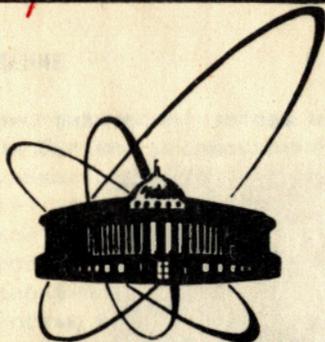


83-138

3004/83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

18-83-138

6/6-83

А.Эрнандес, Ю.С.Замятнин

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЙ
ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ,
ПРОВОДИМЫЙ С ПОМОЩЬЮ МИКРОТРОНА

Направлено в Оргкомитет III Сессии по ядерным
аналитическим методам /Дрезден, ГДР, апрель
1983 года/

1983

ВВЕДЕНИЕ

Ядерно-физические методы инструментального анализа веществ получили большое распространение при изучении химического состава уникальных образцов, которые желательно сохранить для последующих исследований ^{/1/}. Наиболее широко используется в этих целях нейтронно-активационный метод анализа с помощью ядерных реакторов ^{/1-5/}, позволяющий осуществлять одновременное определение содержания значительного числа элементов с большой чувствительностью и при небольших навесках образцов. Однако в этом методе предел определения важных в геохимическом отношении элементов, таких как никель, стронций, цирконий, рубидий, свинец и другие, довольно высок ^{/3-4,6/}. С этой точки зрения представляется перспективным применение гамма-активационного метода анализа с использованием в качестве активирующего тормозного излучения электронов, ускоренных, например, на линейном ускорителе или микротроне ^{/7-11/}. Гамма-активационный анализ часто служит дополнением к нейтронно-активационному анализу и успешно конкурирует с другими методами анализа ^{/8-14/}.

В настоящей работе исследовалась возможность применения микротрона для многоэлементного гамма-активационного анализа /ГАА/ эталонов геологических пород и почв, железистых латеритовых руд, железомарганцевых конкреций, метеоритного вещества и кернов из сверхглубокой скважины /глубина ≥ 7 км/. Проведено исследование различных конкурирующих реакций, которые могут интерферировать с аналитическими реакциями. Результаты этих исследований учтены при проведении анализов.

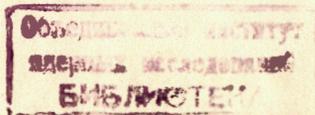
В целях оптимизации ГАА на микротроне МТ-22 ЛЯР ОИЯИ исследовались аксиальное и угловое распределение пучка γ -квантов с целью выбора наиболее рациональной геометрии облучения образцов. Кроме того, исследовалась возможность использования фотонейтронов микротрона для определения содержания Al, V, Mn и Na - элементов, которые образуют удобные для анализа короткоживущие радиоизотопы в (n, γ) - реакциях.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Приготовление образцов и стандартов

Образцы железистых латеритовых руд, железомарганцевых конкреций, кернов и метеоритного вещества и стандарты готовились в виде порошка, железистые метеориты - в виде стружки. Их вес

*сывашка -
адресная -*



карта

составлял 0,8 г /каменные метеориты/, 0,4 г /железные метеориты/ и 5-7 г /остальные образцы/. Вес стандартов был выбран в соответствии с весами активируемых образцов. В качестве эталонов использовались стандартные образцы СТ-1А /трапп/, СМБ /магнезиальный базальт/, СП-3 /почва/ и метеорит Алленде. Пробы упаковывались в цилиндрические кассеты из оргстекла $10 \times 5 \text{ мм}^3$ /метеориты/ и $35 \times 5 \text{ мм}^3$ /остальные образцы/.

Выбор оптимальной геометрии облучения образцов

При гамма-активационном анализе, при облучении проб и стандартов, необходимо учитывать особенности углового и аксиального распределений γ -квантов тормозного излучения. В работе /15/ нами исследована зависимость ширины углового распределения тормозного излучения от порога регистрации квантов тормозного излучения. Показано, что эта ширина растет с уменьшением порога фотонейтронной реакции, используемой для регистрации γ -квантов. На основе полученных угловых распределений установлено, что диаметр образца, равный 35 мм, можно считать близким к оптимальному при проведении гамма-активационного анализа. В работах /11,15/ нами исследован вопрос о выборе высоты проб при одновременном облучении N образцов цилиндрической формы, расположенных вдоль оси пучка γ -квантов /см. рисунок/. В частном случае при $N=1$ и измерении активности изотопа ^{231}Th с энергией $E_\gamma = 84,17 \text{ кэВ}$ на Ge-детекторе оптимальная толщина пробы была равна 20 мм /15/. Если же $N=10$, активность, наведенная в наиболее отдаленном от мишени образце, оказывается оптимальной при толщине образцов, равной 4 мм /11/. Уменьшение величины оптимальной толщины проб с увеличением их числа связано с убыванием интенсивности тормозного излучения с расстоянием.

Аппаратура

При кратковременных облучениях / ~ 10 мин/ проба транспортировалась с помощью пневмопочты /время транспортировки от места облучения ~ 4 с/. При длительных / ~ 4 ч/ одновременно облучались 5-10 проб. Облучение проводилось γ -квантами в микротроне МТ-22 ЛЯР ОИЯИ с энергией ускоренных электронов около 20,5 МэВ при среднем токе 15 мкА по схеме, представленной на рисунке. Поток γ -квантов или нейтронов контролировался с помощью медных и марганцевых мониторов /11/ соответственно.

Для измерения спектров γ -излучения радиоизотопов облученных образцов применялся комплекс из двух полупроводниковых детекторов. Причем спектры в энергетической области 20-200 кэВ измерялись с помощью детектора из чистого германия объемом $2,1 \text{ см}^3$ с разрешением 0,5 кэВ на линии $K_\alpha \text{Bi}$ с энергией 77,1 кэВ, а спектры в области 100-2500 кэВ измерялись Ge(Li)-детектором с чувствительным объемом 28 см^3 и разрешением 3,5 кэВ на γ -линии ^{137}Cs

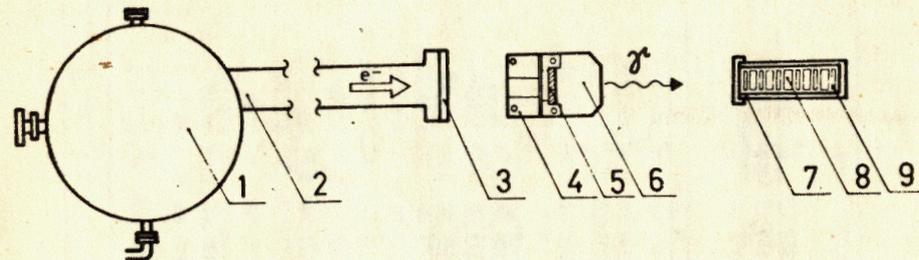


Схема облучения образцов γ -квантами микротрона:
1 - микротрон; 2 - выводной патрубок пучка электронов;
3 - выходное окно /из Al-фольги/; 4 - узел тормозной мишени; 5 - тормозная мишень /из W/; 6 - поглотитель электронов /из Al/; 7 - полиэтиленовый пенал для образцов; 8 - образцы; 9 - монитор потока γ -квантов /из Cu/.

с энергией 662 кэВ. Для регистрации и обработки информации применялся 4096-канальный анализатор LP-4900 фирмы "Nokia".

Нейтронный и гамма-активационный анализ

Содержание Al, V, Mn /по ^{56}Mn / и Na /по ^{24}Na / определялось по активности продуктов радиационного захвата нейтронов после облучения образцов и эталонов тепловыми нейтронами микротрона. Содержание Mn /по ^{54}Mn /, Na /по ^{22}Na / и других элементов /см. табл.1/ определялось по активности радиоизотопов, образованных в фотоядерных реакциях под действием тормозного излучения микротрона.

Учет вклада конкурирующих реакций

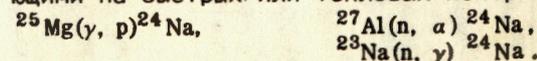
При взаимодействии высокоэнергетических γ -квантов с ядрами мишени протекает большое число ядерных реакций /16-20/, которые приводят к интерференциям различного рода:

1. Конкурирующие ядерные реакции:

а/ фотоядерные



б/ фотоядерные реакции, конкурирующие с реакциями, протекающими на быстрых или тепловых нейтронах



2. Наложение фотопиков различных изотопов, у которых энергии γ -линии близки:

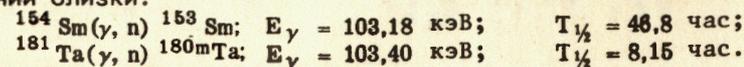


Таблица 1

Ядерные реакции, протекающие в исследуемых образцах, облученных у-квантами микротрона, и возможные interfering ядерные реакции

Элемент	Аналитическая реакция, T _{1/2}		Интерферирующая реакция, E _γ , кэВ		Р	Реперная реакция или изотоп, T _{1/2}		E _γ , кэВ	Корректирующее факторы
	Аналитическая реакция, T _{1/2}	Интерферирующая реакция, E _γ , кэВ	Р	Реперная реакция или изотоп, T _{1/2}		E _γ , кэВ			
Na	²³ Na(γ,n) ²² Na, 2,6г	30 Si(γ,n) ²⁹ Al, 6,6 мин 16,9 Tm(γ,n) ¹⁶⁸ Tm, 93 дн	1274,54 4277,40	1,1, 10 ¹ 143, 10 ¹	-	168 Tm 23 Na(γ,n) ²² Na, 2,6 г	198,25 1274,54	B ₀ 2,78.10 ⁻³ B ₁ 7,3.10 ⁰	-
Mg	²⁵ Mg(γ,p) ²⁴ Na, 15 час	²³ Na(n,γ) ²⁴ Na 27 Al(n,α) ²⁴ Na	1368,55 1778,80	1,2, 10 ² 5, 0, 10 ²	(в)	(в)	-	-	-
Si	²⁹ Si(γ,p) ²⁸ Al, 2,24 мин ³⁰ Si(γ,p) ²⁹ Al, 6,6 мин	²³ Na(γ,n) ²² Na, 2,6 г 16,9 Tm(γ,n) ¹⁶⁸ Tm, 93 дн	1274,54 1277,40	3, 0, 10 ² 4, 3, 10 ¹	(г)	(г)	198,25	B ₀ 2,78.10 ⁻³	-
Cl	³⁵ Cl(γ,n) ³⁴ Cl, 32,06 мин	¹⁴² Nd(γ,n) ¹⁴¹ Nd, 2,6 час ¹⁴² Ce(γ,n) ¹⁴¹ Ce, 32,50 дн	145,70 145,45	5, 8 2, 9, 10 ¹	150 Nd(γ,n) ¹⁴⁹ Nd, 173 час ¹⁴⁰ Ce(γ,n) ¹³⁹ Ce, 13763 дн	114,82 165,85	B ₀ 2,78.10 ⁻³ B ₁ 5,2.10 ⁻² B ₁ 2,2.10 ⁻²	-	-
K	³⁹ K(γ,n) ³⁸ K, 7,71 мин.	нет	2168,0	-	-	-	-	-	-
Ca	⁴⁸ Ca(γ,n) ⁴⁷ Ca, 4,55 дн.	⁵⁴ Fe(γ,n) ⁵³ Fe, 8,53 мин.	1297,1	1, 14, 10 ²	(б)	(б)	-	-	-
Ca	⁴⁴ Ca(γ,p) ⁴³ K, 22,6 час	¹³² Ba(γ,n) ¹³¹ Ba, 11,8 дн.	373,0	3, 1, 10 ¹ (а)	131 Ba	496,23	B ₀ 4,66.10 ⁻¹	-	-
Sc	⁴⁵ Sc(γ,n) ⁴⁴ Sc, 3,92 час ⁴⁵ Sc(γ,n) ⁴⁴ Sc, 2,44 дн.	¹³⁰ Ba(γ,p) ¹²⁹ Cs, 32,06 час ²⁰⁰ Hg(γ,n) ¹⁹⁹ Hg, 42,6 мин.	1156,90 271,30	371,90	129 Cs (б)	411,30	B ₀ 1,65	-	-
Ti	⁴⁸ Ti(γ,p) ⁴⁷ Sc, 3,40 дн.	⁴⁸ Ca(γ,n) ⁴⁷ Ca, 4,55 дн ⁴⁷ Sc	159,40	3, 26, 10 ¹ (е)	(б)	159,40	B ₁ 4,44.10 ⁻¹ B ₁ 1,16	-	-
Mn	⁵⁵ Mn(γ,n) ⁵⁴ Mn, 312,3 дн.	⁵¹ V(γ,α) ⁴⁷ Sc ¹²⁴ Sn(γ,n) ¹²³ Sn, 42,0 мин	834,81 377,90	1,25, 10 ² 2,21, 10 ³	(в)	171,29	B ₁ 6,1.10 ⁻²	-	-
Fe	⁵⁷ Fe(γ,p) ⁵⁶ Mn, 2,58 час	¹²⁴ Te(γ,n) ¹²³ Te, 119,7 дн	846,64	5, 5, 10 ²	112 Sn(γ,p) ¹¹¹ In, 2,8 дн	184,58 197,30	B ₀ 4,6.10 ⁻¹ B ₀ 3,48	-	-
Co	⁵⁹ Co(γ,n) ⁵⁸ Co, 70,78 дн	нет	810,75	8, 2	67 Cu 120 mSb	114,32 121,78	B ₁ 3,3.10 ² B ₁ 4,5.10 ⁻²	-	-
Ni	⁵⁸ Ni(γ,n) ⁵⁷ Ni, 36,16 час	¹⁴⁸ Nd(γ,n) ¹⁴⁷ Nd, 10,98 дн ¹⁵³ Eu(γ,n) ¹⁵² Eu, 9,3 час	127,10 595,70	91, 10 3, 6, 10 ¹	152 mEu, 9,3 час 164 Ho 231 Th	78,40 84,17	B ₀ 1,56 B ₀ 1,44.10 ⁻¹	-	-
As	⁷⁵ As(γ,n) ⁷⁴ As, 17,78 дн	¹¹² Cd(γ,n) ¹¹¹ mCd, 4,91 мин. ¹⁰⁶ Cd(γ,p) ¹⁰⁵ Ag, 41,29 дн.	216,10	1, 0 5, 8, 10 ⁻¹	111 mCd 105 Ag	245,36 344,52	B ₀ 8,2.10 ⁻¹ B ₀ 1,17.10 ⁻¹	-	-
Rb	⁸⁵ Rb(γ,n) ⁸⁴ Rb, 20,5 мин	¹³⁰ Ba(γ,n) ¹²⁹ Ba, 11,8 дн ¹³⁰ Ba(γ,n) ¹²⁹ Ba, 2,13 час	216,10	4, 10 ³ 2, 10 ¹	129 Cs (б), ⁷² Ga	644,56 411,30	B ₀ 9,5.10 ⁻¹ B ₀ 1,6.10 ⁻¹	-	-
		⁵⁵ Mn(γ,n) ⁵⁴ Mn, 312,3 дн ⁵⁵ Mn(γ,n) ⁵⁴ Mn, 312,3 дн	127,10 595,70	1, 9 2, 8	55 Mn(γ,n) ⁵⁴ Mn, 312,3 дн	629,90	B ₀ 2,89	-	-
		⁴⁸ Ca(γ,n) ⁴⁷ Ca, 4,55 дн ¹⁰⁷ Ag(γ,n) ¹⁰⁶ Ag, 8,41 дн ⁹⁷ Mo(γ,p) ⁹⁶ Nb, 23,35 час	810,75 127,10	5, 5, 10 ¹ 1, 6, 10 ¹ 4, 10 ¹	47 Ca 106 mAg 96 Nb	894,81 1297,10 1091,31	B ₁ 1,83.10 ⁻⁷ B ₀ 1,6.10 ⁻¹ B ₀ 1,6.10 ⁻¹ B ₀ 3,6.10 ⁻¹	-	-
		⁴⁴ Ca(γ,p) ⁴³ K, 22,6 час ¹³² Ba(γ,n) ¹³¹ Ba, 11,8 дн ¹³⁰ Ba(γ,n) ¹²⁹ Ba, 2,13 час	216,10	2, 6, 10 ¹ (а) 3 12,9 мBa	(б), ⁴⁹ K ¹³¹ Ba 12,9 мBa	617,20 496,23 420,20	B ₀ 1,36.10 ⁻¹ B ₀ 1,6 B ₀ 4,8	-	-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Th	232 Th (T,n) ²³¹ Th, 25,52 час	84,17	204 Hg (T,n) ²⁰³ Hg, 46,76 дн.	1,3 · 10 ¹⁹ Hg (T,n) ^{197m} Hg, 23,8 час	133,94	B ₁ = 1,28 · 10 ¹			
U	238 U (T,n) ²³⁷ U, 6,75 дн	59,536	204 Pb (T,n) ²⁰³ Pb, 52,1 час	3,94 · 10 ²	3,94 · 10 ²	см./14/			
			175 Lu (T,n) ^{174m} Lu, 3,31 г	K _α Tl = 84,9					
			175 Lu (T,n) ^{174m} Lu, 42 дн.	K _α Yb = 59,30					
			185 Re (T,n) ^{184m} Re, 165,0 дн.	K _α Yb = 59,30					
			185 Re (T,n) ¹⁸⁴ Re, 38,0 дн.	K _α W = 59,32					
			187 Re (T,n) ¹⁸⁶ Re, 90,64 час	K _α W = 59,32					

а/ Данные о ядерно-физических характеристиках радиоизотопов взяты из работы /21/. Все линии с энергией E_γ < 214 кэВ измерялись Ge-детектором, с E_γ ≥ 214 кэВ - Ce(Li) - ПЩ.

б/ Целесообразно избавиться от влияния interfering изотопа, выбирая удобное время выдержки образцов.

в/ Нет удобной реперной реакции для проведения оценки влияния мешающего радионуклида.

г/ Можно использовать метод вычитания площадей фотопиков при двух последующих измерениях.

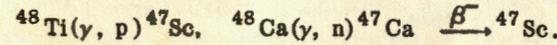
д/ Учен суммарный вклад данной реакции и непосредственно следующей в таблице реакции.

е/ При t_{выд.} = 2,5 час.

ж/ Осколки деления.

з/ С учетом трех реакций с участием изотопов рения.

3. Интерферирующий вклад дочернего радионуклида:



В работе /20/ предлагается метод количественного учета вклада interfering реакций при максимальной энергии γ-квантов тормозного излучения E_{макс.} = 30 МэВ. Нами аналогичное исследование осуществлено при E_{макс.} = 20,5 МэВ.

Полученные данные приведены в табл.1. Interfering эффект представлен в табл.1 величиной R, определяемой отношением веса мешающего элемента к весу анализируемого элемента при достижении равенства активности их изотопов к концу облучения. Корректирующие факторы B₀, B₁, приведенные в табл.1, вычислены аналогично /20/. Если у interfering радиоизотопа есть вторая линия, удобная для оценки вклада в аналитическую линию, то площадь фотопика анализируемого изотопа вычисляется по формуле

$$\tilde{S}_n(E_{\gamma_1}) = S_n(E_{\gamma_1}) - B_0 S_{n, \text{реп.}}(E_{\gamma_2}), \quad /1/$$

где \tilde{S}_n - площадь фотопика с учетом interfering вклада, S_n - площадь фотопика без учета вклада, S_{n, реп.} - площадь фотопика реперной линии, B₀ - корректирующий фактор, вычисленный по формуле

$$B_0 = \frac{(\theta(E_{\gamma_1}) \cdot \eta(E_{\gamma_1}))_{\text{инт.}}}{(\theta(E_{\gamma_2}) \cdot \eta(E_{\gamma_2}))_{\text{реп.}}}, \quad /2/$$

здесь θ, η обозначают квантовый выход на 100 распадов и абсолютную эффективность детектора для фотопика данной энергии.

Индексы "инт." и "реп." обозначают характеристики interfering и реперной линии соответственно. Если у interfering радионуклида нет второй γ-линии, удобной для вычисления вклада, или есть интерференция типа 1 или 3, то в этом случае нужно выбрать другую реакцию, протекающую на том же interfering элементе, например: аналитическая реакция $^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$, E_γ = 159,4 кэВ; interfering реакция $^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123\text{m}}\text{Sn}$, E_γ = 159,70 кэВ; реперная реакция $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}$, E_γ = 171,29 кэВ. При этом вычисление площади аналитического фотопика с учетом вклада interfering линии проводится с помощью формул

$$S_{n, \text{инт.}}(E, x, y, z) = S_{\text{реп.}}(E_{\gamma_2}^{\text{реп.}}, x, y, z) B_1(E_{\gamma_1}^{\text{инт.}}, E_{\gamma_2}^{\text{реп.}}, a, b, c) \times \frac{e^{-z\lambda_{\text{инт.}}} \cdot (1 - e^{-y\lambda_{\text{инт.}}}) \cdot (1 - e^{-z\lambda_{\text{инт.}}})}{e^{-z\lambda_{\text{реп.}}} \cdot (1 - e^{-y\lambda_{\text{реп.}}}) \cdot (1 - e^{-z\lambda_{\text{реп.}}})}, \quad /3/$$

$$B_1(E_{\gamma_1}^{\text{инт.}}, E_{\gamma_2}^{\text{реп.}}, a, b, c) = \frac{S_{n, \text{инт.}}(E_{\gamma_1}^{\text{инт.}}, a, b, c)}{S_{n, \text{реп.}}(E_{\gamma_2}^{\text{реп.}}, a, b, c)} \times$$

$$\times \frac{e^{-\lambda_{\text{реп}}(t - t_{\text{реп}})} (1 - e^{-\lambda_{\text{реп}} t})}{e^{-\lambda_{\text{инт}}(t - t_{\text{инт}})} (1 - e^{-\lambda_{\text{инт}} t})}$$

/4/

Таблица 2

Предел определения процентного содержания химических элементов в образцах различного вида

Элемент	Порог чувствительности, %			
	Стандарты, керны	Железистые латеритовые руды	Метеориты	Железомарганцевые конкреции
1	2	3	4	5
Na	0,07(0,04)	0,1(0,05)	0,1(0,07)	0,1(0,07)
Mg	0,08	0,1	0,2	0,2
Al	(0,04)	(0,04)	(0,06)	(0,08)
Si	0,15	0,2	0,3	0,3
Cl	15г/т	20 г/т	30г/т	-
K	0,01	0,015	0,02	0,02
Ca	0,1	0,2	0,3	0,3
Sc	1,5 г/т	3 г/т	4 г/т	3 г/т
Ti	0,005	0,008	0,01	0,01
V	(20 г/т)	(20 г/т)	(20 г/т)	(40 г/т)
Cr	0,007	0,01	0,01	-
Mn	0,01,(30г/т)	0,02,(50г/т)	0,03(50г/т)	0,04(70г/т)
Fe	0,1	0,3	0,3	0,5
Co	30 г/т	30 г/т	30 г/т	50 г/т
Ni	5 г/т	20 г/т	40 г/т	30 г/т
Rb	5 г/т	-	-	-
Sr	0,7 г/т	1 г/т	1 г/т	2 г/т
Y	10 г/т	-	-	-
Zr	3 г/т	5 г/т	5 г/т	7 г/т
Nb	3 г/т	-	-	5 г/т
Cs	0,3 г/т	0,5 г/т	-	-
Ba	15 г/т	25 г/т	-	30 г/т
Ta	0,07 г/т	-	-	-
Ce	0,6 г/т	1 г/т	1 г/т	2 г/т
Nd	1 г/т	5 г/т	-	-
Sm	0,5 г/т	2 г/т	-	2 г/т
Pb	3 г/т	5 г/т	5 г/т	8 г/т
Th	0,07 г/т	0,2 г/т	-	0,2 г/т
U	0,07 г/т	0,2 г/т	-	0,1 г/т

Определение проводилось гамма-активационным методом, в скобках - данные, полученные нейтронно-активационным методом. Пороги чувствительности рассчитывались по критерию $3\sqrt{S_{\phi}}$, где S_{ϕ} - значение фона в области аналитического фотопика.

где a, b, c - соответственно времена выдержки, облучения и измерения, при которых вычислялись значения V_1 , приведенные в табл.1, x, y, z - время выдержки, облучения, измерения конкретного опыта.

При сравнении вычисленных значений V_0, V_1 с экспериментальными данными было найдено, что расхождения обычно не превышали 3%. Учет вкладов интерферирующих реакций по вышеизложенному методу проводился в тех случаях, когда невозможно или невыгодно было избавиться от интерферирующего влияния определенного изотопа путем выдержки образцов перед измерением ^{17/}, а также во всех случаях типа 1 или 3 /см. выше/.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных нами исследований установлены некоторые оптимальные условия осуществления инструментального гамма-активационного анализа, рассчитан предел определения процентного содержания элементов. Данные представлены в табл.2. Видно, что, применяя фотонейтроны и γ -кванты тормозного излучения микротрона, можно определить содержание 20-30 элементов с пределом обнаружения от п. $10^{-6}\%$ (Ta, U, Th) до п. $10^{-1}\%$ (Fe, Ca, Mg). Заметим, что наилучшая чувствительность получается при анализе сверхглубинных кернов, стандартов геологических образцов и почв. Среднее место, с этой точки зрения, занимают железистые латеритовые руды, и наименьшая чувствительность - при анализе метеоритного вещества и железомарганцевых конкреций. Указанное отличие связано с разным содержанием Ni, Fe, Co и Mn в образцах, так как на этих элементах под действием γ -квантов образуются долгоживущие радиоизотопы, что приводит к возрастанию комптоновского фона. Так, при больших содержаниях Ni γ -излучение изотопов ⁵⁷Ni и ⁵⁷Co с энергией соответственно 127 и 122 кэВ создает значительный комптоновский фон в области низкоэнергетических γ -квантов, из-за чего затрудняется определение в метеоритном веществе некоторых микроэлементов, например U, Th, Sm, Nd.

Отметим, что получено удовлетворительное согласие наших результатов по содержанию химических элементов в исследованных образцах с данными химического анализа латеритовых руд ^{11/}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Из представленных результатов следует возможность использования γ -квантов и фотонейтронов микротрона для инструментального многоэлементного анализа метеоритного вещества, геологических образцов, почвы и кернов из сверхглубоких скважин.

2. Комбинируя кратковременные /10 мин/ и длительное /4 ч/ облучения, можно определить содержание 20-30 элементов в данных образцах.

3. Пределы чувствительности определения ряда элементов достигают 10^{-6} - д. 10^{-8} г/г.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.П.Кулькиной и В.Е.Жучко за помощь при проведении экспериментов, А.Г.Белову за облучение образцов на микротроне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесов Г.М., Сурков Ю.А. Радиохимия, 1979, т. XXI, вып.1, с. 138.
2. Chaudhary M.S., Ahmad S., Qureshi I.H. J.Radioanal.Chem., 1980, 57, p. 137.
3. Зайцев Е.И., Сотсков Ю.П., Резников Р.С. Нейтронно-активационный анализ горных пород на редкие элементы. "Недра", М., 1978.
4. Лаврухина А.К. В сб.: Успехи аналитической химии. "Наука", М., 1974, с. 131.
5. Гапзориг Ж. и др. ОИЯИ, 6-7040, Дубна, 1973.
6. Филиппов Е.М. Ядерная разведка полезных ископаемых. "Наукова думка", Киев, 1978.
7. Флеров Г.Н., Выропаев В.Я. ОИЯИ, 13-8849, Дубна, 1975.
8. Fusban H.-U., Segebade Ch., Schmitt B.F. J.Radioanal.Chem., 1981, 67, p. 101.
9. Вахрушин Ю.П. и др. ОИЯИ, P18-82-117, Дубна, 1982, с. 71.
10. Киселева Т.Т. и др. ОИЯИ, P18-82-117, Дубна, 1982, с. 253.
- * 11. Эрнандес А., Рубио Д. ОИЯИ, 18-80-337, Дубна, 1980.
- ✓ 12. Engelman Ch. J.Radioanal.Chem., 1981, 67, p. 221.
- * 13. Эрнандес А., Кулькина Л.П. ОИЯИ, 18-80-846, Дубна, 1980.
- * 14. Эрнандес А., Белов А.Г. ОИЯИ, 18-81-775, Дубна, 1981.
- * 15. Эрнандес А., Белов А.Г. ОИЯИ, P18-82-117, Дубна, 1982, с.196.
16. Schmitt R.A., Linn T.A., Wakita H.A. Radiochim. Acta, 1970, 13, p. 200.
17. Kato T. J.Radioanal. Chem., 1973, 16, p. 307.
18. Chattopadhyay A., Jarvis R.E. Anal.Chem., 1974, 46, p. 1630.
19. Davydov M.G. et al. Radiochem.Radioanal.Letters, 1978, 35, p. 67.
- ✓ 20. Segebade Ch. et al. J.Radioanal.Chem., 1981, 67, p. 205.
21. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. Атомиздат, М., 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 марта 1983 года.

Эрнандес А., Замятнин Ю.С. 18-83-138
Многоэлементный гамма-активационный анализ, проводимый
с помощью микротрона

Исследована возможность использования микротрона для многоэлементного гамма-активационного анализа эталонов геологических пород и почв, железистых латеритовых руд, железомарганцевых конкреций, метеоритного вещества и кернов из сверхглубокой скважины. Проведено изучение различных конкурирующих реакций, которые могут интерферировать с главными аналитическими реакциями. Определено количественное содержание 20-30 элементов в образцах. Пороги чувствительности определения ряда элементов достигают 10^{-6} - д. 10^{-8} г/г.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Hernandez A., Zamyatnin Yu.S. 18-83-138
Utilization of Microtron for Multielemental Photon Activation
Analysis.

Utilization of a microtron for multielemental photon activation analysis of ferruginous laterites, soil and geological standards, iron-manganese nodules, meteorites and samples from superdeep drilled holes ($h \geq 7$ Kms) was investigated. Interferences, caused by nuclear reactions of different types were studied and taken into account. 20-30 elements have been determined in the samples. Sensitivity thresholds of $1.0 \cdot n \cdot 10^{-2}$ ppm for several elements have been achieved.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reaction, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.