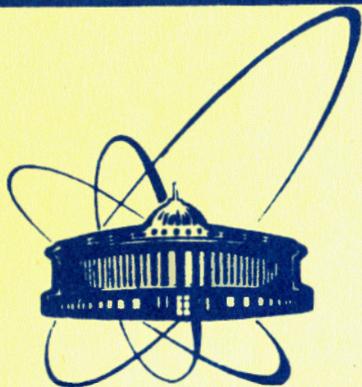


84-648



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С 4139
6741/84

18-84-648

Г.М. Колесов*, А. Эрнандес

АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕКТИТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАММА-КВАНТОВ
ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
И ФОТОНЕЙТРОНОВ МИКРОТРОНА

* Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского АН СССР, Москва

1984

Тектиты относятся к уникальным природным образцам и подразделяются по месту находок на австралиты, филиппиниты, яваниты, молдавиты, тектиты Берега Слоновой Кости, Северной Америки, Вьетнама и т.п.^{/1-3/}. В последнее время они найдены и на территории СССР^{/2/}.

Тектиты представляют собой твердые растворы окислов различных элементов в кремниевой кислоте^{/4/}, их минералогический и микроэлементный составы постоянно уточняются^{/5-9/}. Это связано с решением главной проблемы тектитов - выяснением условий их образования: возникли ли они в вулканических процессах или в результате удара космических тел о земную /и лунную/ поверхность?

Для определения химического состава тектитов применяются различные способы^{/1/}, наибольшее распространение в настоящее время получают ядерно-физические, неструктурные методы анализа^{/10/}.

Целью настоящей работы является изучение возможности использования гамма-квантов тормозного излучения и фотонейтронов микротрона^{/11,12/} для установления элементного состава ряда тектитов и сравнение с возможностью активационного анализа на реакторных нейтронах. Большое внимание уделено также анализу стандартных образцов, оценке пределов обнаружения и погрешности определения элементов.

Исследовались образцы тектитов: филиппинит, австралит, молдавит, вьетнамит, кислые стекла кратера Жаманшин /жаманшинит, иргизит/. В качестве эталонов использовали стандартный образец СГД-1 /базальт/, в качестве контрольных образцов - СТ-1А /трапп/, СМБ /магнезиальный базальт/, ВМ /базальт, ГДР/, КК /каолин, ЧССР/ и СП-3 /почва/.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследование проводили по методике, описанной в^{/13/}. Образцы тектитов и стандартов использовали в виде порошка, упаковывали их в цилиндрические кассеты из оргстекла размером 14x2,5 мм^{/14/} и облучали в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ на микротроне МТ-22 с энергией ускоренных электронов 20,5 МэВ при среднем токе 13 мкА^{/15/}. Потоки гамма-квантов или тепловых нейтронов /полученные при прохождении электронов через W-тормозную мишень и с помощью U-Be конвертора/ составляли в среднем $1 \cdot 10^{10}$ γ -квантов/см².с и $5 \cdot 10^8$ нейтронов/см².с соответственно^{/16/}. Вес проб и стандартов был ~ 500 мг.

Время облучения гамма-квантами составляло в среднем 4 ч, нейтронами - 10 мин, время охлаждения и измерения активности в зависимости от периода полураспада радионуклидов определяемых элементов и их наведенной активности колебалось от 1 до 10 мин и от 5 до 60 мин. В опытах по использованию реакторных нейтронов их поток составлял $1,2 \cdot 10^{13}$ нейтронов/см²·с, вес проб - 10 мг, время облучения - 20 ч, время измерения гамма-спектров изменялось от 5 до 60 мин, и измерения проводились три раза - через 1,7 и 14 дней для уменьшения помех радионуклидов с близкими величинами энергии излучения, но с разными значениями периодов полураспада.

Спектры измерялись на гамма-спектрометре с 4096-канальным анализатором импульсов и полупроводниковыми Ge- и Ge(Li)-детекторами, разрешение на линиях с энергией 77,1 и 662,0 кэВ составляло соответственно 0,5 и 3,5 кэВ.

Вклад возможных (γ, n)-, (γ, p)-, (γ, α)-, (γ, γ') -реакций оценивался с учетом ядерно-физических характеристик радионуклидов [11] и распространенности элементов в веществе стандартов и тектитов. Он оказался незначительным и его в дальнейшем не учитывали. Содержание элементов рассчитывали на ЭВМ с

учетом соотношения $\frac{m_c}{A_c} = \frac{m_0}{A_0}$ где m_c и m_0 - масса элемента в стан-

дарте и образце, A_c и A_0 - их активность, представленная в виде площади соответствующего фотопика; при необходимости в величину активности вводили поправку на радиоактивный распад измеряемых радионуклидов. Ошибка определения рассчитывалась как среднее отклонение от среднего значения, определяемого из данных 3-5 параллельных опытов. За предел обнаружения принималось такое минимальное содержание элемента, активность /площадь/ радионуклида которого N_0 с вероятностью $\sim 3\sigma$ регистрировалась в спектре образца /что отвечало 3-кратному превышению фона N_{ϕ} /.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты представлены в табл.1-3 и в качестве примера - на рис.1 и 2.

Из данных рис.1, 2 и табл.1 видно, что используя радионуклиды, образующиеся в (γ, n)-, (γ, p)-, и (n, γ)-реакциях соответственно под действием гамма-квантов и фотонейтронов микротрона, и комплекс из полупроводниковых Ge- и Ge(Li)-детекторов с многоканальным анализатором импульсов, в тектитах /на примере австралита/ можно определять до 30 редких и породообразующих элементов с пределами обнаружения от $n \cdot 10^{-6}$ % /Ta, Th, U/ до 10^{-1} % (Si, Fe, Ca) с относительной ошибкой от 5% (Na, Mg, Al, Si, Ti, Fe, Sr) до 30% (Co, Pb). Причем число определяемых в тектитах элементов в 1,5 раза больше по сравнению с метеорита-

Таблица 1
Некоторые характеристики активационного метода определения химических элементов в образцах тектитов

Элемент	Реакция образования радионуклида, его период полураспада и энергия излучения (в кэВ)	4	3	2	1	Предел обнаружения, г/г ^г	Содержание элемента, г/г	Относительная ошибка, %
Натрий	$^{23}\text{Na} (\gamma, n) ^{22}\text{Na}$	2,6год	1274,5			0,07 (0,04) ^{гг}	0,9 ^{гг}	5
Магний	$^{23}\text{Na} (n, \gamma) ^{24}\text{Na}$	15,0ч	1368,6			0,02 ^{гг}	1,2 ^{гг}	5
Алюминий	$^{25}\text{Mg} (\gamma, p) ^{24}\text{Na}$	15,0ч	1368,6			(0,04) ^{гг}	6,3 ^{гг}	5
Кремний	$^{27}\text{Al} (n, \gamma) ^{28}\text{Al}$	2,2мин	1778,8			0,15 ^{гг}	33,5 ^{гг}	5
Калий	$^{29}\text{Si} (\gamma, p) ^{28}\text{Al}$	2,2мин	1778,8			0,015 ^{гг}	1,8 ^{гг}	5
Кальций	$^{39}\text{K} (\gamma, n) ^{38}\text{K}$	7,7мин	2168,0			0,2 ^{гг}	2,1 ^{гг}	5
	$^{48}\text{Ca} (\gamma, n) ^{47}\text{Ca}$	4,5сут	1287,1					
	$^{44}\text{Ca} (\gamma, p) ^{43}\text{K}$	22,6ч	373,0					
Скандий	$^{45}\text{Sc} (\gamma, n) ^{44}\text{Sc}$	3,9ч	1156,9			1	8	12
Титан	$^{48}\text{Ti} (\gamma, p) ^{47}\text{Sc}$	3,4сут	159,4			0,005 ^{гг}	0,45 ^{гг}	5
Ванадий	$^{49}\text{Ti} (\gamma, p) ^{48}\text{Sc}$	43,8сут	983,3			(20)	75	20
Хром	$^{52}\text{Cr} (\gamma, n) ^{51}\text{Cr}$	27,7сут	320,1			40	90	20

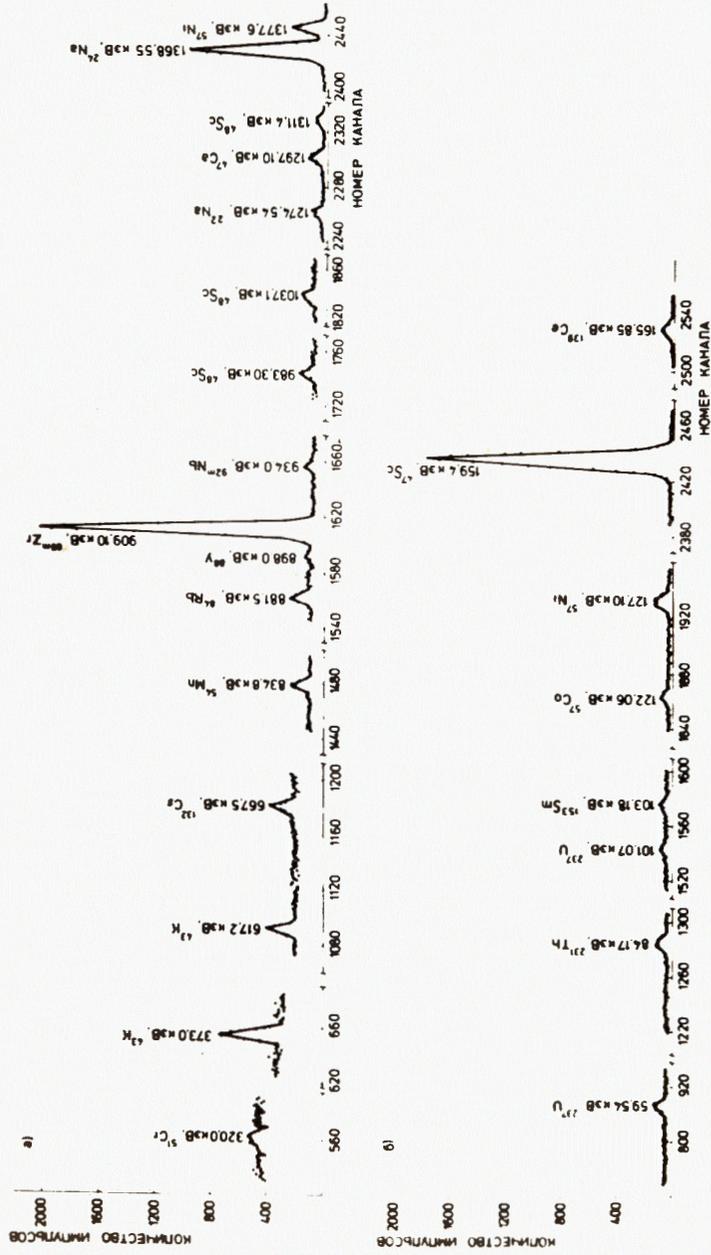


Рис. 2. Участки спектра образца тектита, облученного гамма-квантами микротрона:
 а/ топл. = 4 ч, $t_{\text{выд.}} = 40$ ч, $t_{\text{изм.}} = 1$ ч /измерение проведено на Ge(Li)-ППД/,
 б/ топл. = 4 ч, $t_{\text{выд.}} = 72$ ч, $t_{\text{изм.}} = 1$ ч /измерение на Ge-ППД/.

ми^{17/} и другими природными образцами^{111/}, а пороги обнаружения и ошибка определения в них меньше. Это связано, главным образом, с более низким содержанием в тектитах никеля, кобальта и марганца, радионуклиды которых дают обычно высокий комптоновский фон и тем самым влияют на величину отношения сигнал-фон, принимаемую равной $N_0 = 3\sigma \sqrt{N_{\text{ф}}}$.

Из данных табл. 2 следует, что установленные содержания химических элементов в исследованных образцах стандартов горных пород и почвы совпадают в пределах ошибок опыта с аттестованными значениями. Это свидетельствует о правильности результатов анализа и о применимости разработанной методики к некоторым основным типам земных пород, ответственным за формирование химического состава тектитов.

Данные табл. 3, в которой для сравнения приведены результаты анализа тектитов, полученные с использованием нейтронов реактора, и некоторые литературные данные, показывают, во-первых, их удовлетворительную сходимость, и, во-вторых, целесообразность определения Pb, Ni, Zr, Y, Sr и Si, Al, Mg, Ti на микротроне и ряд РЗЭ (La, Eu, Tb, Yb, Lu)-на нейтронах реактора, причем образцы после анализа на микротроне могут быть использованы в опытах на реакторе. Они показывают также удовлетворительное согласие полученных экспериментальных и средних литературных данных*.

Таким образом, результаты проведенной работы свидетельствуют о возможности использования микротрона для определения около 30 химических элементов в различных типах тектитов без их разрушения с содержанием от $1 \cdot 10^{-6}$ до 10^{-1} % и погрешностью $\pm 5 \div 30$ %, а также о возможности сравнительно быстрого неструктурного анализа основных типов земных пород. Они подтверждают перспективность проведения анализа дефицитных образцов с использованием сначала микротрона и затем реактора с целью получения наиболее полной информации о их химическом составе.

Авторы благодарны Ю.С.Замятину за интерес и внимание к работе, Л.П.Кулькиной за обсуждение результатов, В.Е.Жучко и А.Г.Белову за помощь при проведении экспериментов на микротроне.

* Данные по жаманшинитам и иргизитам ввиду недостаточной изученности анализируемых образцов требуют дополнительного обсуждения.

Таблица 2

Содержание химических элементов в стандартных образцах пород и почв

Элемент	Содержание %	СТ-1А		СМБ		СП-3		ВМ		Каолин (УССР)	
		Атгесто- ванне данне (I)	Наст. раб. данне (I)								
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Натрий	10 ⁰	1,85	1,7	1,72	1,7	0,86	0,9	3,44	3,3	0,024	-
Магний	10 ⁰	3,46	3,4	6,25	6,1	1,18	1,1	4,5	4,4	0,116	0,13
Алюминий	10 ⁰	7,83	(7,1)	7,14	(7,0)	6,67	6,3	8,92	(8,7)	19,5	(18,8)
Кремний	10 ⁰	23,0	21,8	23,4	23	30,72	32	23,19	24	22,0	21
Кальций	10 ⁰	0,57	<0,54	0,705	0,65	2,08	2,2	0,166	0,15	0,882	0,94
Кальций	10 ⁰	7,29	7,22	8,00	8,1	2,048	2,2	4,6	4,3	0,169	0,18
Стронций	10 ⁻⁴	43	40	41	43	14	12	34	32	6,5(2)	8
Титан	10 ⁰	1,09	1,2	-	0,66	0,547	0,57	0,68	0,71	0,124	0,107
Ванадий	10 ⁻⁴	320	360	250	275	110	104	180	180	14,6	-
Хром	10 ⁻⁴	140	160	450	400	140	160	123	112	9,5	-
Марганец	10 ⁰	0,166	0,158	0,132	0,135	0,071	0,074	0,112	0,114	0,0116	0,0,1

Продолжение таблицы 2

Элемент	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Железо	10 ⁰	10,7	10,0	7,53	7,3	3,43	3,0	6,78	7,2	0,732	0,6
Никель	10 ⁻⁴	90	95	156	160	56	50	57	65	7,2(2)~10	
Стронций	10 ⁻⁴	210	220	300	325	160	175	230	220	76	82
Цирконий	10 ⁻⁴	130	128	80	73	300	280	105	93	68(2)	74
Цезий	10 ⁻⁴	0,9	1,1	4,7	3,8	(5)	4	1,7	1,4	24,6	20
Барий	10 ⁻⁴	290	265	300	330	470	510	263	251	170(2)	180
Таллал	10 ⁻⁴	1,2	1,1	-	0,33	0,8(3)	1,0	0,4	0,46	-	5,5
Свинец	10 ⁻⁴	6	8	3-50	7	16	18	12	10	120	112
Церий	10 ⁻⁴	22	20	-	11	50(3)	47	23	20	125	123
Самарий	10 ⁻⁴	4	4	-	4,5	10(3)	4,7	4	3,7	-	14
Неодим	10 ⁻⁴	(9)	11	-	12	30(5)	35	16	14	-	62
Торий	10 ⁻⁴	(3)	1,2	-	1,0	9(3)	8,9	2,94	2,8	23,3(2)	25
Уран	10 ⁻⁴	(1)	0,72	-	0,48	2(4)	2,2	1	0,9	5,7(2)	5,4

- (1) Гамма-активационный, в скобках - нейтронно-активационный анализ.
(2) Неаттестованные данные /средние значения по данным различных методов/.
(3) Неаттестованные данные /результаты ИАА/.
(4) Неаттестованные данные /результаты РФА/.
(5) Неаттестованные данные /результаты эмиссионной спектроскопии/.

Таблица 3
Содержание химических элементов в теклитах и кислых стеклах кратера Жаманшин

Элементы	Австралит № 2516		Филиппинит № 1260		Вьетнамит № 131 (тип 2)		Молдавит № 2619		Жаманшинит		Иргизит		Средний состав по I/ II
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
I	0,90	0,85	1,0	1,0	1,0	1,0	0,34	0,35	1,3	1,2	0,67	0,70	1,1
Na ^x	1,2	-	1,5	-	1,5	(1,5)	1,1	-	0,56	-	2,0	-	1,49
Mg ^x	6,3	-	7,7	7,7	6,2	(6,9)	5,9	-	6,4	-	5,1	-	6,9
Al ^x	33,5	-	34,0	-	32,0	(31,0)	37,0	-	33	-	34	-	34,1
Si ^x	1,8	1,7	1,9	1,7	2,0	2,0	2,8	2,6	2,9	3,1	2,3	2,2	2,0
K ^x	2,1	2,1	1,9	2,2	1,5	2,0	2,1	1,5	0,47	0,50	1,70	1,6	1,36
Ca ^x	8,0	11,0	9,7	12	12	11,8	6,0	5,3	15	17	13	13	14
Sc ^x	0,45	-	0,52	-	0,51	(0,50)	0,48	-	0,44	-	0,50	-	0,47
Ti ^x	90	75	90	76	150	132	60	65	~110	100	~330	210	-
Cr	750	700	740	700	690	(740)	500	460	900	730	730	680	3,99
Mn ^x	3,7	3,9	3,9	4,2	3,0	3,5	1,8	1,2	4,2	4,3	5,0	4,8	16
Fe ^x	~8	11,6	~10	11,8	12	12,5	~10	5,0	~12	12	60	60	35
Co	55	-	30	~30	60	~120	35	-	35	50	1800	-	1,9
Ni													

Продолжение таблицы 3

I	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14										
	100	175	>10	200	175	200	160	~140	135	20	290	220	130	145	>10	200	<10	5	320	280	272	370	500	360	2,1	3,7	204	590	0,73	84	33	4,6	13,4	1,9	
Rb	97	-	-	175	200	160	~140	135	20	290	220	130	145	>10	200	<10	5	320	280	272	370	500	360	2,1	3,7	204	590	0,73	84	33	4,6	13,4	1,9		
Sr	175	-	-	200	175	160	~140	135	20	290	220	130	145	>10	200	<10	5	320	280	272	370	500	360	2,1	3,7	204	590	0,73	84	33	4,6	13,4	1,9		
Y	>10	-	-	200	175	160	~140	135	20	290	220	130	145	>10	200	<10	5	320	280	272	370	500	360	2,1	3,7	204	590	0,73	84	33	4,6	13,4	1,9		
Zr	200	175	-	200	175	160	~140	135	20	290	220	130	145	>10	200	<10	5	320	280	272	370	500	360	2,1	3,7	204	590	0,73	84	33	4,6	13,4	1,9		
Cs	4	6,4	4,5	4,9	~5	4,5	4,9	~5	4,9	~5	3,5	10	600	0,66	0,66	0,66	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Ba	530	520	460	440	450	440	440	450	440	450	460	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ta	1,0	0,9	1,0	0,7	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,93	0,6	0,6	0,6	0,6	0,66	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Pb	~5	-	~8	-	-	-	-	-	-	-	-	~6	~6	~6	~6	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Ce	60	58	75	70	49	43	28	29	29	29	43	28	28	28	28	29	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Nd	21	25	28	26	18	17	12	13	13	12	17	12	12	12	12	13	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Sm	4,3	5,4	7,2	6,3	5	4,54	2,4	2,8	2,8	5	5,8	3	4,0	4,0	4,0	7,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	
Th	14	14,6	15	15,3	10	12,4	9,5	7,3	7,3	10,2	9,8	6,9	6,7	6,7	6,9	9,8	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	
U	2,8	2,7	2,5	2,4	2	1,8	2,3	1,8	1,8	2,4	1,8	2,3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	

* Содержание в процентах. Остальные элементы - в 10⁻⁴%.

** Инструментальным нейтронно-активационным методом с использованием нейтронов реактора определены также As, Sb, La, Eu, Tb, Tm, Yb, Lu, Hf, Au с ошибкой +/5÷15%.

*** Данные не установлены.

**** Значения, приведенные в скобках, получены по короткоживущим изотопам $T_{1/2} \leq 2,5$ час/с использованием пневмопучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. O'Keef I.A. Tektites and their original. Amsterdam: Elsevier Publ.Co., 1976, p. 254.
2. Флоренский П.В., Дабижа А.И. Метеоритный кратер Жаманшин. "Наука", М., 1980, с. 127.
3. Изох Э.П. Метеоритика, "Наука", М., 1983, вып.42, с. 158.
4. Шнетцлер К., Пинсон У. В кн.: Тектиты. "Мир", М., 1966, с. 137.
5. Taylor S.R., McLennan S.M. Geochim. et Cosmochim. Acta, 1979, 43, No 9, p. 1551.
6. Ehman W.D., et al. Meteoritics, 1977, 12, No 3, p. 212.
7. Колесов Г.М. и др. Тезисы докладов XIX Всесоюзной конференции по метеоритике и космохимии. ГЕОХИ АН СССР, М., 1984, с. 129.
8. Иванов А.В. и др. Метеоритика. "Наука", М., 1984, вып.43, с. 105.
9. Колесов Г.М. Метеоритика. "Наука", М., 1976, вып.35, с.59.
10. Парсон М. В кн.: Спектроскопические методы определения следов элементов. "Мир", М., 1979, с. 298.
11. Эрнандес А., Замятин Ю.С. Isotopenpraxis, 1984, 20, №7, с. 272.
12. Эрнандес А., Белов А.Г. ОИЯИ, P18-82-117, Дубна, 1982, с. 196.
13. Колесов Г.М., Эрнандес А. ОИЯИ, 18-83-211, Дубна, 1983.
14. Эрнандес А. и др. ОИЯИ, 18-84-392, Дубна, 1984.
15. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, P3-82-301, Дубна, 1982.
16. Эрнандес А., Рубио Д. ОИЯИ, 18-80-337, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 сентября 1984 года.

Колесов Г.М., Эрнандес А. 18-84-648
Активационный анализ тектитов с использованием гамма-квантов и фотонейтронов микротрона

Установлена возможность определения около 30 породообразующих и редких элементов в тектитах Австрало-Азиатского поля, молдавитах, стеклах кратера Жаманшин и некоторых основных типов пород с использованием гамма-квантов и фотонейтронов микротрона с пределами обнаружения от 10^{-6} до 10^{-1} % и относительной ошибкой $\pm 5-30\%$. Проведено сравнение полученных результатов с данными анализа с использованием нейтронов реактора. Показана целесообразность определения Pb, Ni, Zr, Sr, Y и Si, Al, Mg, Ti на микротроне, а ряда редкоземельных элементов (La, Eu, Tb, Yb, Lu) - на тепловых нейтронах реактора.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

18-84-648
Application of Bremsstrahlung and Photoneutrons of
a Microtron for Activation Analysis of Tektites

Application of bremsstrahlung and photoneutrons from a microtron for determining nearly 30 elements in tektites-Australites, Philippinites, Moldavites and glasses from Zhaman-shin crater has been investigated. Sensitivity and accuracy of the analysis is presented and comparison with NAA data using reactor neutrons is made. As we have established, analysis of Pb, Ni, Zr, Sr, Y and Si, Al, Mg, Ti could be performed applying a microtron as a source of activation radiation and analysis of rare earth elements (La, Eu, Tb, Yb, Lu) by mean of the irradiation of the samples with thermal neutrons from a nuclear reactor.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984