

**«СОГЛАСОВАНО»**  
Директор ЦММИ  
ГП «ВНИИФТРИ»

\_\_\_\_\_ Ярына В.П.

«    » \_\_\_\_\_ 2000 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ООО «ЛСРМ»

\_\_\_\_\_ Даниленко В.Н.

«    » \_\_\_\_\_ 2000 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Зам. директора по науке  
НПЦ «Аспект»

\_\_\_\_\_ Иванов А.И.

«    » \_\_\_\_\_ 2000 г.

## **Мощность дозы.**

### **Методика расчета из спектра гамма-излучения.**

**Менделеево-Дубна**

**2000 г.**



141570, п/о Менделеево М.О. ГП «ВНИИФТРИ» ООО «ЛСРМ»  
т./факс (095) 536-94-29 E-mail lsrm@ftri.extech.msk.su

## Содержание

<b>1</b>	<b>НАЗНАЧЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>НОРМЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ....</b>	<b>3</b>
3.1	ГАММА-СПЕКТРОМЕТР –ГАММА-1СNB1, МКС-А02 .....	3
3.2	ОБРАЗЦОВЫЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ГАММА-ИСТОЧНИКИ (ОСГИ).....	3
3.3	ЭТАЛОННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА.....	3
3.4	ИСТОЧНИК ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ (ОН ЖЕ КОНТРОЛЬНЫЙ).....	3
<b>4</b>	<b>МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ. ....</b>	<b>3</b>
4.1	РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ. ....	3
4.2	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДОЗЫ.....	4
4.3	ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА.....	4
<b>5</b>	<b>ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ. ....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ.....</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ.....</b>	<b>5</b>
7.1	ГРАДУИРОВКА СПЕКТРОМЕТРА ПО ЭНЕРГИИ. ....	5
7.2	ИЗМЕРЕНИЕ ФОНА СПЕКТРОМЕТРА. ....	6
7.3	ПОСТРОЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ .....	6
7.4	ГРАДУИРОВКА ПО МЭД.....	6
7.5	КОНТРОЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ.....	6
<b>8</b>	<b>ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ МЭД.....</b>	<b>7</b>
8.1	ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ .....	7
<b>9</b>	<b>РАСЧЕТ МЭД И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА. ....</b>	<b>7</b>
<b>10</b>	<b>КОНТРОЛЬ ПОГРЕШНОСТИ МВИ.....</b>	<b>7</b>
<b>11</b>	<b>ДОКУМЕНТАЦИЯ: .....</b>	<b>8</b>
11.1	«LSRM» ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ. ....	8
11.2	ПРОЕКТ ГОСТА «УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЙ ЭТАЛОННЫЕ. МЕТОДИКА ПОВЕРКИ» .....	8
<b>12</b>	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ:.....</b>	<b>8</b>
12.1	ПРИМЕР ВЫБОРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИНТЕРВАЛОВ И ОКОН .....	8
12.2	ЗАВИСИМОСТИ МАССОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ В ВОЗДУХЕ И КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕХОДА ОТ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ К ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЕ ОТ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ .....	8
	$\sqrt{P}$ И КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕХОДА $F_k(10)$ ДЛЯ ВЫБРАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИНТЕРВАЛОВ.....	9
12.4	ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ МЭД ОТ ИСТОЧНИКОВ С РАЗЛИЧНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ. ....	9
<b>13</b>	<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ.....</b>	<b>10</b>



## 1 Назначение

Методика предназначена для измерения мощности экспозиционной и эквивалентной амбиентной доз гамма-излучения в диапазоне энергий 50-3000 кэВ с помощью полупроводниковых и сцинтилляционных гамма-спектрометров от 0.05 до 500 мкЗв/час .

## 2 Нормы погрешности измерений.

Методика обеспечивает выполнение измерений МЭД с основной относительной погрешностью не более 20 %..

## 3 Средства измерений.

При выполнении измерений применяют следующие средства измерений:

### 3.1 Гамма-спектрометр –Гамма-1СНВ1, МКС-А02

или аналогичный, имеющие метрологические параметры не хуже следующих:

- а) Энергетическое разрешение по линии 661 кэВ не более 10%
  - б) Интегральная нелинейность не более 1%
  - в) Временная нестабильность не более 1%
  - г) Максимальная частотная нагрузка не менее 50 000 имп./ сек.
  - д) Чувствительность по <sup>137</sup>Cs не менее 0.01 (имп. / сек) / Бк
- Спектрометр должен иметь встроенный или внешний компьютер.

### 3.2 Образцовые спектрометрические гамма-источники (ОСГИ).

Комплект источников на основе гамма-излучающих радионуклидов, аттестованных по активности с погрешностью не превышающей 3 %, следующего состава:

<sup>241</sup>Am, <sup>57</sup>Co, <sup>139</sup>Ce, <sup>113</sup>Sn, <sup>137</sup>Cs, <sup>54</sup>Mn, <sup>65</sup>Zn, <sup>60</sup>Co, <sup>22</sup>Na, <sup>88</sup>Y, <sup>152</sup>Eu, <sup>133</sup>Ba, <sup>228</sup>Th ( <sup>232</sup>Th ).

Эти источники необходимы лишь при первичной градуировке для построения энергетической матрицы чувствительности и не требуются в процессе эксплуатации.

### 3.3 Эталонная поверочная дозиметрическая установка.

необходима для установления эмпирической константы D 1.

### 3.4 Источник для энергетической калибровки (он же контрольный)

– источник на основе <sup>232</sup>Th (<sup>228</sup>Th) с активностью 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> Бк.

## 4 Метод измерений.

Сущность метода состоит в получении истинного спектра гамма-излучения в месте расположения детектора из его аппаратурного спектра с последующим пересчетом его в мощность дозы. Определение энергетического спектра производится известным способом с использованием матрицы чувствительности спектрометра.

### 4.1 Расчет энергетического спектра гамма-излучения.

Весь энергетический диапазон истинного спектра разбивается на m интервалов . Точно также аппаратурный спектр разбивается на n энергетических интервалов, которые мы будем называть для различия окнами.



Будем представлять счет  $S_i$  в  $i$ -ом окне в виде :

$$S_i = \sum_{k=1}^m T_{i,k} G_k \quad (4.1.1)$$

$G_k$  - число гамма-квантов истинного спектра в  $k$ -ом энергетическом интервале;  
 $T_{i,k}$  - энергетическая матрица чувствительности.

Если матрица чувствительности известна, то измерив счета  $S_i$  во всех энергетических окнах, можно решить систему относительно  $G_k$ , например с помощью МНК:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(S_i - \sum T_{i,k} G_k)^2}{(\Delta S_i)^2} = \min \quad (4.1.2)$$

Условия минимума  $\chi^2$  - функционала приводит к системе линейных уравнений относительно  $G_k$ . Значения  $(\Delta S_i)^2$  принимаются равными  $S_i$ .

Решив систему уравнений, определяют значения  $G_k$ , а также ее случайную составляющую погрешности  $\Delta G_k$ .

#### 4.2 Определение мощности дозы

Значение мощности экспозиционной дозы (МЭД) рассчитывается по формуле :

$$\dot{X} = \sum_{k=1}^m \dot{X}_k$$

где  $\dot{X}_k$  - вклад в МЭД от гамма-излучения в  $k$ -ом энергетическом интервале:

$$\dot{X}_k = D \cdot G_k \cdot E_k \cdot \mu_{en}(E_k) / \rho$$

$$E_k = (E_k^1 + E_k^2) / 2,$$

$E_k^1, E_k^2$  - границы  $k$ -го энергетического интервала,

$\mu_{en}(E) / \rho$  - массовый коэффициент истинного поглощения в воздухе см.12.2 12.3;

$D$  - эмпирическая константа, определяемая при поверке по дозе.

Переход к мощности AMBIENTНОЙ эквивалентной дозы  $\dot{H}^*$  (10) осуществляется по формуле:

$$\dot{H}^* (10) = \sum_{k=1}^m \dot{X}_k \cdot f_k(10)$$

$f_k(10)$  – средний коэффициент перехода для  $k$ -ого энергетического интервала, см.12.3.

#### 4.3 Оценка погрешности метода.

Систематическая составляющая погрешности МЭД определяются несколькими факторами:

- дискретным характером матрицы чувствительности -  $\delta_{дис}$ ,
- погрешностью коэффициентов матрицы -  $\delta_{MAT}$ ,
- искажением спектра, в частности, просчетами импульсов при больших нагрузках (значениях дозы) -  $\delta_{ЗАГ}$ ,
- погрешностью эталонного средства, используемого при поверке, -  $\delta_D$ .

Основная систематическая погрешность связана с дискретизацией энергетических интервалов.



Корректно теоретически оценить эту погрешность нам не представляется возможным. В связи с этим мы провели экспериментальное определение систематической составляющей погрешности. Для этого были измерены спектры источников, аттестованных по активности с различным энергетическим распределением. По результатам сравнения значений дозы, рассчитанной по настоящей методике, со значениями, рассчитанными из активности (см. протокол измерений 12.4), была оценена составляющая этой погрешности. Ее значение не превышает 12%. В эту величину входит также погрешность коэффициентов матрицы -  $\delta_{\text{МАТ}}$ .

Погрешность  $\delta_{\text{ЗАГ}}$  оценивалась из сравнения показаний прибора на границах диапазона мощности дозы и составляет величину менее 10%.

Значение случайной составляющей погрешности мощности дозы  $\delta_{\text{СЛ}}$  определяется погрешностью расчета спектра гамма-излучения  $\Delta G_k$ , которая рассчитывается известным способом при минимизации функционала (4.1.2). Тогда

$$\delta_{\text{СЛ}} \dot{X} = \sqrt{\sum_k (D \cdot \Delta G_k \cdot E_k \cdot \mu_{\text{en}}(E_k) / \rho)^2} / \dot{X}$$

Величина  $\delta_{\text{СЛ}} \dot{X}$  зависит от мощности дозы и времени измерения. На фоновых уровнях дозы за время 5 сек. эта погрешность не превышает 10%.

При оценке погрешности мощности эквивалентной дозы добавляется еще одна составляющая, связанная с неопределенностью спектра внутри одного энергетического интервала и использованием усредненных внутри интервала коэффициентов перехода  $f_k(10)$ . Как видно из таблиц эта погрешность наиболее значительна для окна 50-70 кэВ, где она не превышает 5%. Полное значение погрешности конкретного прибора определяются при поверке прибора в соответствие с методикой поверки в эталонных полях различной мощности и энергетического распределения.

## **5 Требования к квалификации оператора и технике безопасности.**

К выполнению измерений и обработке их результатов допускают лиц, знающих инструкцию по проведению измерений.

При проведении измерений необходимо соблюдать "Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-99", а также требования безопасности, изложенные в эксплуатационной документации на приборы, входящие в состав спектрометров.

## **6 Условия измерения.**

При выполнении измерений соблюдают условия, изложенные в паспорте на конкретный спектрометр.

## **7 Подготовка к выполнению измерений.**

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы в указанной последовательности:

### **7.1 Градуировка спектрометра по энергии.**

Первичная градуировка спектрометра производится при пуско-наладке приборов. При эксплуатации необходима лишь коррекция градуировочной характеристики (см. ниже 8.1). Повторная градуировка спектрометра проводится лишь в том случае, когда процедура коррекции не может быть проведена из-за сильного изменения коэффициента усиления, что может происходить, в частности, при больших(несколько недель) перерывах в эксплуатации приборов.

Устанавливают калибровочный источник см. п.3.4 и производят набор спектра в течение 10мин.

Отмечают положения калибровочных пиков и устанавливают для них правильные значения энергий.



Аппроксимируют зависимость энергии от положения калибровочных пиков полиномом и сохраняют эту зависимость. Инструкция оператору и периодичность градуировки приведены в описании на конкретный спектрометр.

## **7.2 Измерение фона спектрометра.**

Измерение фонового спектра необходимо для градуировки спектрометра по чувствительности. Поэтому он должен быть измерен в тех же условиях, в которых будут измеряться градуировочные источники. Если есть возможность измерить градуировочные источники в защите, то фон должен быть измерен также в защите.

Измерение фона, т.е. спектра в отсутствии источников, проводят за время не менее 2 часов. Фоновый спектр и соответствующие ему градуировочные коэффициенты, а также время измерения сохраняются и в конфигурации устанавливаются соответствующие пути к файлам фона для учета его при измерениях спектров градуировочных источников. Подробнее см.[11.1]

## **7.3 Построение энергетической матрицы чувствительности**

Для получения матрицы чувствительности необходимо измерить спектры источников с различным энергетическим распределением в заданных энергетических интервалах. Пример энергетических интервалов и окон приведены в (см.

Приложение). Источники должны быть аттестованы по активности. Измерения проводятся на одном расстоянии до эффективного центра детектора. В качестве таких источников используются источники ОСГИ(см.3.2)

В каждом спектре от  $L$ -го источников рассчитывается  $S_i^L$  - счет в  $i$ -ом окне. При этом должен быть учтен фон спектрометра.

Энергетическое распределение для  $L$ -го источника рассчитывается по формуле:

$$G_k^L = \sum_j A_j^L \cdot \left( \sum_{E_k^1 < E_i < E_k^2} I_{ji} \right), \quad (7.3.1)$$

т.е. суммируется гамма-излучение внутри данного энергетического интервала.

Здесь:  $A_j^L$  - паспортное значение  $j$ -го радионуклида в  $L$ -ом источнике,

$I_{ji}$  - интенсивность линии с энергией  $E_i$   $j$ -го радионуклида.

Для каждого  $i$ -го окна мы получаем  $r$  уравнений ( по числу источников):

$$\begin{aligned} S_i^1 &= \sum T_{i,k} \cdot G_k^1 \\ S_i^2 &= \sum T_{i,k} \cdot G_k^2 \\ &\dots\dots\dots \\ S_i^r &= \sum T_{i,k} \cdot G_k^r \end{aligned} \quad (7.3.2)$$

Решая эту систему по МНК относительно  $T_{ik}$ , мы получим  $j$ -ю строку

матрицы чувствительности:  $T_{i,1}, T_{i,2} \dots\dots T_{i,m}$ .

Последовательно выполняя эту процедуру для всех окон, мы получили всю матрицу чувствительности.

## **7.4 Градуировка по МЭД.**

Градуировка по МЭД осуществляется на эталоне для воспроизведения единицы МЭД. Целью этой процедуры является установление константы  $D_1$ . В точке с известной мощностью дозы измеряется спектр гамма-излучения и рассчитывается значение дозы в соответствии с формулами раздела 4. Константа  $D$  находится из условия равенства рассчитанного и фактического значения дозы.

## **7.5 Контрольное измерение**

По завершению градуировочных измерений проводят измерение мощности дозы в отсутствии источников гамма-излучения  $D_{фон}$  за время 10 минут.

Помещают контрольный источник 3.4 вплотную к детектору по центру и также в течение 10 минут



проводят измерение мощности дозы  $D_{\text{фон+ки}}$ . Величину

$$D_{\text{ки}}^0 = D_{\text{фон+ки}} - D_{\text{фон}}$$

фиксируют в свидетельстве о поверке и используют при периодических контрольных измерениях.

## 8 Выполнение измерений МЭД.

Операции, проводимые при выполнении измерений, устанавливаются инструкцией для оператора на конкретный спектрометр.

При использовании в составе спектрометра программного обеспечения «*LSRM*» индикация значения мощности дозы на панели анализатора включается установлением специального флага «Доза» и спектрометр находится в режиме измерения дозы постоянно.

Спектрометры на базе анализаторов типа *АИ-8К/НВ*, оснащенные встроенным компьютером, имеют прошивку, обеспечивающую расчет дозы и режим измерения МЭД устанавливается выбором соответствующего пункта меню на панели прибора.

### 8.1 Периодические градуировочные измерения

Периодические градуировочные измерения проводятся с целью коррекции ГХЭ (градуировочной характеристики по энергии) и по сути не отличаются от первичной градуировки см. п.7.1. В программном обеспечении «*LSRM*» предусмотрена автоматическая процедура коррекции ГХЭ, если была проведена первичная градуировка.

Градуировочные измерения проводятся каждый раз после включения прибора и установления рабочего режима, а также, когда возникают сомнения в результатах измерений.

## 9 Расчет МЭД и оценка погрешности результата.

Формулы для расчета МЭД приведены в разделе 4 и реализованы в программном обеспечении «*LSRM*».

Полная относительная погрешность результата измерения МЭД рассчитывается по формуле

$$\delta D = \delta_{\text{сис}} D + \delta_{\text{сл}} D.$$

Систематическая составляющая погрешности  $\delta_{\text{сис}} D$  устанавливается при экспертизе методики путем сравнения результатов измерения со значениями мощности дозы, воспроизводимой эталонной установкой. Измерения МЭД должны быть проведены в начале, середине и конце энергетического диапазона, и в начале и конце диапазона измерения МЭД. При этом время измерения выбирается достаточно большим, чтобы случайная составляющая погрешности не сказывалась на результатах измерений. Максимальное относительное отклонение результатов измерения от показаний эталонной установки с учетом погрешности воспроизведения единицы МЭД.

Случайная составляющая погрешности  $\delta_{\text{сл}} D$  зависит от времени измерения и интенсивности и спектрального состава измеряемого излучения. Она рассчитывается по формуле (4.4) раздела 4.

## 10 Контроль погрешности МВИ.

Первичный контроль погрешности МВИ проводится в соответствии с разделом 9.

Периодический контроль погрешности производится с использованием контрольного источника и значения МЭД, полученного при поверке спектрометра, аналогично п. 7.5. Измеренное значение дозы  $D_{\text{ки}}$  не должно отличаться от  $D_{\text{ки}}^0$  более, чем на 5%.

Рекомендуется проводить контрольные измерения после коррекции ГХЭ (см. 8.1).





## 11 Документация:

**11.1 «LSRM» Программное обеспечение  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -спектрометрических измерений. Руководство пользователя.**

**11.2 Проект ГОСТа «Установки поверочные дозиметрические рентгеновского и гамма излучений эталонные. Методика поверки»**

## 12 Приложения:

**12.1 Пример выбора энергетических интервалов и окон**

Границы энергетических интервалов:

**40,70,100,140,180,250,420,600,750,950,1400,2000,3000.**

Границы энергетических окон:

**40,70,100,140,180,250,300,420,600,700,800,920,1050,1400,1800,2200,3000.**

Построение такой матрицы обеспечивается следующим источниками

из набора ОСГИ :

<sup>241</sup>Am, <sup>57</sup>Co, <sup>139</sup>Ce, <sup>113</sup>Sn, <sup>137</sup>Cs, <sup>54</sup>Mn, <sup>65</sup>Zn, <sup>60</sup>Co, <sup>22</sup>Na, <sup>88</sup>Y, <sup>152</sup>Eu,  
<sup>133</sup>Ba, <sup>228</sup>Th ( <sup>232</sup>Th ).

**12.2 Зависимости массового коэффициента поглощения в воздухе и коэффициента перехода от экспозиционной дозы к эквивалентной дозе от энергии фотонов**

Взяты из 11.2

Энергия фотонов, МэВ	Массовый коэффициент поглощения в воздухе ( $\rho=1,205 \text{ кг/м}^3$ ) $\mu_{\text{en}}/\rho, \text{ м}^2/\text{кг}$	Коэффициент перехода от экспозиционной дозы к эквивалентной дозе Зв/Р H(10) $f(10) = \frac{\quad}{X} \cdot 10^2$
0,040	0,006694	1,29
0,050	0,004031	1,46
0,060	0,003004	1,52
0,080	0,002393	1,51
0,100	0,002318	1,44
0,150	0,002494	1,31
0,200	0,002672	1,22
0,300	0,002872	1,15
0,400	0,002949	1,10
0,500	0,002966	1,07
0,600	0,002953	1,04
0,800	0,002882	1,02
1,000	0,002787	1,01
1,500	0,002545	0,99
2,000	0,002342	0,99
3,000	0,002054	0,98





**12.3  $\mu_{en}/\rho$  и коэффициент перехода  $f_k(10)$  для выбранных энергетических интервалов.**

Энергетические интервалы, КэВ	$\mu_{en}/\rho$ , м <sup>2</sup> /кг	Коэффициент перехода $f_k(10)$
50-70	0.00300	1,495
70-100	0.00240	1,485
100-140	0.00240	1,39
140-180	0.00255	1,30
180-250	0.00270	1,21
250-300	0.00280	1,165
300--420	0.00290	1,13
420-600	0.00296	1,07
600-700	0.00293	1,035
700-800	0.00290	1,025
800-920	0.00285	1,015
920-1050	0.00280	1,01
1050-1400	0.00260	1,00
1400-1800	0.00245	0,99
1800-2200	0.00230	0,99
2200-3000	0.00220	0,98

**12.4 Протокол измерений МЭД от источников с различным энергетическим распределением.**

Нуклид	A, кБк	K $\gamma$	R,см	МЭД, Р расчетная	МЭД, Р измеренная	Отклонение, %
Na-22	90.7	11.73	33.8	25.2	25.6	1.6
Eu-152	300	6.0	44	26.8	30	11.9
Mn-54	151	4.60	33.8	16.4	18.0	9.8
Co-57	159	0.559	32.3	2.30	2.19	- 4.8
Co-60	97.3	12.8	34.3	28.6	30.	4.9
Zn-65	136	3.04	34.1	9.6	8.8	- 8.3
Y-88	88	13.1	34.5	26.1	27	3.4
Sn-113	94	1.47	33.2	3.4	3.3	- 2.9
Ba-133	112	2.01	33.0	5.6	5.0	- 10.7
Cs-137	105	3.18	33.5	8.0	8.6	7.5
Ce-139	102	0.652	32.5	1.7	1.8	5.9
Am-241	104	0.126	31.9	0.35	0.39	11.4



### 13 Информационные данные.

Разработана ООО «ЛСРМ» и НПЦ «Аспект».

Разработчики:

От ООО «ЛСРМ»

В.Даниленко - директор , к.ф.-м.н.

С.Федоровский - зам. директора

От НПЦ « АСПЕКТ»

А.Иванов - зам. директора по науке, к.ф.-м.н.

В.Савин – начальник бюро

А.Савушкин – руководитель группы

