

Результаты измерений

Таблица 2

Мишень	Настоящая работа		Данные [5]	
	$\sigma_f$ , б	$I_f$ , б	$\sigma_f$ , б	$I_f$ , б
<sup>239</sup> Pu	716±40	328±22	742,5±3,0	301±10
<sup>241</sup> Am	3,20±0,15	27,7±1,6	3,15±0,1	21±2
<sup>242m</sup> Am	6080±500	2260±200	6600±300	1570±110
<sup>243</sup> Am	0	9±1	< 0,072	1,5 [9]
<sup>244</sup> Cm	1,0±0,2	13,4±1,5	1,2±0,1	12,5±2,5
<sup>245</sup> Cm	2070±150	805±80	2020±40	750±150
<sup>246</sup> Cm	0,14±0,05	13,3±1,5	0,17±0,10	10,0±0,4
<sup>247</sup> Cm	80±7	730±70	90±10	880±100
<sup>248</sup> Cm	0,39±0,07	13,1±1,5	0,34±0,07	13,2±0,8
<sup>249</sup> Cf	1715±80	2200±100	1660±50	2114±70

двумя методами совпадают в пределах 2%. Число ядер в кюриевых мишенях определялось по числу спонтанных делений <sup>244</sup>Cm, <sup>246</sup>Cm и <sup>248</sup>Cm. Число ядер <sup>249</sup>Cf определялось по  $\alpha$ -счету счетчиком с малым телесным углом. Точность в определении числа ядер в мишенях 2,5%. Изотопный состав мишеней U, Pu, Am и Cf приведен в табл. 1; кюриевые мишени имели тот же изотопный состав, что и в работе [6]. Осколки деления регистрировались двойной камерой деления. Мишени из исследуемого изотопа и эталона (<sup>235</sup>U) складывались вплотную обратными сторонами и устанавливались в камере деления, которая юстировалась на пучке нейтронов.

В настоящей работе уделялось внимание различным экспериментальным погрешностям. Фон рассеянных нейтронов в помещении и на конструктивных деталях камеры был ничтожно мал. Депрессия потока нейтронов не была обнаружена. В результаты измерений внесли следующие поправки: 1) учитывалось обратное рассеяние  $\alpha$ -частиц при определении числа ядер методом  $\alpha$ -счета; 2) учитывался изотопный состав образцов; 3) температура нейтронов максвелловского спектра реактора оценивалась по рекомендации работы [4]; 4) величина  $g(T)$ , учитывающая отклонение сечения деления от зависимости  $1/v$  для урана и плутония, бралась из работы [7], для <sup>241</sup>Am и <sup>242</sup>Am определялась из энергетической зависимости хода сечения деления в тепловой области энергий нейтронов [3, 8], а для изотопов кюрия и <sup>249</sup>Cf принималась равной единице;

5) кадмиевая поправка определялась экспериментально экранированием мишеней кадмием толщиной 0,5 и 1,0 мм, на основании этих измерений была принята за единицу. Окончательная ошибка измерений определяется ошибкой определения числа ядер, а также статистической ошибкой измерения разности числа делений тепловыми и резонансными нейтронами для  $\sigma_f$ , разности числа делений резонансными нейтронами и числа спонтанных делений для  $\sigma_f$  (табл. 2). При измерении резонансных интегралов деления граничная энергия определена в 0,52 эВ [1]. Для сравнения приводятся рекомендованные данные [3], а для резонансного интеграла деления <sup>243</sup>Am приведена расчетная оценка из работы [9]. Хорошее согласие полученных и рекомендованных сечений <sup>239</sup>Pu свидетельствует о надежности настоящих измерений.

В заключение авторы выражают благодарность Ю. С. Замятину и В. Н. Нефедову за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения, В. Н. Польшову — за представление образцов кюрия, В. Г. Польшову — за проведение  $\alpha$ -спектральных анализов.

Поступило в Редакцию 22/I 1975 г.  
В окончательной редакции 28/IV 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика. М., Атомиздат, 1968, с. 273.
2. Бак М. А. и др. «Атомная энергия», 1970, т. 28, вып. 4, с. 359.
3. Neutron Cross Sections, BNL-325, 3 Ed., 1973.
4. Цыканов В. А. и др. «Атомная энергия», 1967, т. 22 вып. 5, с. 411.
5. Беланова Т. С. и др. Препринт НИИАР, П-156. Димитровград, 1972.
6. Фомушкин Э. Ф. и др. «Ядерная физика», 1973, т. 17, вып. 1, с. 24.
7. Эгельстафф П. Э. В б.: Справочник по ядерной физике. М., Физматгиз, 1963, с. 268.
8. Bowman C. e. a. «Phys. Rev.», 1968, v. 166, p. 1219.
9. Prince A. «Trans. Amer. Nucl. Soc.», 1967, v. 10, p. 228.

УДК[543.53:681.142.4

## Инструментальный нейтронно-активационный анализ геологических и биологических объектов с использованием ЭВМ

ЗЛОЦАЗОВ В. Б., КУЛЬКИНА Л. П., МАСЛОВ О. Д.

Расшифровка спектров  $\gamma$ -излучения — наиболее трудоемкая задача в активационном анализе сложных многокомпонентных объектов. Полное извлечение информации из них невозможно без применения ЭВМ.

В настоящей работе приведен принцип организации программы для ЭВМ, применяемой для обработки спек-

тров  $\gamma$ -излучения, полученных с помощью любого амплитудного анализатора, легко управляемой и позволяющей проводить корректировку программы. Поиск  $\gamma$ -линий, не размеченных предварительно, осуществляется с помощью библиотеки изотопов.

Программа обрабатывалась для инструментального

Результаты инструментального нейтронно-активационного анализа образцов мумиё и лишайника

Элемент	Радиоизотоп	Содержание, %	
		мумиё	лишайник
Натрий	<sup>24</sup> Na	1,0	5,2·10 <sup>-3</sup>
Скандий	<sup>46</sup> Sc	5,6·10 <sup>-6</sup>	2,0·10 <sup>-6</sup>
Кальций	<sup>47</sup> Ca	2,3	—
Хром	<sup>51</sup> Cr	6,0·10 <sup>-4</sup>	2,4·10 <sup>-5</sup>
Железо	<sup>59</sup> Fe	0,14	5,0·10 <sup>-3</sup>
Кобальт	<sup>60</sup> Co	1,3·10 <sup>-3</sup>	1,7·10 <sup>-6</sup>
Медь	<sup>64</sup> Cu	6,5·10 <sup>-4</sup>	—
Цинк	<sup>65</sup> Zn	3,7·10 <sup>-3</sup>	9,0·10 <sup>-4</sup>
Селен	<sup>75</sup> Se	5,3·10 <sup>-5</sup>	< 10 <sup>-5</sup>
Мышьяк	<sup>76</sup> As	—	< 10 <sup>-5</sup>
Бром	<sup>82</sup> Br	2,1·10 <sup>-3</sup>	6,0·10 <sup>-5</sup>
Стронций	<sup>85</sup> Sr	0,1	—
Рубидий	<sup>86</sup> Rb	1,0·10 <sup>-3</sup>	7,4·10 <sup>-5</sup>
Молибден	<sup>99</sup> Mo	1,3·10 <sup>-3</sup>	—
Серебро	<sup>110</sup> Ag	3,9·10 <sup>-4</sup>	< 10 <sup>-7</sup>
Кадмий	<sup>115</sup> Cd	2,5·10 <sup>-3</sup>	—
Олово	<sup>125</sup> Sn	0,96	—
Сурьма	<sup>122</sup> Sb, <sup>124</sup> Sb	1,3·10 <sup>-2</sup>	1,3·10 <sup>-5</sup>
Цезий	<sup>134</sup> Cs	1,7·10 <sup>-5</sup>	7,0·10 <sup>-6</sup>
Лантан	<sup>140</sup> La	—	2,2·10 <sup>-5</sup>
Церий	<sup>141</sup> Ce	—	8,5·10 <sup>-6</sup>
Европий	<sup>152</sup> Eu	1,2·10 <sup>-6</sup>	1,5·10 <sup>-7</sup>
Иттербий	<sup>169</sup> Yb	—	< 5,4·10 <sup>-7</sup>
Гафний	<sup>181</sup> Hf	1,6·10 <sup>-6</sup>	4,0·10 <sup>-6</sup>
Золото	<sup>198</sup> Au	1,4·10 <sup>-5</sup>	< 10 <sup>-7</sup>
Ртуть	<sup>203</sup> Hg	6,4·10 <sup>-5</sup>	< 5·10 <sup>-6</sup>

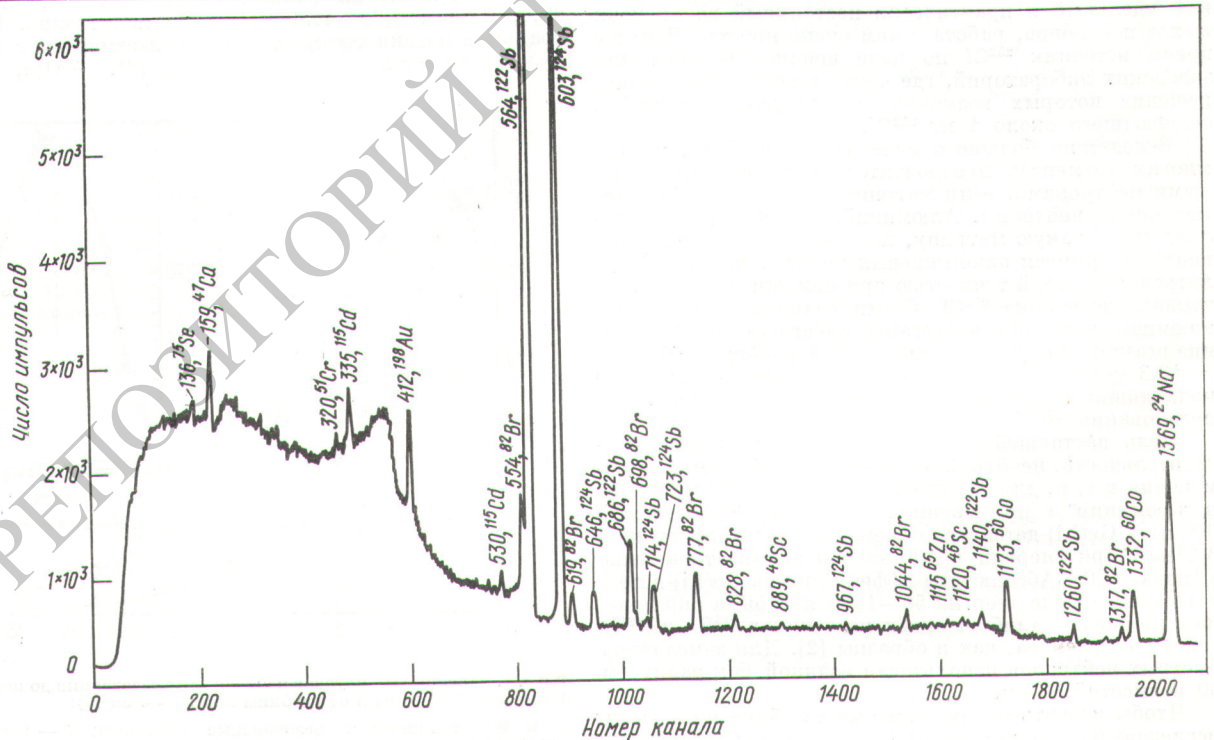
нейтронно-активационного анализа при одновременном определении нескольких элементов в образцах различного происхождения (геологических, биологических).

Для анализа отбирались пробы мумиё и лишайников (см. таблицу). Образцы проб весом 0,155 и 0,63 г. соответственно помещались в алюминиевые кассеты. Облучение проводилось на реакторе, поток тепловых нейтронов 5·10<sup>06</sup> нейтр./см<sup>2</sup>.

Гамма-спектры облученных образцов, выдержанных в течение 2—40 сут, измерялись Ge(Li)-детектором объемом 35 см<sup>3</sup> при разрешении 3,0 кэВ по  $\gamma$ -линии <sup>137</sup>Cs с E = 0,662 МэВ на амплитудном анализаторе АИ-4096 и мини-ЭВМ ТРА-1001 с выводом информации на перфоленду. ТРА-1001 позволяет проводить предварительную разметку и простую обработку  $\gamma$ -спектров с помощью программы ЮПИТЕР-16К [1]. Окончательно спектр обрабатывался на ЭВМ «Минск-32» по разработанной нами методике. На рисунке представлен  $\gamma$ -спектр мумиё, графическое исполнение которого проводилось на графопроекторе с перфоленды, полученной на ЭВМ.

Обработка на ЭВМ «Минск-32» проводилась с помощью СПОРС (спектроориентированная система) [2]. Основа СПОРС — библиотека программ, а именно специальный программный комплекс на любом из входных языков ЭВМ «Минск-32», состоящий из стандартных программ. Структура библиотеки — модульная. Класс алгоритмов обработки разбит на простые части, каждая реализуется отдельной программой. Замена любого звена выполняется простым удалением или добавлением соответствующей программы.

Гамма-спектры, полученные с помощью любого амплитудного анализатора импульсов, выводятся на перфоленду либо по каналу связи поступают в память ЭВМ. Каждый  $\gamma$ -спектр представляется набором числовых данных, трактуемым как выборочная траектория



Гамма-спектр мумиё, полученный после 9 сут охлаждения

некоторого случайного некоррелированного гауссова процесса. Сглаживание  $\gamma$ -спектра проводится методом наименьших квадратов. Обработка  $\gamma$ -спектров включает три этапа: исправление спектра с учетом особенностей спектрометрического тракта (мертвое время кодирования, эффективность детектора); математическая обработка (нахождение центра тяжести пика и его площади); идентификация фотопиков и расчет содержания элементов по формуле с использованием библиотеки изотопов.

Для получения зависимостей разрешения от энергии и энергии от канала используется калибровочный спектр  $^{266}\text{Ra}$ . Калибровочная кривая в обоих случаях берется в виде полинома первой или второй степени.

Библиотека изотопов, состоящая из двух разделов (массив описаний изотопов, массив описаний энергий и их квантовых выходов для каждого изотопа), используется для поиска в спектре всех  $\gamma$ -линий отдельных изотопов, что позволяет судить о наложениях. При наложении  $\gamma$ -линий предусматривается их математиче-

ское разделение из-за дополнительных условий, вводимых в задание на обработку данного участка спектра.

По окончании обработки спектра на печать выдаются символы идентифицированных изотопов, энергии фотопиков, по которым эти изотопы идентифицированы, содержание (в г/г) соответствующих элементов в образце и точность определения содержания.

В заключение авторы благодарят Г. Н. Флерова и В. С. Барашенкова за постоянный интерес к работе и поддержку, В. Я. Ворошаева — за обсуждение результатов, Б. В. Фефилова и Л. П. Челнокова — за обеспечение четкой работы спектрометрической аппаратуры и ЭВМ.

Поступило в Редакцию 5/II 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляева Л. М. и др. Сообщение ОИЯИ 10-7837, Дубна, 1974.
2. Злоказов В. Б. Сообщение ОИЯИ 10-7130, Дубна, 1973.

УДК 543.53

Определение марганца в алюминии методом нейтронной активации с помощью источника  $^{252}\text{Cf}$

САЙЛЕР К., ДАРОЦИ Ш., НАЛЬ Ш., РАЙЧ П., ЧИКАИ Й., ГЕРГЕЙ Л.  
(Университет им. Л. Кошута, Дебрецен, Венгрия)

В последние годы возрастает применение источника нейтронов спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$  в инструментальном активационном анализе. Этот источник имеет высокий удельный и практически постоянный во времени выход нейтронов, работа с ним очень проста. В то же время источник  $^{252}\text{Cf}$  по цене вполне доступен для заводских лабораторий, где часто встречаются задачи, решение которых возможно с помощью источника, содержащего около 1 мг  $^{252}\text{Cf}$ .

Вследствие большого сечения реакций  $(n, \gamma)$  для многих элементов предпочтительна активация тепловыми нейтронами, если матрица не сильно поглощает медленные нейтроны. Алюминий, например, представляет собой такую матрицу, поэтому некоторые компоненты и примеси алюминиевых сплавов могут определяться с большой точностью при помощи простого изотопного источника  $^{252}\text{Cf}$ . Среди главных компонентов алюминиевых сплавов марганец имеет наибольшее сечение реакции  $(n, \gamma)$  для тепловых нейтронов:  $\sigma_{\gamma}(^{55}\text{Mn}) = 13,3 \pm 0,2 \text{ б}$  [4]. Поэтому марганец — наиболее подходящий элемент для проверки возможности использования  $^{252}\text{Cf}$ .

Цель настоящей работы — оценить точность, чувствительность, необходимое время для облучения и измерения и т. п. для количественного анализа марганца в алюминии с применением источника  $^{252}\text{Cf}$  массой 660 мкг, Ge(Li)-детектора объемом 40 см<sup>3</sup> (разрешением 3,2 кэВ при энергии 661,6 кэВ) и анализатора типа «Дидак-4000». Абсолютная эффективность Ge(Li)-детектора в интервале энергий 50—1400 кэВ была определена с помощью калиброванных источников  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{182}\text{Ta}$  такого же размера, как и образцы [2]. Для замедления быстрых нейтронов использован водяной бак радиусом 60 и высотой 80 см.

Чтобы избрать оптимальное место облучения, были исследованы потоки тепловых, резонансных и быстрых

нейтронов в зависимости от расстояния  $r$  и глубины  $Z$  от источника (рис. 1). Потоки тепловых и резонансных нейтронов измерены фольгами Rh, Au и In толщиной 63,0; 40,85 и 0,30—4,71 мг/см<sup>2</sup> соответственно. Интегральные потоки быстрых нейтронов измерены с помощью пороговых реакций  $^{115}\text{In}(n, n')$ ,  $^{27}\text{Al}(n, p)$  и

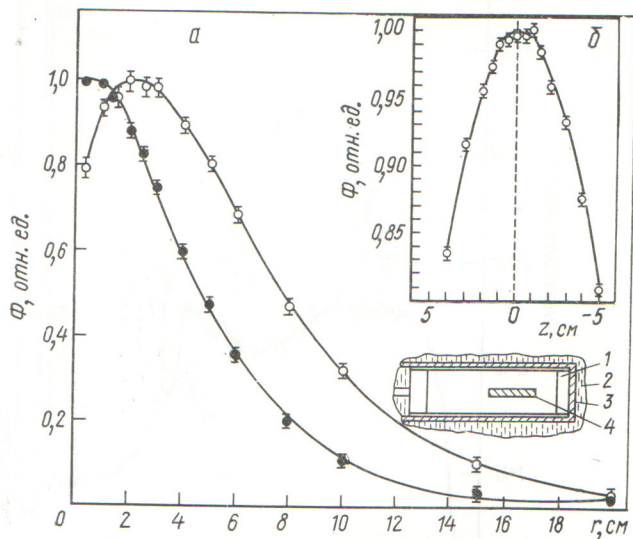


Рис. 1. Зависимость потоков нейтронов от расстояния до поверхности при  $Z = 0$  (а) и от глубины при  $r = 5$  см (б):

○ и ● — тепловые и резонансные нейтроны; 1 — коробка источника; 2 — вода; 3 — труба из плексигласа; 4 —  $\text{Cf}_2\text{O}_3$ .