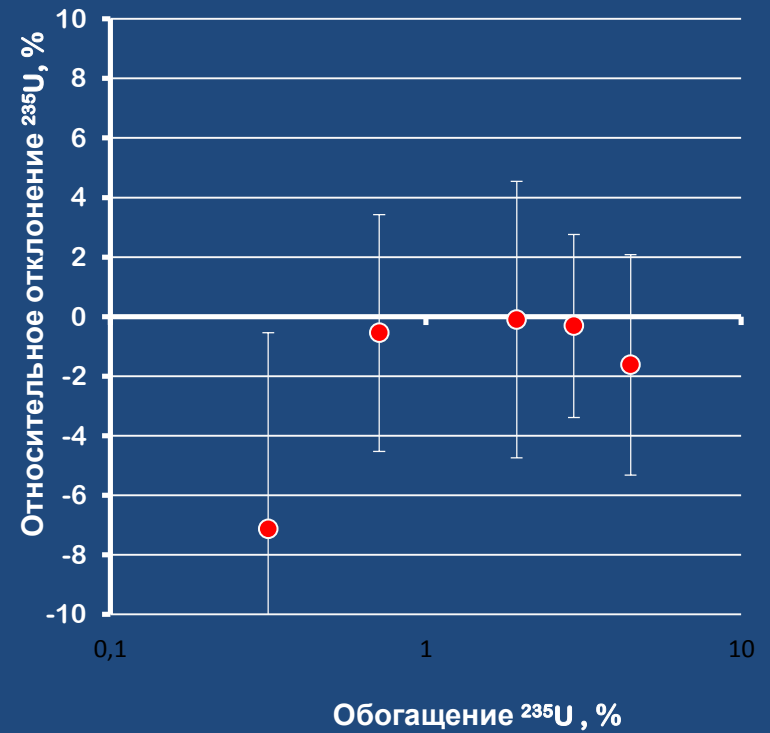


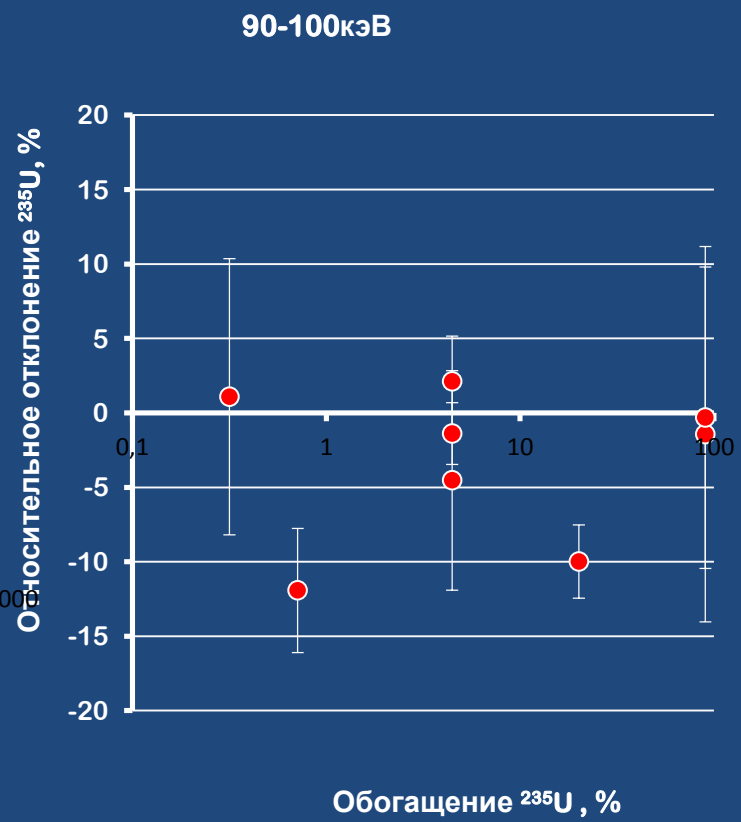
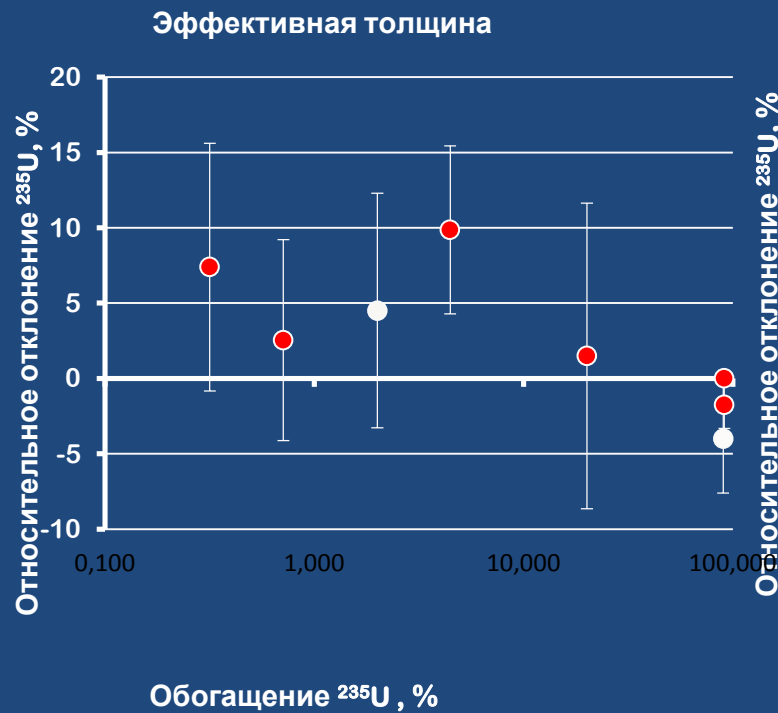


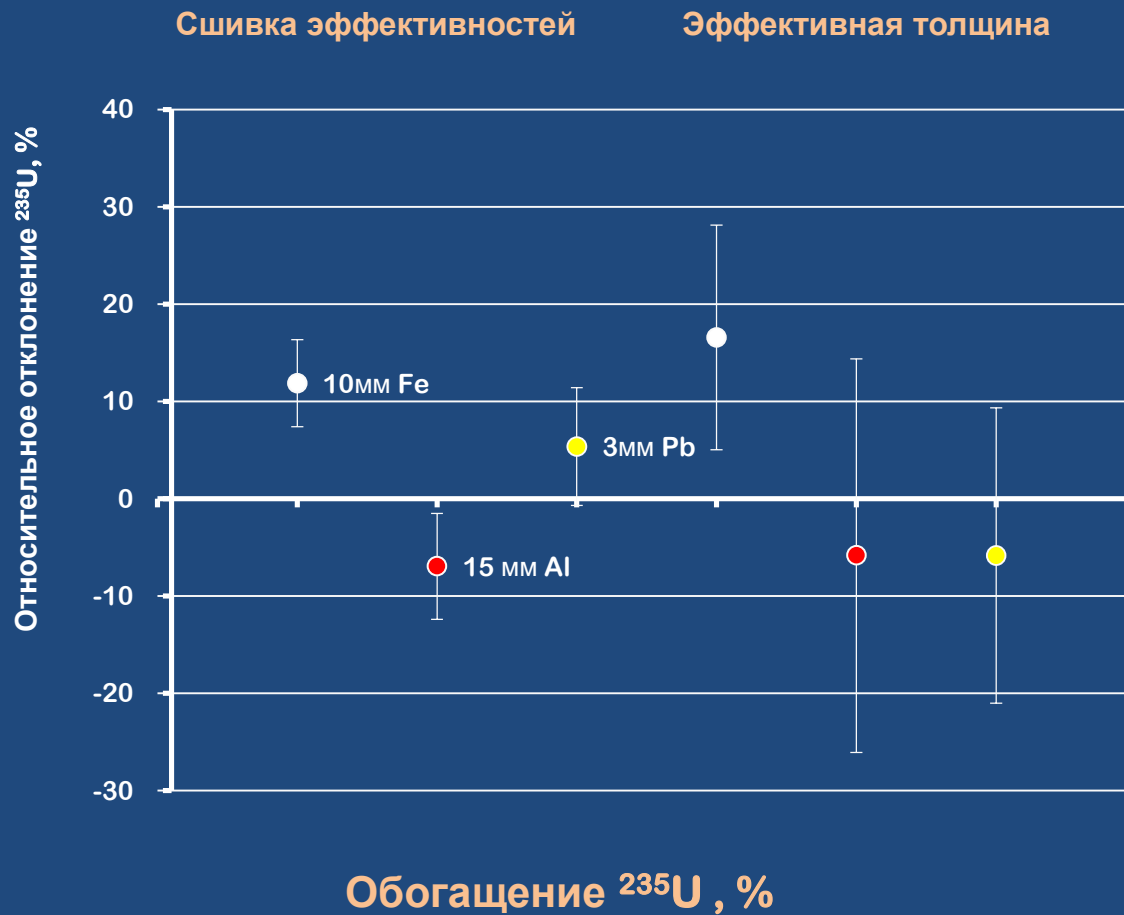
Коаксиальный ОЧГ-детектор
Эффективная толщина



Коаксиальный ОЧГ-детектор
Сшивка ^{235}U - ^{238}U

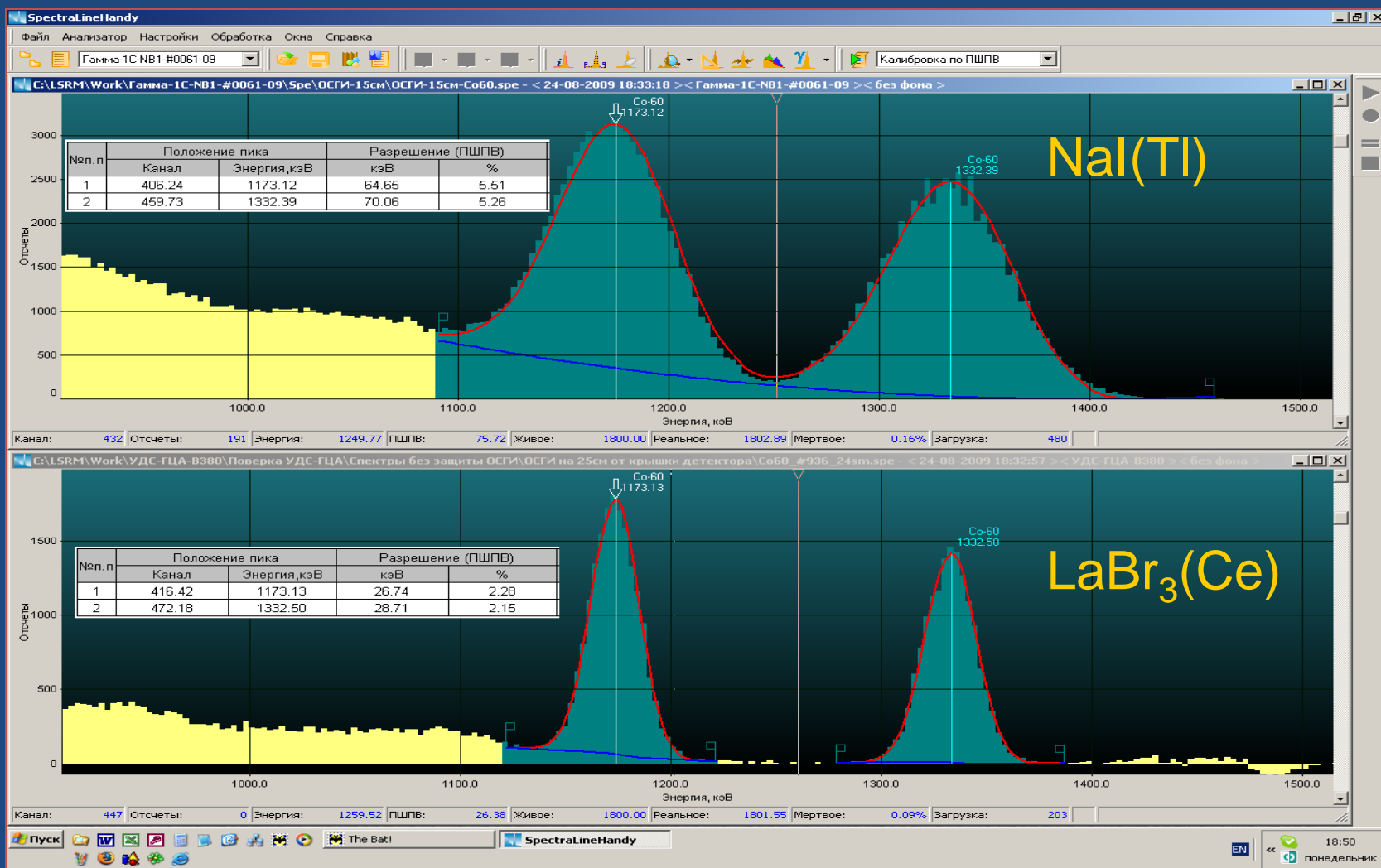






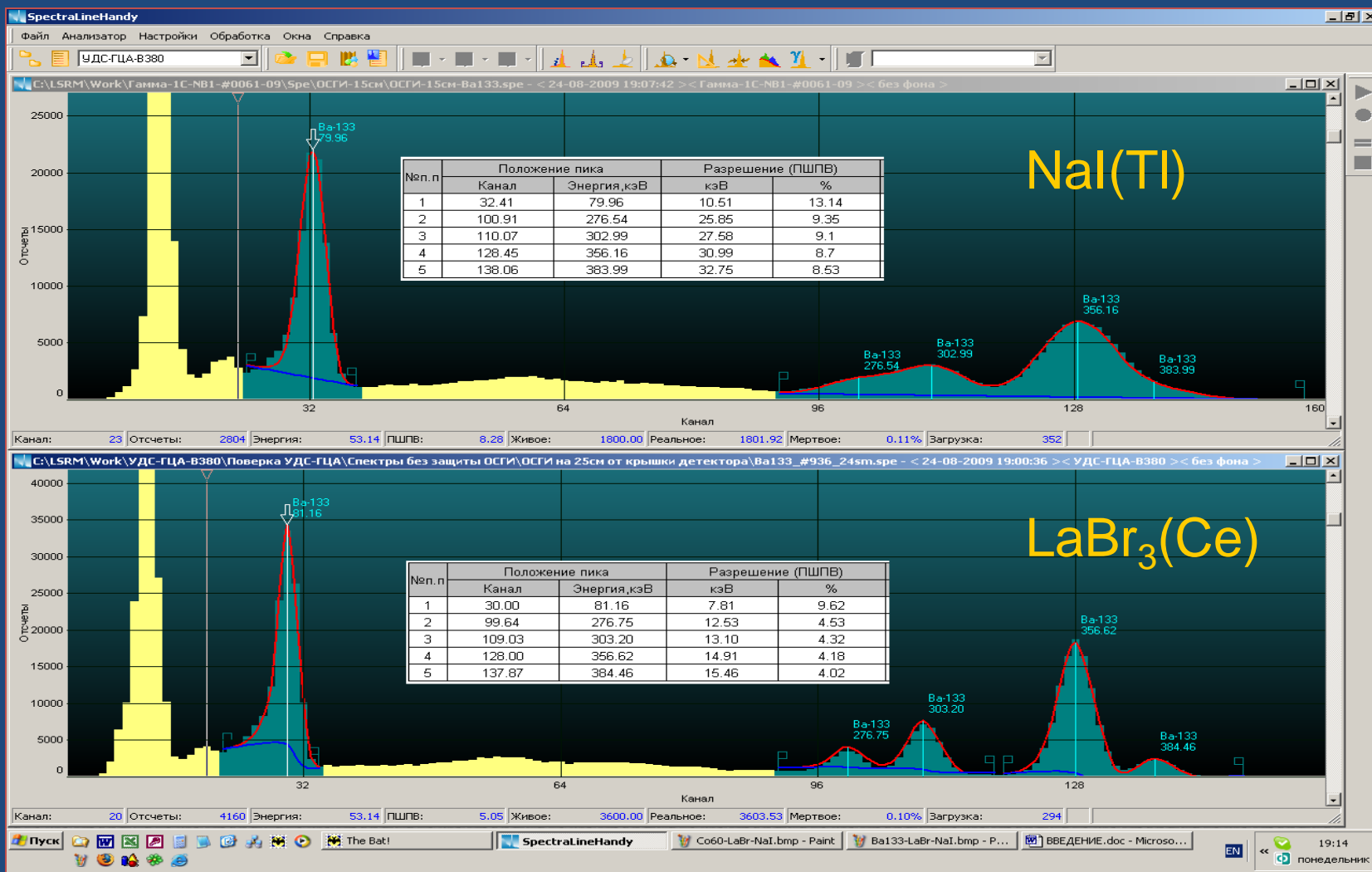
LaBr₃(Cl₃) детекторы

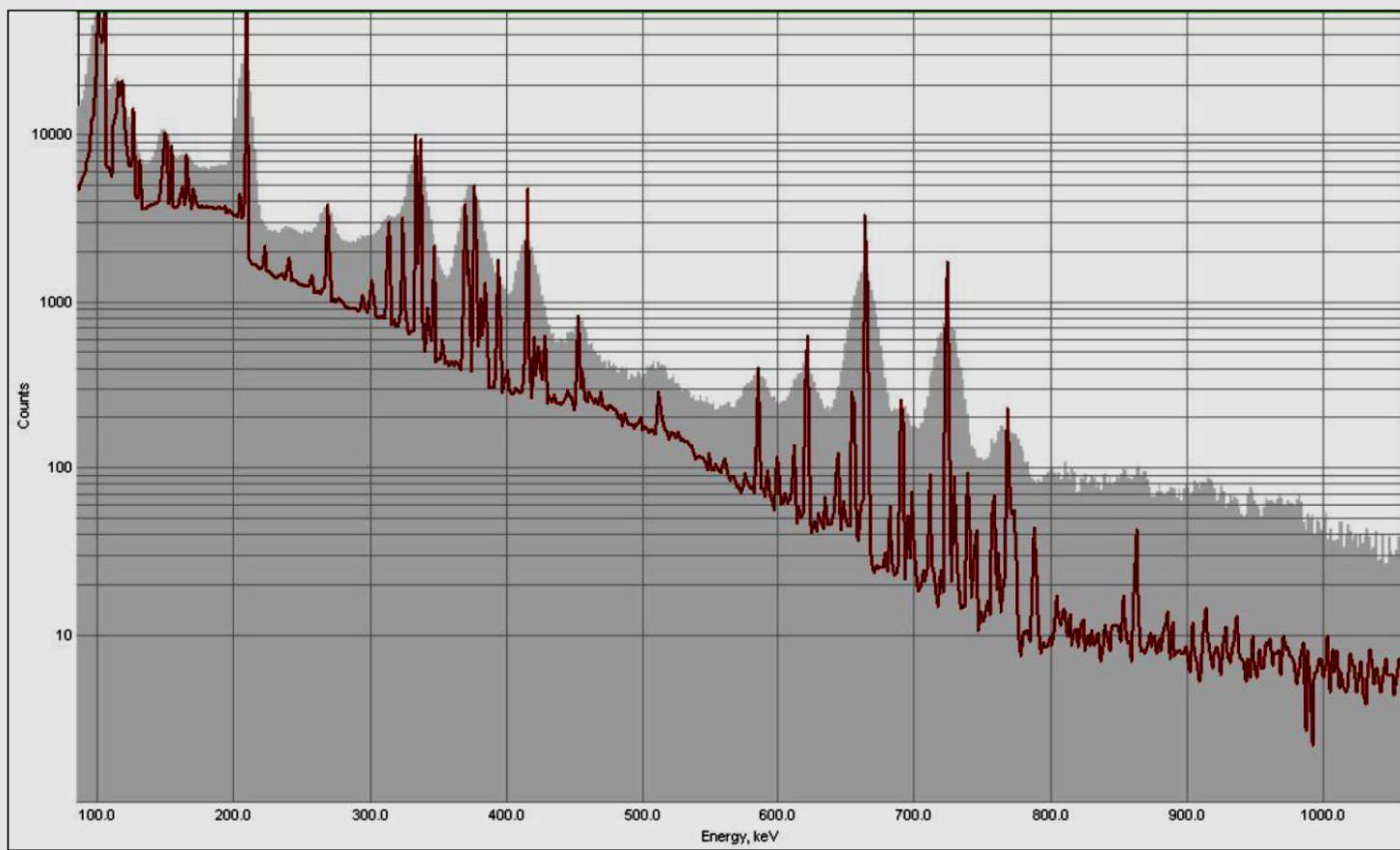
Сравнение спектров ⁶⁰Co



LaBr₃(Cl₃) детекторы

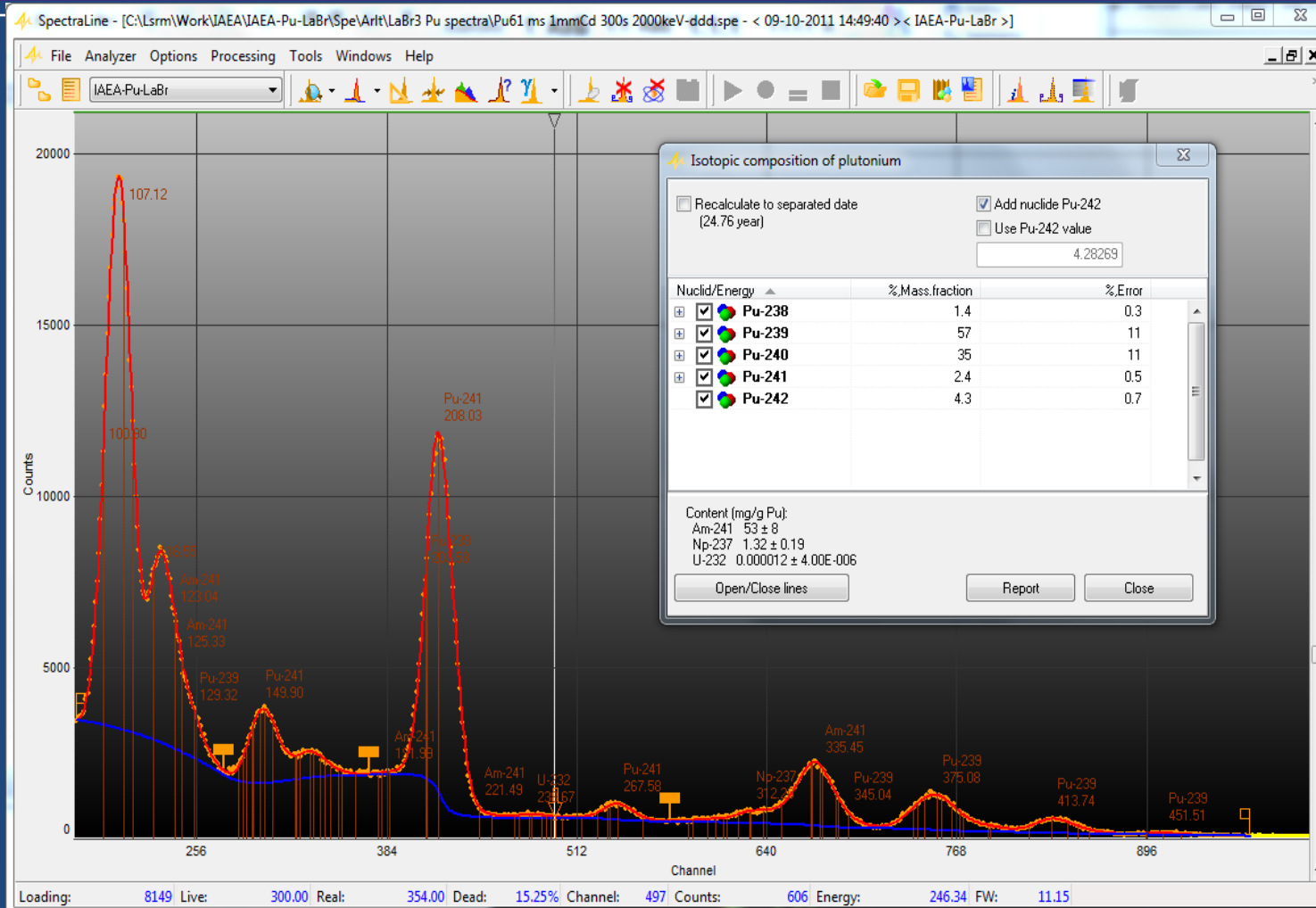
Сравнение спектров ¹³³Ba





Спектры плутониевого образца, измеренных на планарном HPGe-детекторе и LaBr₃- детекторе.

LaBr3 -2x2" Изотопный состав Pu



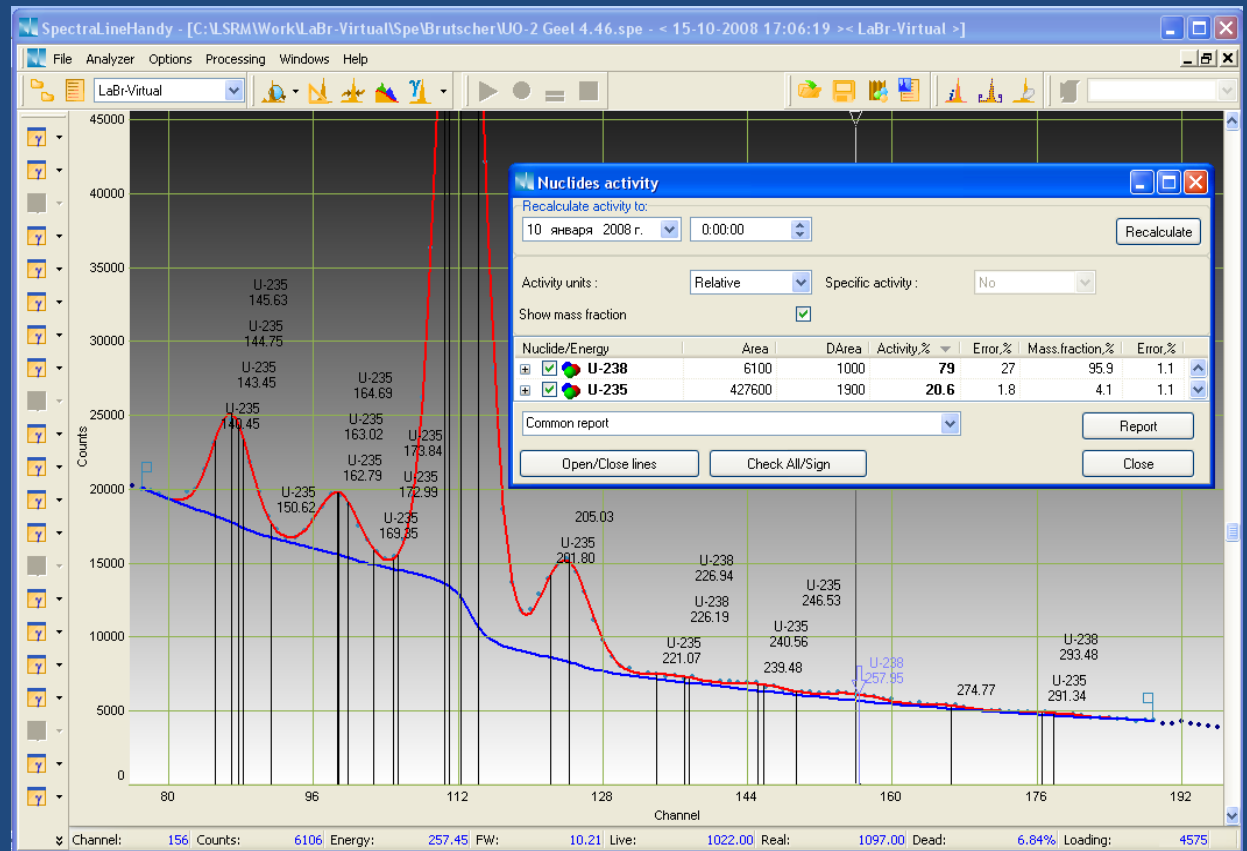
	Tlive	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Am-241	Np-237	U-232*10 ⁻⁶
RG	100	0.58(20)	57(12)	36(13)	1.9(5)	6.1(9)	0.125(20)	1.16(21)
WG	200	<0.07	89(10)	11(10)	0.051(14)	0.52(10)	0.012(7)	0.013(11)

LaBr3 -2x2"

122 кэВ FWHM: 6.1%
661 кэВ FWHM: 2.7%

^{235}U

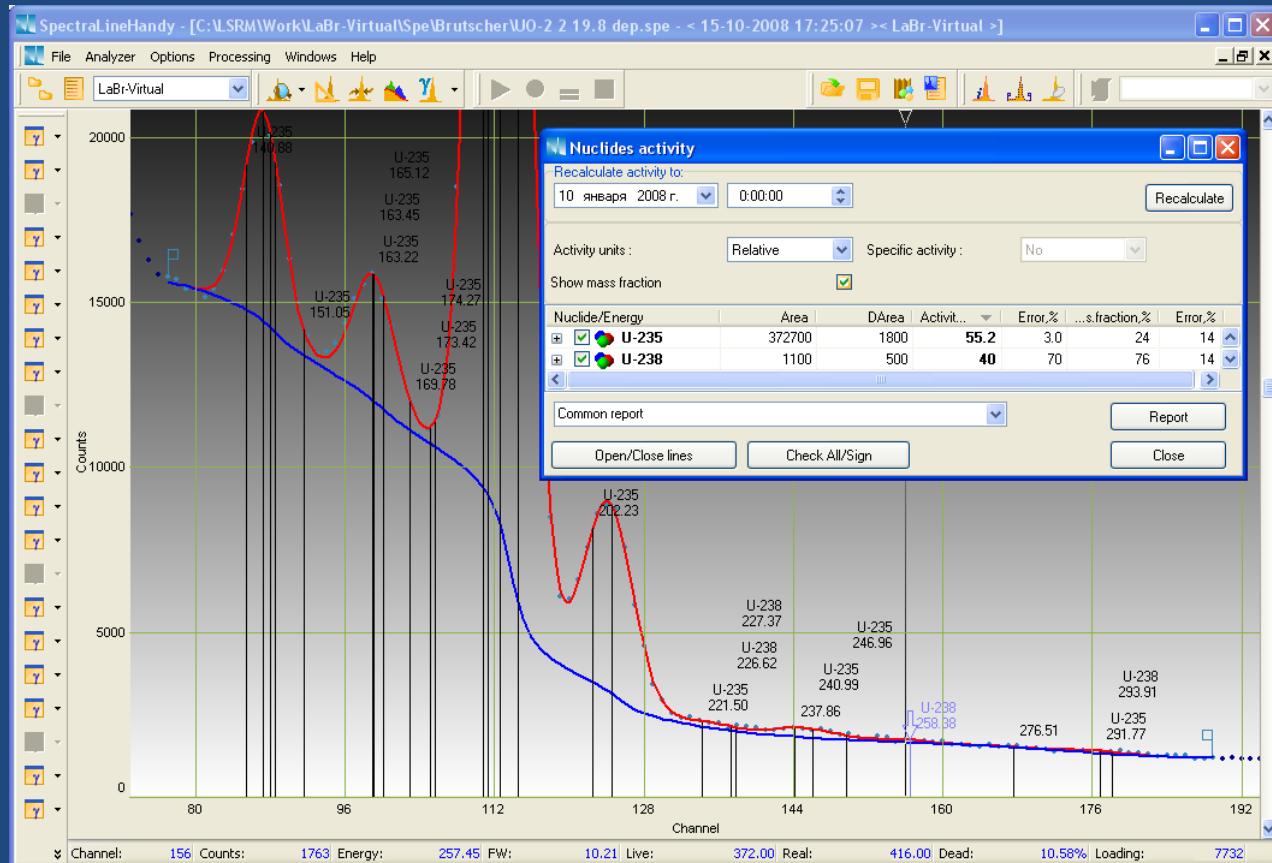
Декларированное- 4.46%
Измеренное 4.1+/-1.1 %



LaBr3 -2x2"

 ^{235}U

Декларированное- 19.8%
Измеренное 24+/-14 %



При наличии ^{232}U возможна оценка степени обогащения и в случае высокообогащенного урана!

91%



> 84%

Спасибо за внимание!



**LABORATORY
of spectrometry
and radiometry**

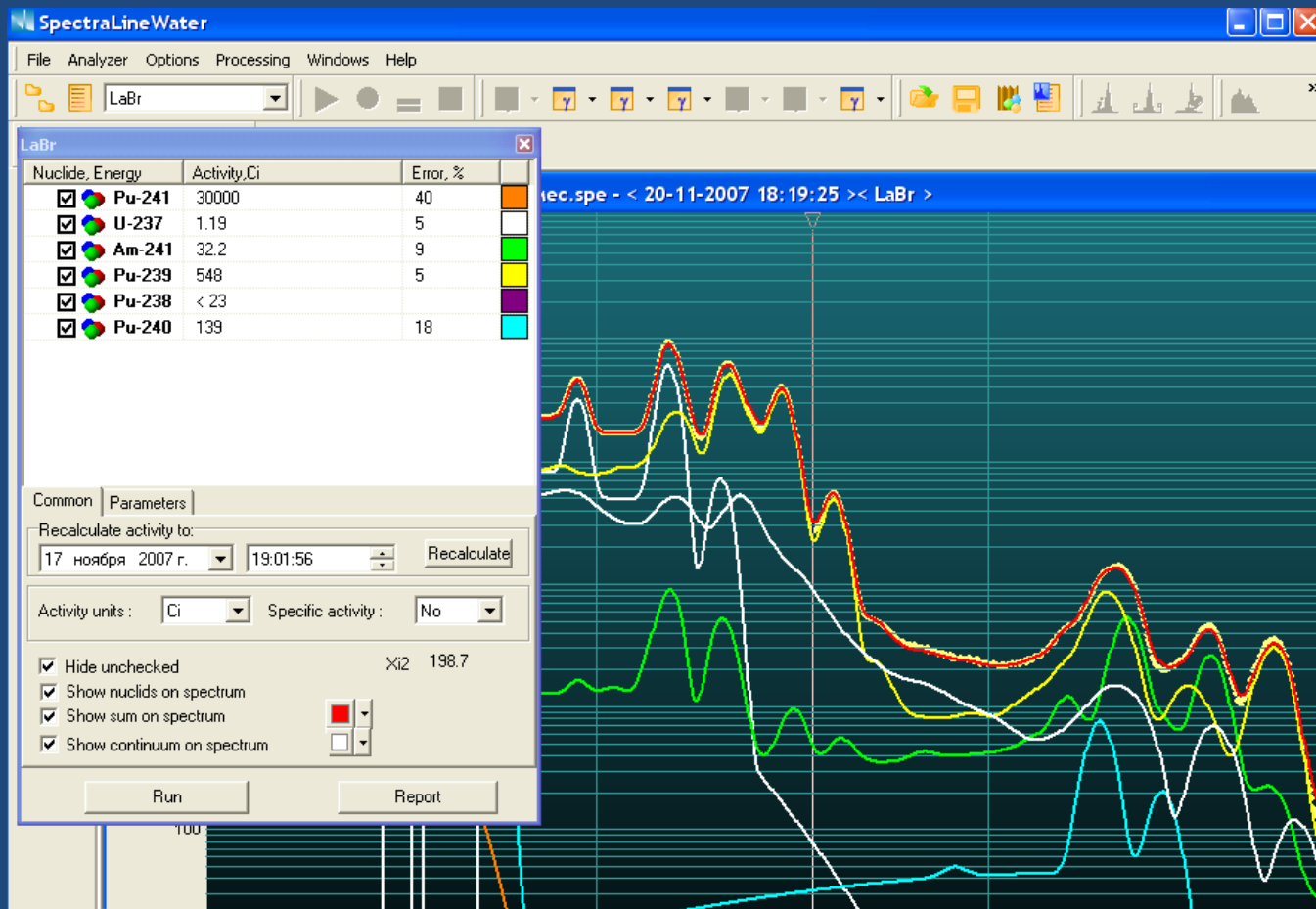
<http://www.lsrn.ru>

mail: lsrn@lsrn.ru

Phone: +7 495 660-16-14

Located in Moscow, Russia

SpectraLineNM - определения изотопного состава плутония с помощью детектора на основе LaCl₃.



LaBr3 -2x2”

 ^{239}Pu

Декларированное- 93%

Измеренное 93+/-4 %

