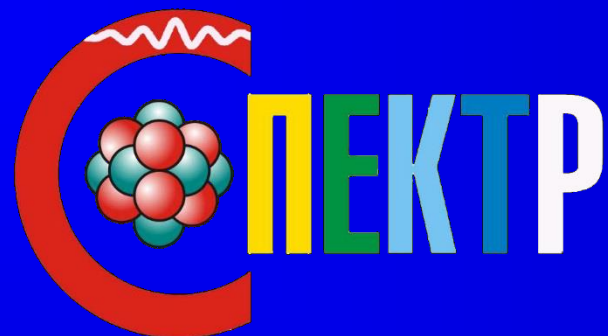




Система контроля качества в
программном пакете «СПЕКТР»



Задача оценивания

Найти такие параметры p_x модели $M(p)$ (p – вектор оцениваемых параметров модели), которые имели бы минимальные дисперсии $D_{px} = \min(D_p)$ и удовлетворяли условию $\|M(p_x) - S\| < E$.

$\|M(p_x) - S\|$ - невязка оценивания,

S - измеренный спектр,

E - заданный порог приемлемости модели.

Для класса линейных оценок, в случае если невязка оценивания больше порога приемлемости, оценивание не может считаться состоятельным.



Теорема Гаусса-Маркова

Для линейной модели $M(p) = Ax \rightarrow Ax = S + \varepsilon$ есть единственное линейное преобразование позволяющее получить наиболее эффективную оценку (BLUE оценку - Best Linear Unbiased Estimators)

$$x = (A^T K_S^{-1} A)^{-1} \cdot A^T K_S^{-1} S, \quad \sigma_{xi} = \sqrt{(A^T K_S^{-1} A)^{-1}_i}$$

A - матрица спектров компонент.

x - оцениваемые вклады компонент.

ε - вектор невязки.

K_S - ковариационная матрица вектора (спектра) S .



Модель спектра

$$M(p, i) = \left\{ \int (\Phi(x, w) \cdot f_0(a_0 \cdot (i - x)^2 + b_0 \cdot (i - x) + c_0) + \right. \\ \left. k(Z, i) \cdot \sum A_j \cdot f_j(a_j \cdot (i - x)^2 + b_j \cdot (i - x) + c_j)) \cdot dx \right\} + S_{compt}(i) + Pn(i) \\ p = (Z, w, a_0, b_0, c_0, A_1, a_1, b_1, c_1, \dots, A_n, a_n, b_n, c_n, Pn_0, \dots, Pn_k).$$

Здесь:

$f_0 = B - B_{compt}$ – спектр фона с вычтенным спектром комптоновского рассеяния

$f_1, \dots, f_n$ – спектры компонент $A_1, \dots, A_n$ – амплитуды соответствующих компонент.

$a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_n$ и $c_0, \dots, c_n$ – параметры энергетического дрейфа спектрометра.

Множитель $k(Z, i) = (1 - \exp(-\mu \cdot \rho \cdot Z^4 \cdot \Delta / f(E(i)))) / (\mu \cdot \rho \cdot Z^4 \cdot \Delta / f(E(i)))$ используется только в режиме обработки гамма спектров.

$S_{compt}(i)$ – спектр комптоновского рассеяния для спектра пробы.

$Pn(i)$ - полином

i - канал спектра.

Свёртка с функцией рассеяния $\Phi(x, w)$ моделирует ухудшение разрешения спектрометра.

Решение

$$p^{k+1} = p^k + R \left\{ \lambda_k \cdot (M_{jl} + \beta_k \cdot D_{jl} + G_0^{-1})^{-1} \cdot F \right\}$$

Здесь:

p^k – вектор параметров на k -ой итерации;

p^{k+1} – вектор параметров на $k+1$ -ой итерации.

R – оператор проектирования получаемых значений параметров на ограничения.

λ_k – шаг на k -ой итерации ($0 < \lambda_k < 1$).

$M_{jl} = (W \cdot \frac{dM}{dp})^T \cdot (W \cdot \frac{dM}{dp})$ – матрица Гаусса - Ньютона;

$W = K^{-1/2}$ – матрица весов. K – ковариационная матрица вектора $M(p) - S$

$\beta_k \cdot D_{jl}$ – коэффициент (задается в параметрах декомпозиции) и демпфирующая матрица k -ого шага.

G_0 – ковариационная матрица априорных данных.

$F = (W \cdot \frac{dM}{dP})^T \cdot (M(p) - S) + G_0^{-1} \cdot (A^k - X_0 \cdot b^k)$ для $0 > C_a < (M(p) - S) < C_b > 0$.

$F = (W \cdot \frac{dM}{dP})^T \cdot C_a + G_0^{-1} \cdot (A^k - X_0 \cdot b^k)$ для $(M(p) - S) < C_a < 0$.

$F = (W \cdot \frac{dM}{dP})^T \cdot C_b + G_0^{-1} \cdot (A^k - X_0 \cdot b^k)$ для $(M(p) - S) > C_b > 0$.

X_0 – априорные данные об активностях компонент.

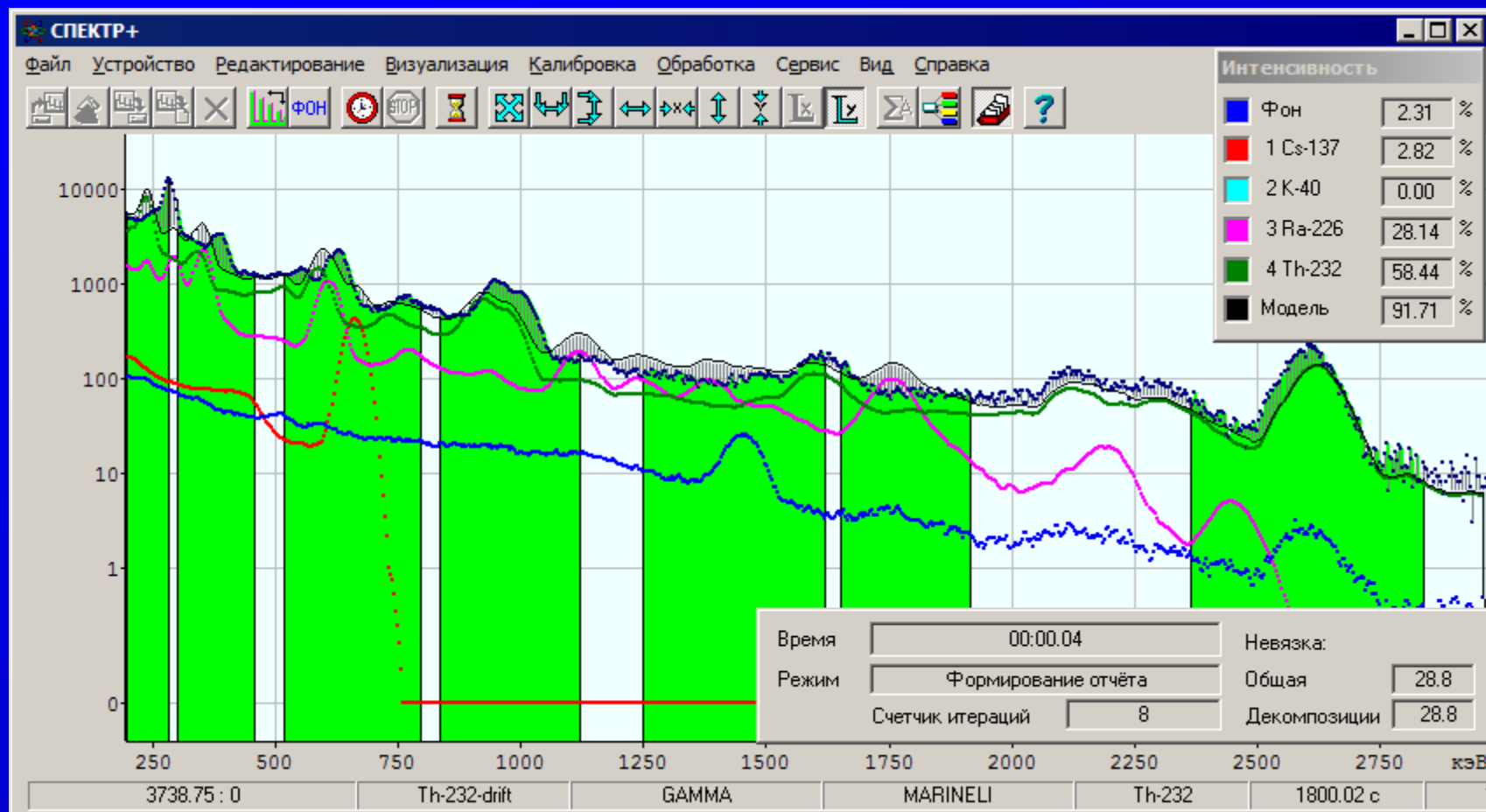
A^k – оценка вклада компонент на k -ом шаге,

b^k – оценка коэффициента усиления тракта.

C_a, C_b – границы МНК оценивания.

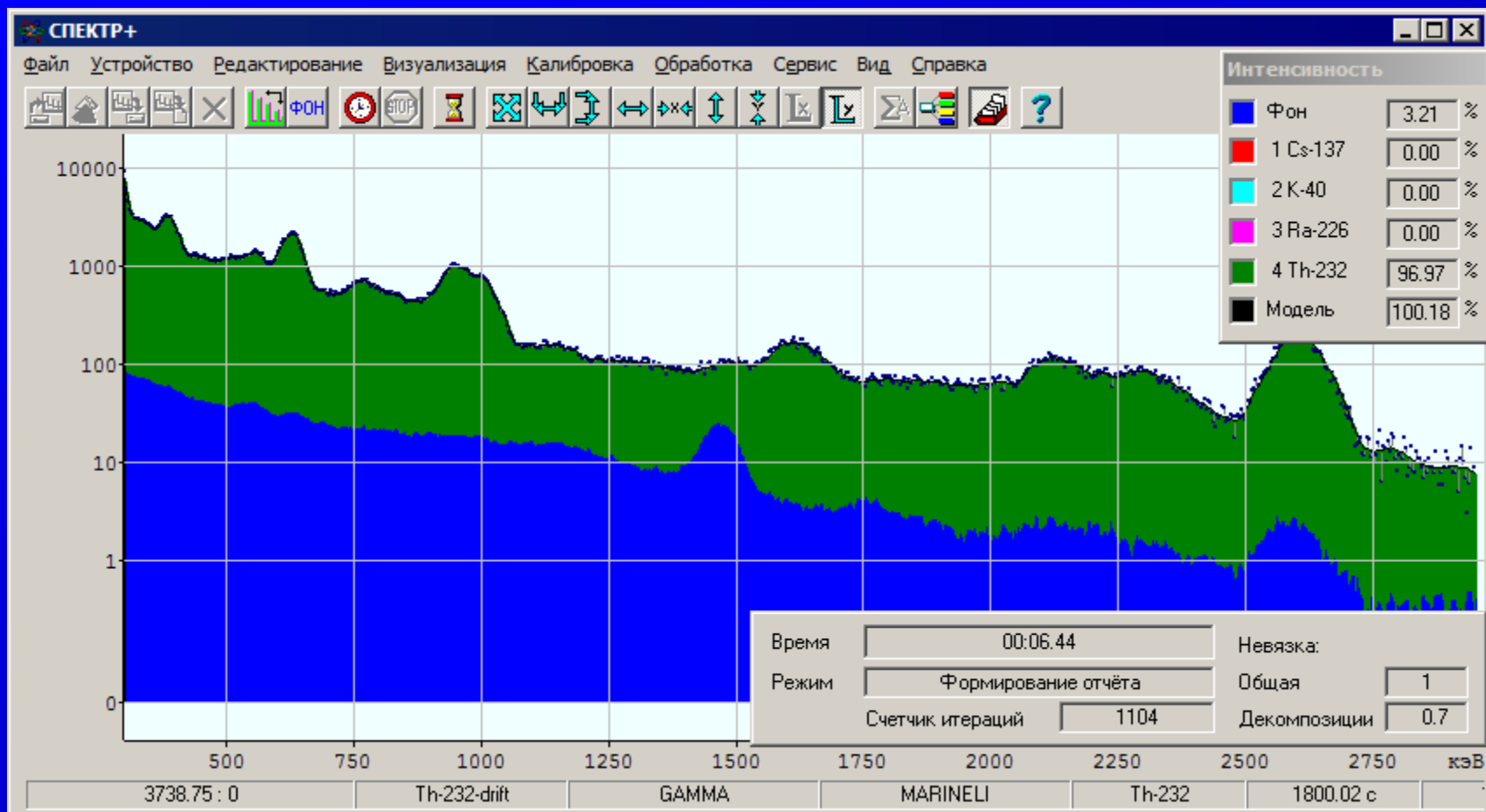


Энергетический дрейф



Обработка оконным методом без коррекции дрейфа

Энергетический дрейф

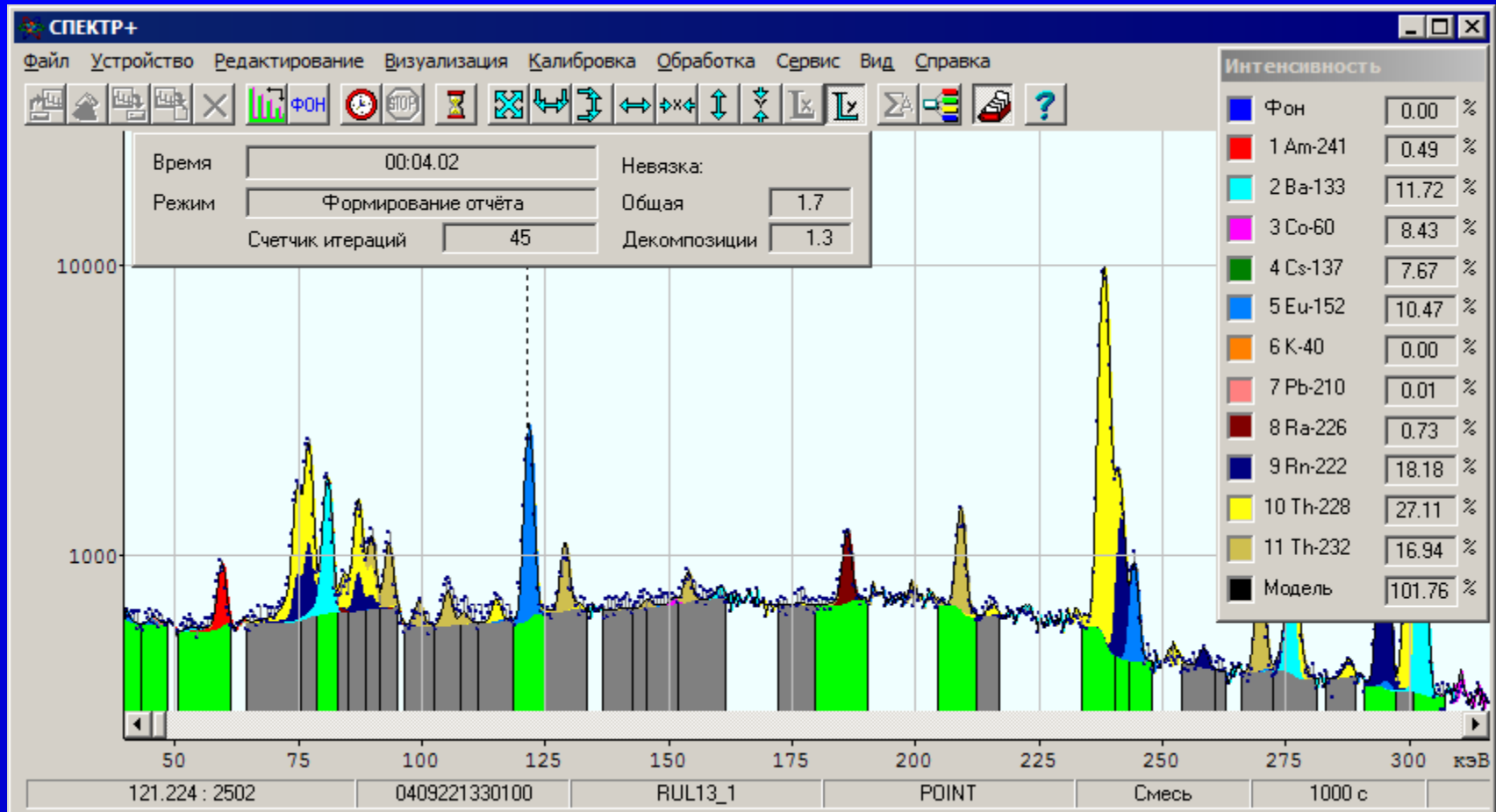


Обработка стандартным методом с коррекцией линейного дрейфа

Энергетический дрейф

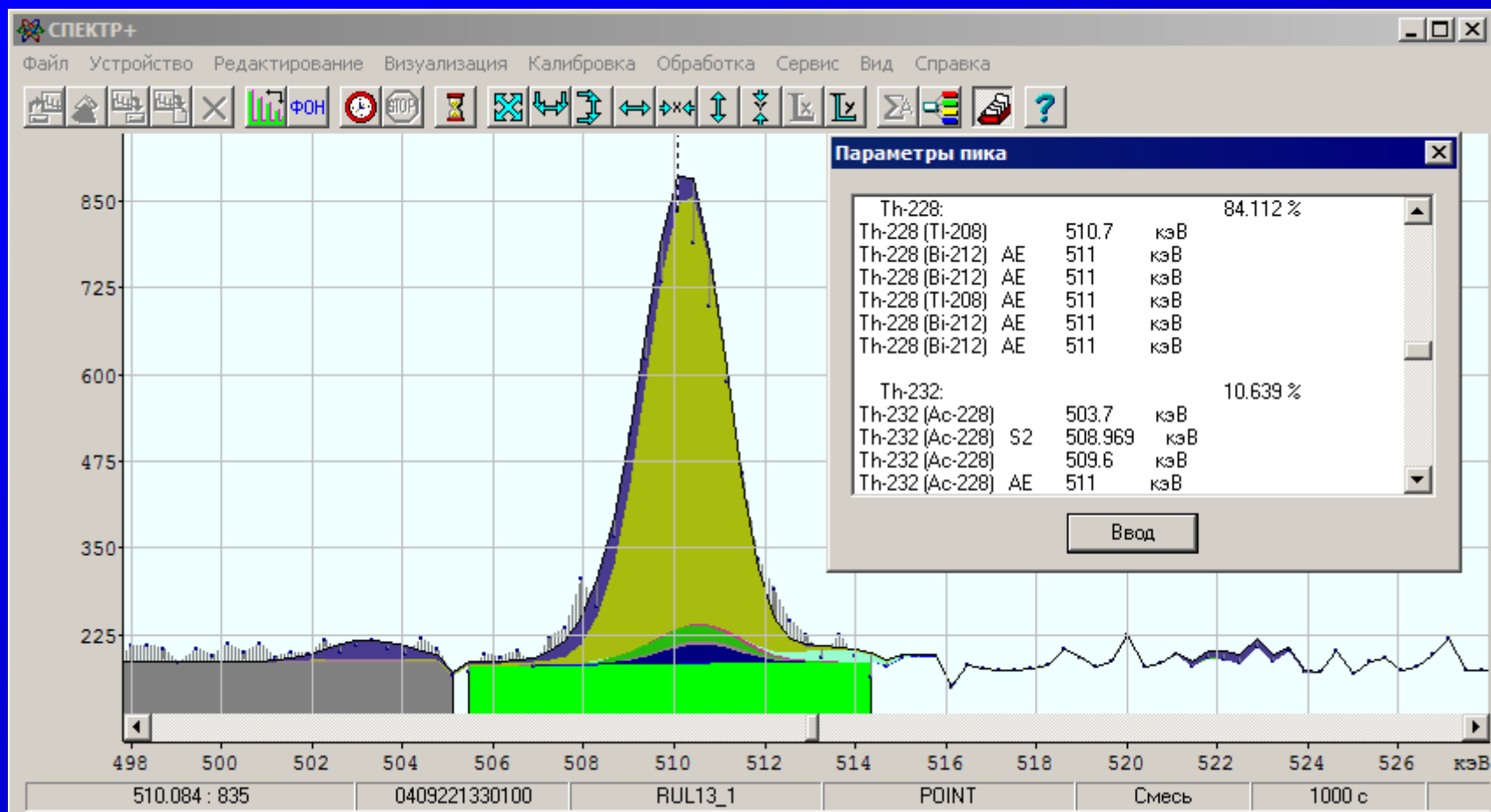
Наименование объекта исследования: Эталон Th-232. Акт = 977 Бк/кг. Дата отбора: 01.08.2006 13:48:59 Масса счётного образца: 1638 г Дата измерения: 10.01.2008 16:25:16 Время измерения: 1800 с		
Радионуклид	Результат исследований (Бк/кг) Оконный метод без коррекции дрейфа.	Результат исследований (Бк/кг) Стандартный метод.
^{137}Cs	100 ± 350	0 ± 4
^{40}K	0 ± 2600	0 ± 35
^{226}Ra	430 ± 270	0 ± 8
^{232}Th	670 ± 180	980 ± 80
	Невязка: 28.8 (Норма - не более 2) Энергетич. диапазон: 200 - 2852.24 кэВ. Дрейф: Лин. 0% ($K_y=0.98$, $N_{ш}=15$ кан.), Нелин. 0%, Разрешения 0%, $Z_{eff} +0.0$	Невязка: 1.0 (Норма - не более 2) Энергетич. диапазон: 200 - 2989.75 кэВ. Дрейф: Лин. 3.2% ($K_y=1.006$, $N_{ш}=0.83$ кан.), Нелин. 0%, Разрешения 0%, $Z_{eff} +0.0$

Интерференция линий



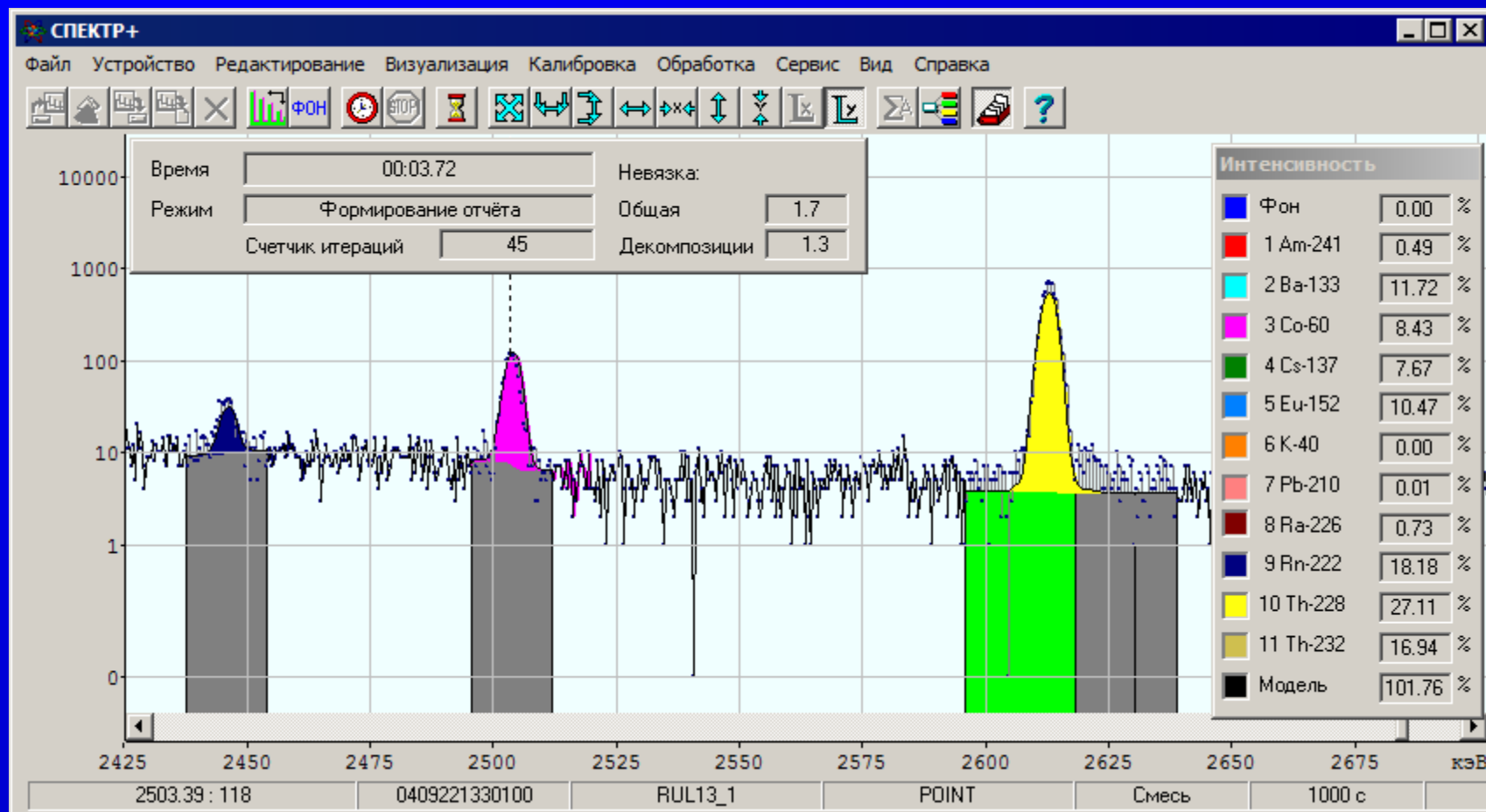
Спектр смеси эталонов. Обработка разложением на компоненты.

Аннигиляционный пик



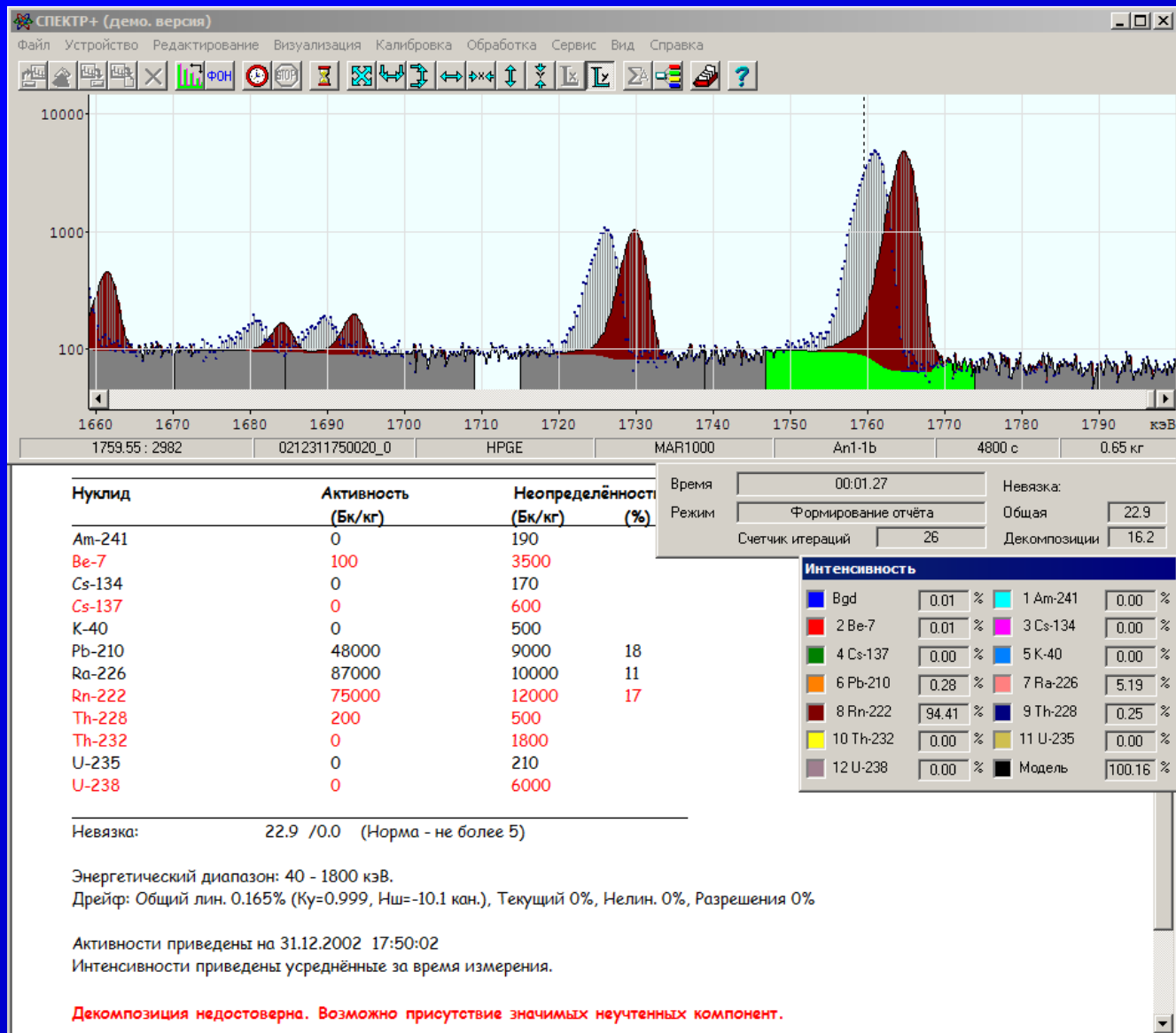
Пик формируют 127 линий от 6 компонент декомпозиции

Каскадные гамма кванты



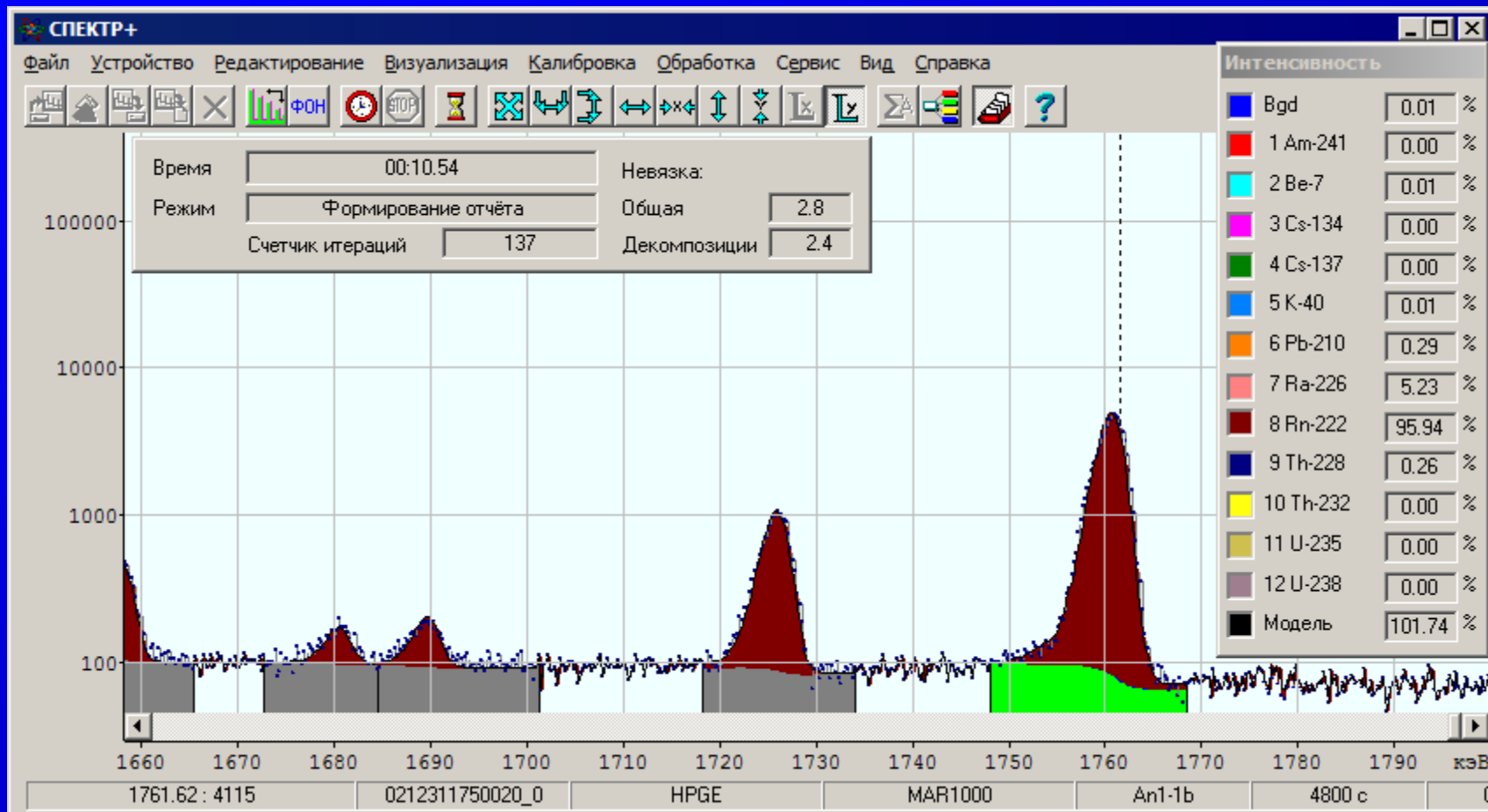
Пик сложения 2505.7 кэВ для Co-60

Энергетический дрейф



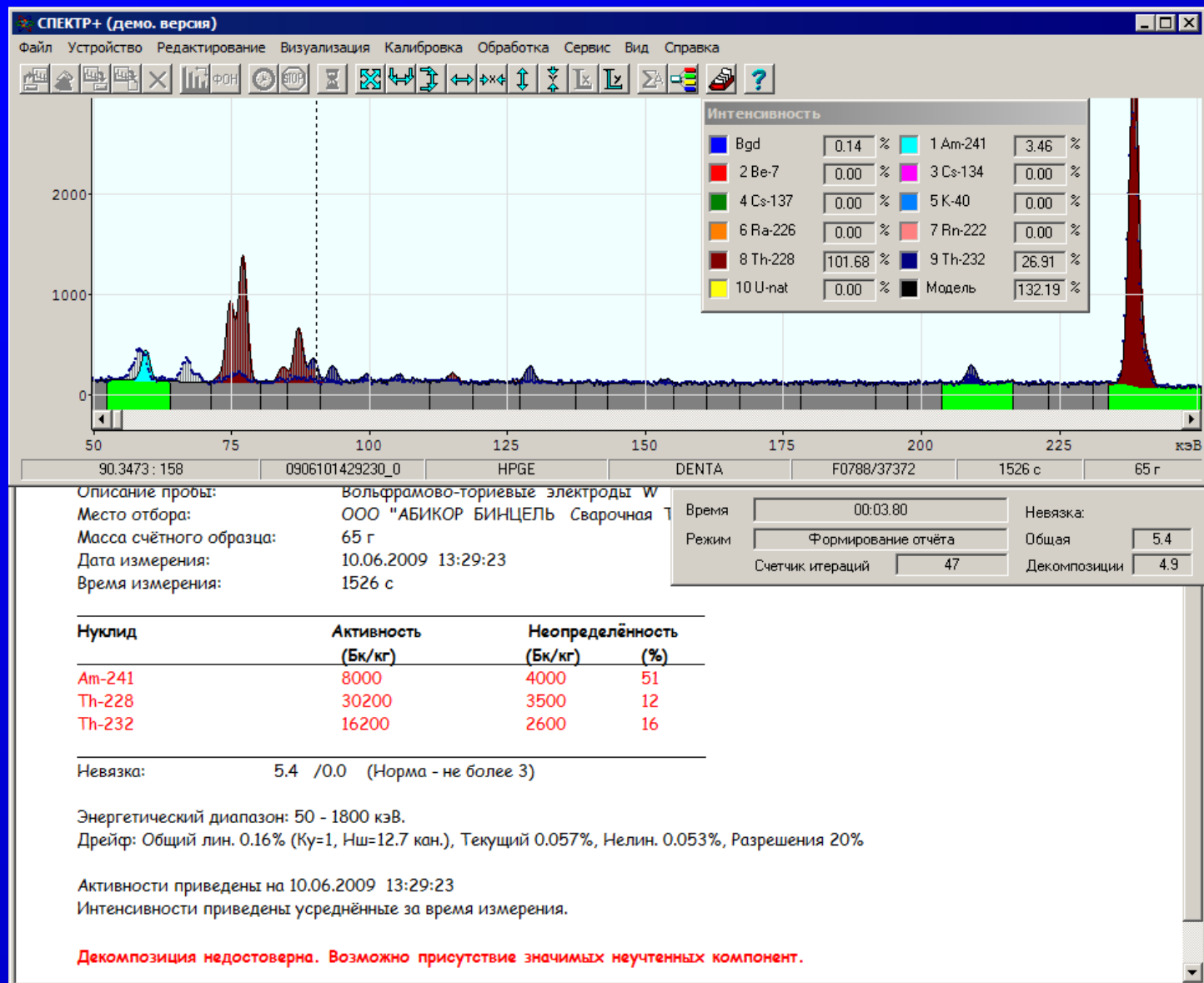
Обработка без коррекции дрейфа

Энергетический дрейф



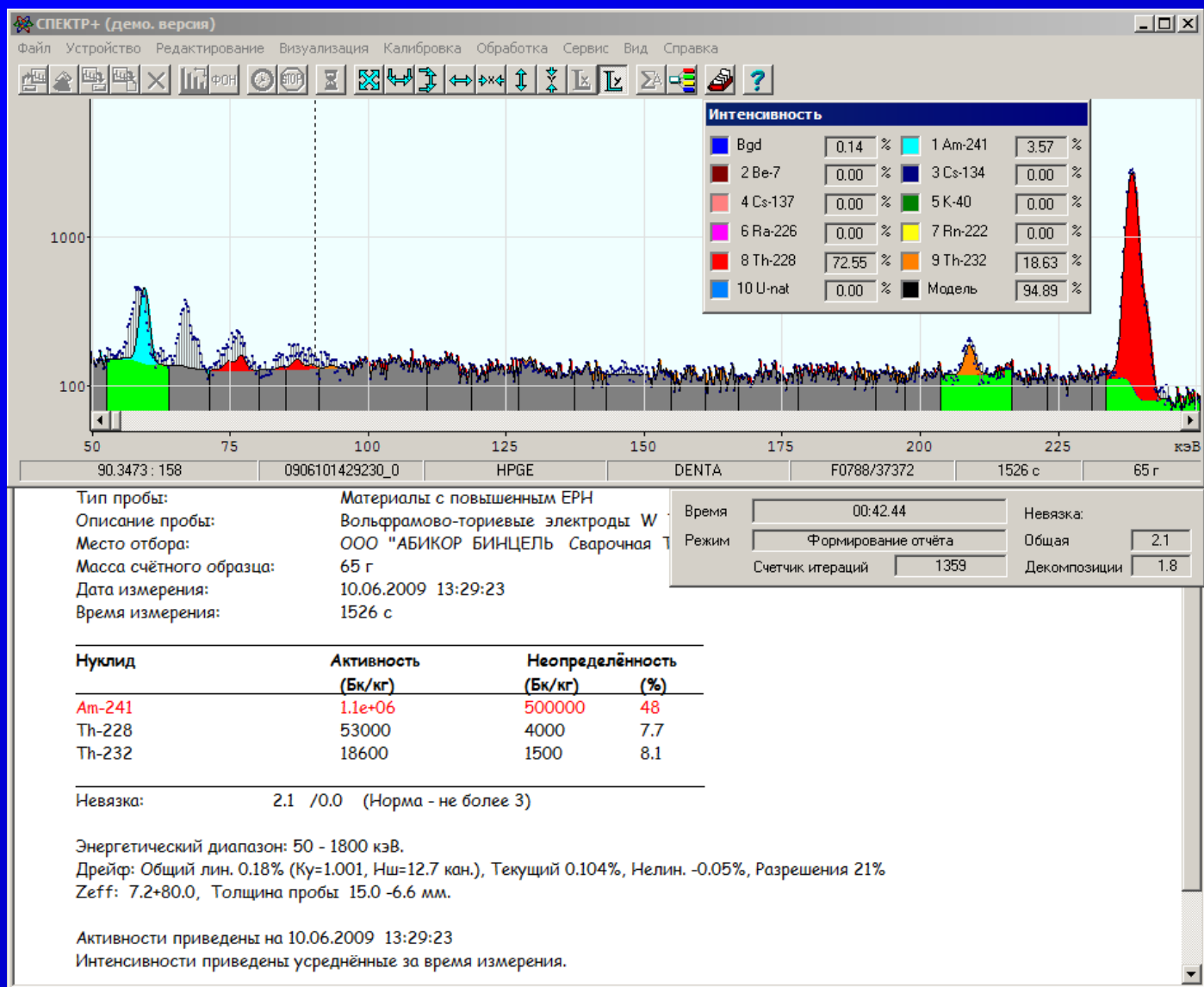
Обработка стандартным методом с коррекцией дрейфа

Поглощение излучения в веществе пробы



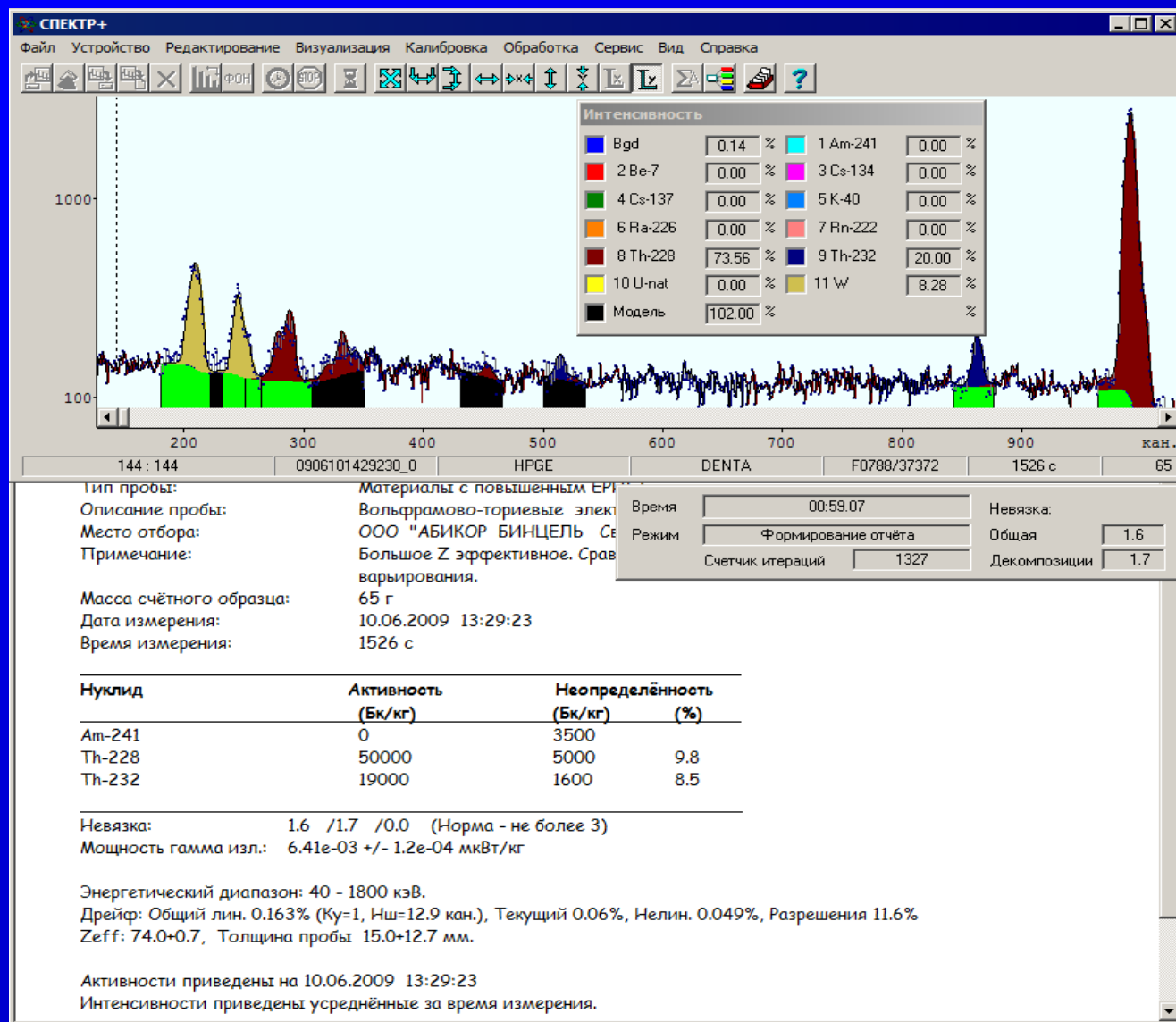
Результаты обработки спектра без варьирования Z.

Поглощение излучения в веществе пробы



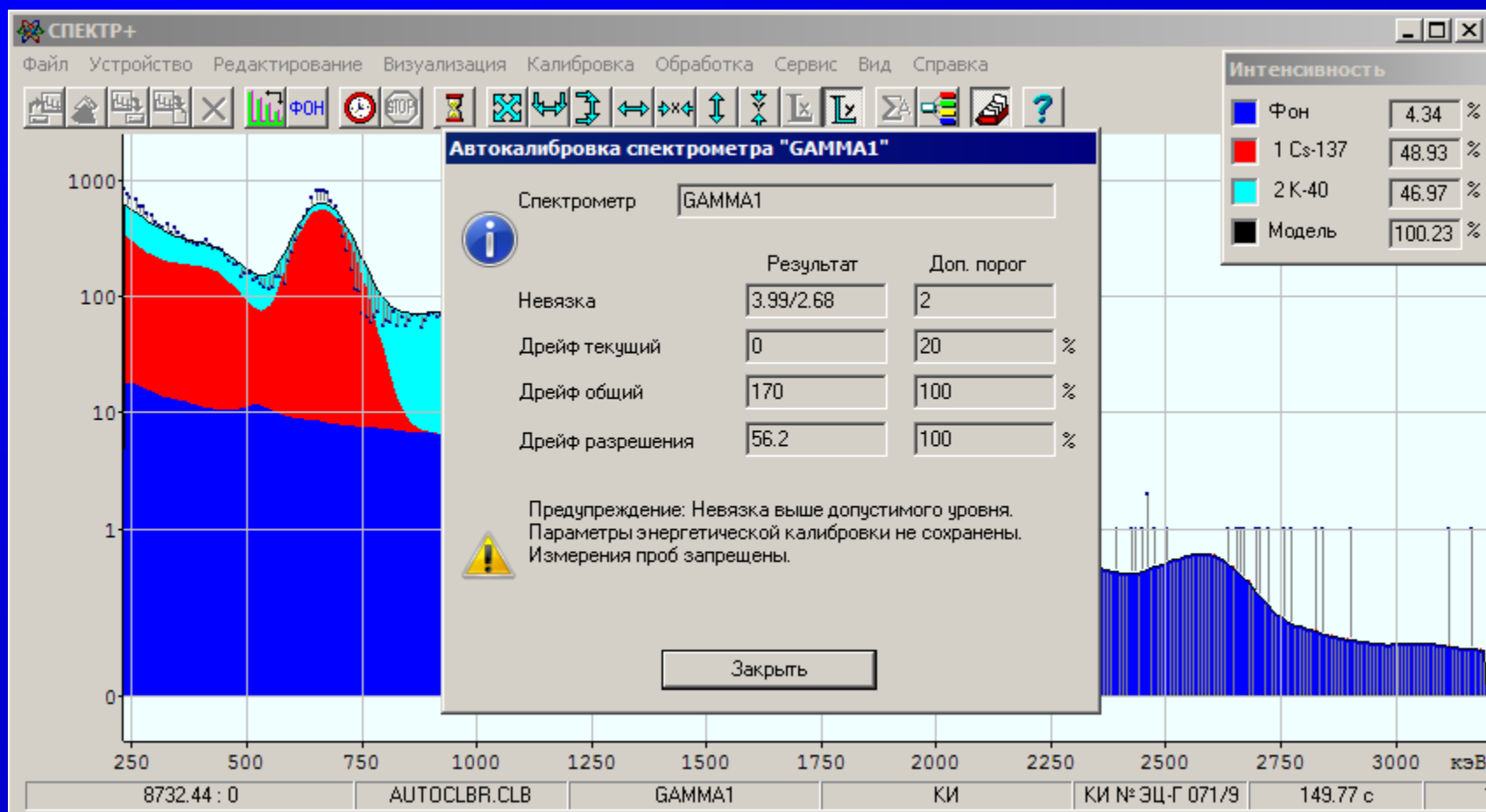
Результаты обработки спектра с варьированием Z.

Учёт рентгеновской флуоресценции



Результаты обработки с учётом рентгеновской флуоресценции материала пробы.

Автокалибровка, поверка спектрометра



Поверка

Результат измерений: $X \pm \Delta X$ $\Delta X = \sqrt{(2\sigma_x)^2 + (k \cdot X)^2}$



Смещение должно находиться в пределах допустимой систематической погрешности

$$|\alpha_s - \alpha_m| < k \cdot \alpha_s$$

Запас точности – в пределах от -20% до 100%

Журнал измерений

Архив измерений: C:\Spectr\Поверка.DBF

Файл Правка Команды Сервис Вид Справка

Измерения Поверка

Спектрометр

- ALPHA
- BETA
- BETA1
- BETA-2013
- BETA-2017
- DSPEC
- GAMMA
- ☒ GAMMA1
- GAMMA2
- GAMMA-2017
- HPGE

Номер	Дата значения актив	Cs-137	+/- Cs-137	K-40	+/- K-40
413	06.04.1998 12:00	1770	130	16600	1300
412	06.04.1998 12:00	1770	130	16600	1300
411	06.04.1998 12:00	1730	130	16400	1300
410	06.04.1998 12:00	1760	240	15800	3500
409	06.04.1998 12:00	1690	130	16600	1300
408	06.04.1998 12:00	1720	140	16300	1400
407	06.04.1998 12:00	1660	130	16000	1300
406	06.04.1998 12:00	1680	120	16700	1200
405	06.04.1998 12:00	1680	120	16400	1200
404	06.04.1998 12:00	1690	120	16400	1200
403	06.04.1998 12:00	1710	120	16300	1200

Тип пробы

- ☒ Контрольный ист
- Разное
- Фон
- Эталон

Всего записей: 246, выбрано записей: 10

Статистика						
Файл Сервис Настройка Вид Справка						
Закрыть Справка						
Номер	Проба	Cs-137	+/- Cs-137	K-40	+/- K-40	Единица
410	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1859.7	299.6	15876	3575	Бк
411	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1824.9	176.6	16365	1379	Бк
409	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1785.1	175.8	16652	1437	Бк
2429	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1813.3	183.3	16314	1539	Бк
408	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1813.3	183.3	16314	1539	Бк
407	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1755.9	168.7	15991	1447	Бк
2428	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1780.3	100.1	16353.1	849.6	Бк
406	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1775.7	169.2	16743	1436	Бк
405	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1775.2	166.9	16412	1365	Бк
404	КИ № ЭЦ-Г 071/98	1783.9	161.5	16387	1455	Бк
Данные сравнения		1500	75	16500	825	
Кол-во записей		10	10	10	10	
Минимум		1755.9	168.7	15876	3575	
Максимум		1859.7	299.6	16743	1436	
Среднее		1796.73	58.32	16340.7	550.8	
Смещение		296.73		159.3		
Среднеквадратичное			184.42		1741.9	
Ср.кв.откл.		30.642		259.57		
Стат. неопределённость		69.313		587.15		
Полная неопределённость		113.47		1006.1		
Средневзвешенное		1789.19	51.35	16380.4	434.8	
Норм.ср.кв.откл.		0.3086		0.3023		
Запас стат. точности (%)		224		231		
Козфф. вариации		0.017		0.016		
Ср.кв.откл. среднего		9.69		82.083		
Стат.неопр. среднего		21.919		185.67		
Полная неопр. среднего		92.472		837.87		
Относ.полная неопр. среднего		0.051		0.051		
Мин.Изм.Акт.(МИА=4.0 ско)		18.64		176		
Козфф. изменчивости (%)						

Протокол 2

"СТЕКТР" Версия 50.4.0

Универсальный спектрометрический комплекс УСК "Гамма плюс",

заводской номер 9819-Ар-Б-Г

Тракт БАММА1

Геометрия: Геометрия контрольного источника.

Проба: Акт Cs-137 = 1500 Бк., Акт K-40 = 16500 Бк., КИ № ЭЦ-Г 071/98

Контрольный источник Cs-137-K-40

№ ЭЦ-Г 071/98

Акт Cs-137 = 1500 Бк.

Акт K-40 = 16500 Бк.

Масса пробы 1000 г

Время измерения 149.8

Дата измерения	Дата значения активностей	Cs 137 Бк	K 40 Бк	Невязка
03.10.2012 07:58	06.04.1998 12:00	1683.4±176.2	16894±1387	3.9
02.10.2012 07:26	06.04.1998 12:00	1859.7±299.6	15876±3575	6.5
01.10.2012 07:29	06.04.1998 12:00	1785.1±175.8	16652±1437	4.1
28.09.2012 07:53	06.04.1998 12:00	1813.3±183.3	16314±1539	4.3228
28.09.2012 07:53	06.04.1998 12:00	1813.3±183.3	16314±1539	4.3
27.09.2012 07:32	06.04.1998 12:00	1755.9±168.7	15991±1447	3.99874
21.09.2012 07:53	06.04.1998 12:00	1775.7±169.2	16743±1436	3.8
21.09.2012 07:53	06.04.1998 12:00	1780.3±100.1	16353.1±849.6	2.68531
20.09.2012 12:23	06.04.1998 12:00	1775.2±166.9	16412±1365	3.84877
17.09.2012 08:02	06.04.1998 12:00	1783.9±161.5	16387±1455	3.8

Данные сравнения	1500±100	16500±1003	
Кол-во записей	10	10	10
Минимум	1683.4 ± 176.2	15876 ± 3575	2.68531
Максимум	1859.7 ± 299.6	16894 ± 1387	6.5
Среднее	1782.58 ± 184.38	16394 ± 1742.5	4.12556
Ср. квадрат. откл.	45.336	313.39	0.9509
Запас точности	119 %	162 %	
Стат. неопред.	102.55 (6.83667 %)	708.9 (4.29636 %)	
Смещение	282.58 (18.8387 %)	106.4 (0.64242 %)	

Колонка "Cs-137":

4 коррелированных записей из-за использованного общего спектра.

Смещение 282.58 (18.8387 %) превышает допустимое значение 100 (6.66667 %)

Запас статистической точности (119%) находится за пределами допустимых значений (-20%, +100%)

Колонка "K-40":

4 коррелированных записей из-за использованного общего спектра.

Запас статистической точности (162%) находится за пределами допустимых значений (-20%, +100%)

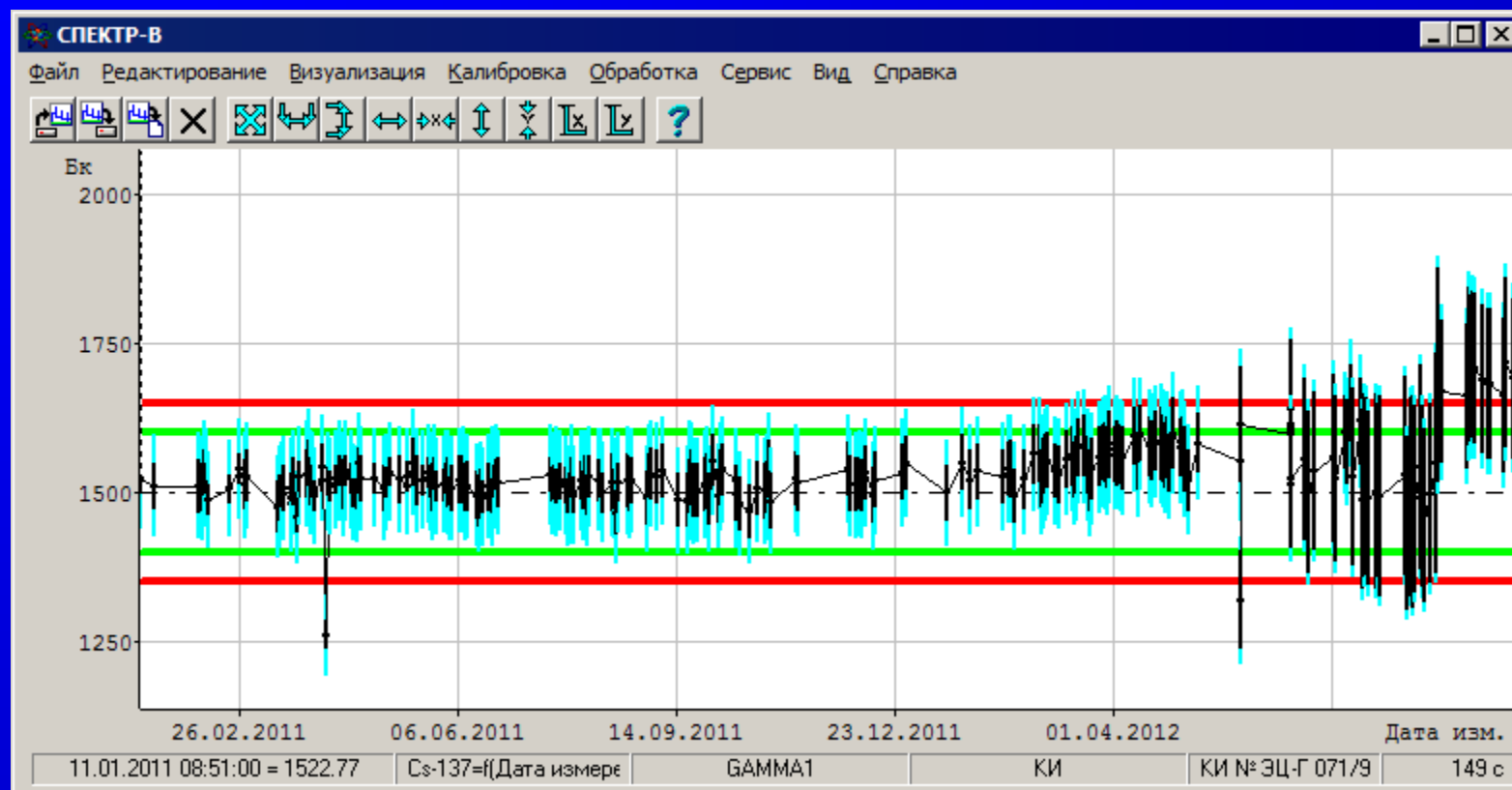
Критические параметры:

Запас точности. Превышение в процентах реальной точности (рассчитанной процедурой статистической обработки по выборке) относительно рассчитанной программой обработки спектра. Допустимый диапазон: от -20% до +100%.

Смещение. Отклонение среднего значения по выборке от аттестованного значения. Допустимое значение: <10 %.

Невязка. Расстояние от спектра модели до измеренного спектра нормированное на статистическое отклонение. Допустимое значение: < 2.

Карта Шухарта



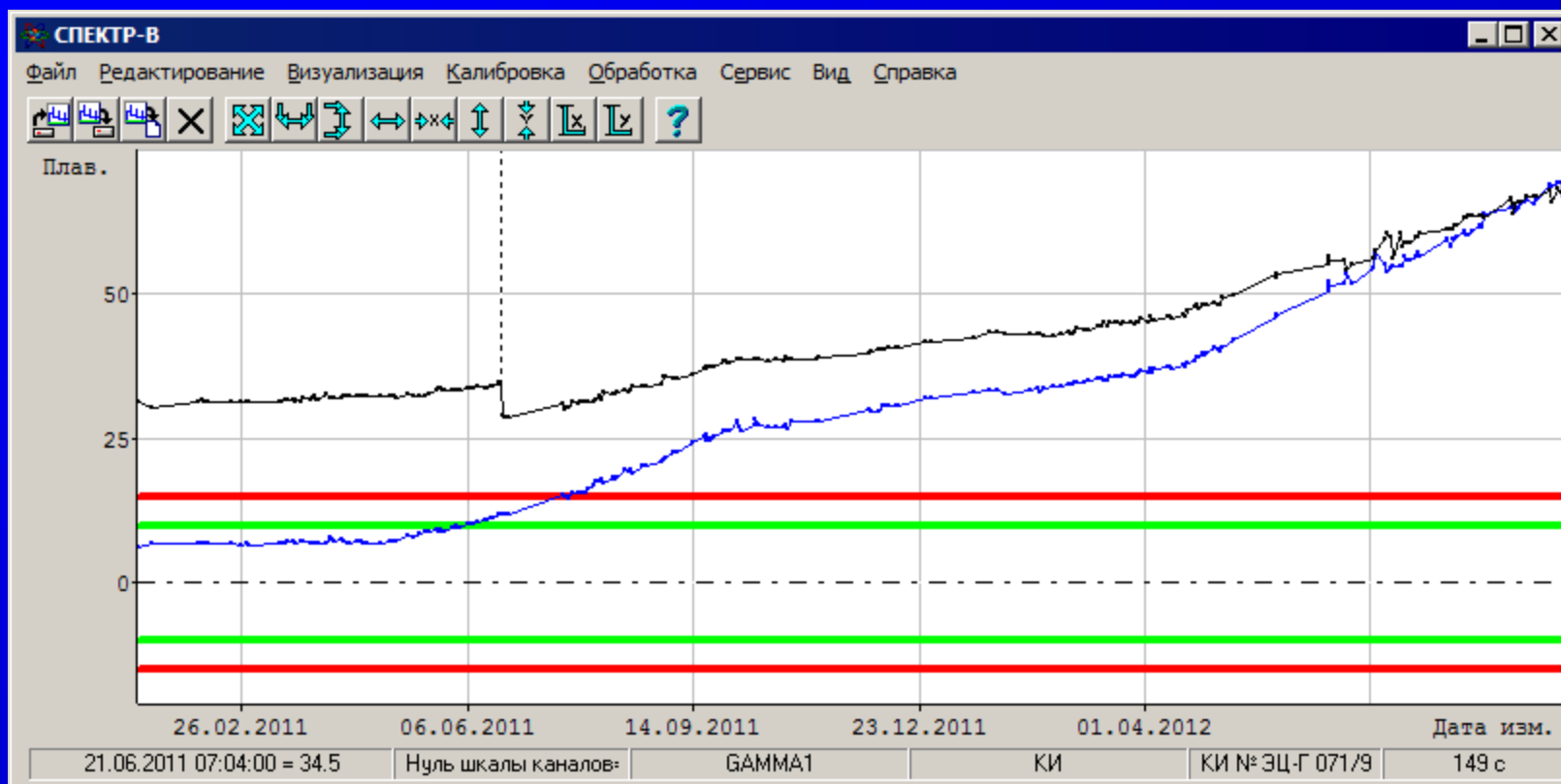
В пакете «СПЕКТР» можно строить карты Шухарта для всех активностей контрольных источников и 13-ти дополнительных служебных параметров характеризующих состояние спектрометра.

Карта Шухарта



Карта Шухарта – коэффициент усиления

Карта Шухарта



Карта Шухарта – нуль шкалы каналов, коэффициент усиления

ГРАФИК ИЗМЕРЕНИЙ КОНТРОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА

Проба: КИ № ЭЦ-Г 071/98

Наименование пробы: Акт Сс-137 = 1500 Бк, Акт К-40 = 16500 Бк.

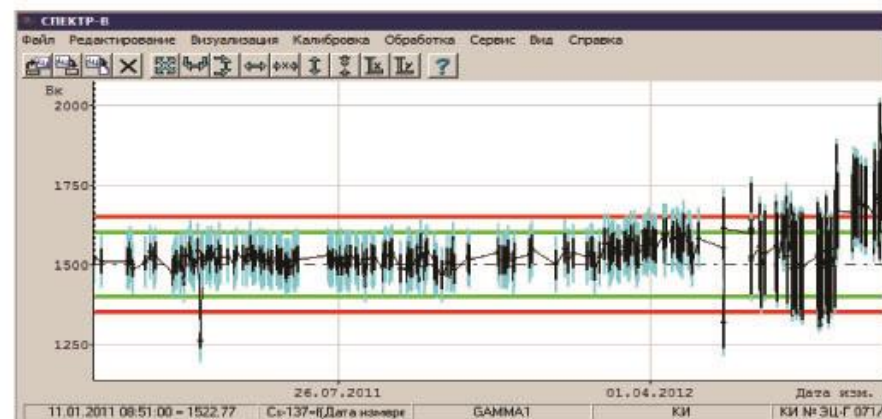
Описание пробы: Контрольный источник Сс-137+К-40 № ЭЦ-Г 071/98 Акт Сс-137 = 1500 Бк.

Акт К-40 = 16500 Бк.

Тип пробы: Контрольный источник

Дата аттестации: 06.04.1998 12:00:00

Средство измерения	
Наименование средства измерения	Свидетельство о поверке
Универсальный спектрометрический комплекс УСК "Гамма плюс", заводской номер 9819-Ар-Б-Г	№ 42010.4Ж205 Действительно до 24 июня 2016 г.



Дополнительная погрешность: 5 %

Минимум: 1260±70 Бк

Максимум: 1800±160 Бк

Среднее: 1500±100 Бк

Смещение: 36.7954 Бк (2.45303 %)

Средне квадр. отклонение: 60 Бк

Стат. неопределенность: 120 Бк

Полная неопределенность: 140 Бк

Запас стат. точности: -59 %

Контрольные уровни:

Номинал: 1500 Бк

Верхняя граница уровня предупреждений: 1600 (+100) Бк

Нижняя граница уровня предупреждений: 1400 (-100) Бк

Верхняя граница уровня действий: 1650 (+150) Бк

Нижняя граница уровня действий: 1350 (-150) Бк

Временной диапазон: 11.01.2011 - 04.10.2012 (5.46043e+07 с)

Все активности пересчитаны на 06.04.1998 12:00:00

26 (10.6 %) значений за границами уровня предупреждений.

18 (7.35 %) значений за границами уровня действий.

Запас точности лежит вне допустимых значений (-20%, +100%).

Приведенные на графике активности пересчитаны на дату аттестации контрольного источника.

Ответственный

за оформление протокола

лаборант
должность

Васильева В.Ю.
Ф.И.О.

подпись



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ФГУП ВНИИФТРИ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

об аттестации методики радиационного контроля
№ 40090.0Ж562

Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах с помощью гамма- и бета-спектрометров, работающих под управлением программного пакета «СПЕКТР» (далее ПП), разработанная Г.И. Дрёминым, Е.Н. Курниковым и специалистами ФГУЗ «ЦГиЭ в г. Москве» и изложенная в одноименном документе, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.

Методика ориентирована на использование сцинтиляционных и ППД-спектрометров утвержденного типа с регламентированной в методике процедурой установки ПП с последующим подтверждением калибровкой и поверкой метрологических характеристик спектрометра, необходимых для измерения активности счетных образцов.

Методика обработки измерительной информации, реализуемая в ПП, основана на разложении аппаратного спектра излучения счетного образца на спектры компонент от фонового излучения и от предполагаемого набора радионуклидов с учетом параметров счетного образца методом наименьших квадратов, дополненным оцениванием Хуберовского типа и возможностью использования априорных данных в соответствии с принципом Байесовского оценивания. Погрешность результатов измерений оценивается в каждом конкретном измерении.

Методика регламентирует требования к счетным образцам и устанавливает процедуры подготовки и выполнения измерений. В Приложении дана методика поверки спектрометров с ПП.

Аттестация методики выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке и тестированию методики.

Дата аттестации: 25 июня 2010

Руководитель НИО-4 (ЦМИИ)



В.П. Ярына

С N0000410

Индивидуальный предприниматель
Дрёмин Геннадий Иванович
Тел. +7-910-420-01-96
E-mail: gidremin@gmail.com
[http: spectrrad.ru](http://spectrrad.ru)

