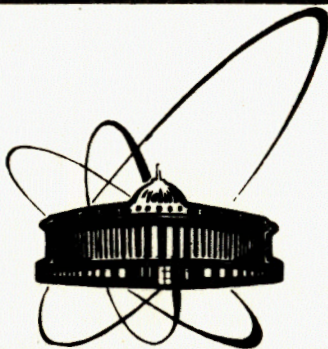


83-211.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3418/83

24/6-83

18-83-211

Г.М. Колесов*, А. Эрнандес

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
МЕТЕОРИТОВ АКТИВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОТРОНА

Направлено в журнал "Метеоритика"

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

1983

Метеориты, являющиеся, как известно, уникальными представителями внеземного вещества, подразделяются на каменные /65%, железные /31,5%/ и железо-каменные /3,5%/ и состоят из железо-магнезиальных силикатов, никелистого железа и сульфидов. Их главной отличительной особенностью от земных пород является присутствие металлической фазы, образованной железом /84-93%, никелем /15-6%, кобальтом /0,3-0,8%, медью /0,01-0,05%/ и фосфором /0,1-0,6%/. В каменных метеоритах эта фаза составляет 1-25%, в железо-каменных примерно 50% и в железных - около 100% /1-2/.

В используемых обычно методах химического анализа металлическую фазу предварительно отделяют, что осложняет процедуру определения химического состава образца. Эта процедура в общих чертах состоит в следующем.

Образцы весом 5-10 г растирают, отделяют магнитную часть и затем отдельно обрабатывают смесью кислот ($HCl + HNO_3$) магнитную и немагнитную фракции, нерастворимые остатки сплавляют с Na_2CO_3 , выщелачивают, отделяют осадок SiO_2 , фильтраты объединяют, и из аликвотных частей растворов определяют Al , Ti , Ni , S , Fe колориметрическим или титриметрическим методами, Ca , Mg , P и Si - гравиметрическим, а Mn , Cr и Na , K - из дополнительных отдельных навесок после их разложения колориметрическим и плазменно-фотометрическим методами.

Анализ железных метеоритов выполняется из пробы весом 1-5 г после разложения со смесью кислот ($HCl + HNO_3$); анализ их основных минералов /троиллита, шрейберзита, хромита/ определяется после обработки проб кислотами или путем сплавления с перекисью натрия и перевода вещества в раствор /2-3/.

Для установления содержания микро- и некоторых макроэлементов в настоящее время широко применяются спектральные, масс-спектральные, атомно-абсорбционные и радиоактивационные методы анализа /4-5/. Особого внимания заслуживают неdestructивные методы /позволяющие сохранить для последующих исследований дефицитное метеоритное вещество/ и в их числе - инструментальный нейтронно-активационный метод анализа /6-10/. В этом методе, отличающемся наиболее высокой чувствительностью, для определения макрокомпонентов, например, Al , Mg , Si , Ti по их короткоживущим изотопам, необходимо использовать пневпочту для быстрой доставки облученных образцов от реактора к измерительному комплексу /8-10/. А это не всегда представляется возможным и, кроме того,

предел определения важных в геохимическом отношении элементов /таких, как ванадий, никель, стронций, цирконий, свинец/ - довольно высок.

Задачей настоящей работы является изучение возможности использования тормозного излучения микротрона^{/11/} для установления химического состава каменных и железных метеоритов на примере метеоритов различных типов.

Исследовались хондриты /Жовтневый хутор, Царев, Кунашак, Allende/, ахондриты /Norton County, Червоный Кут/ и железный метеорит /Сихотэ-Алинь/. В качестве эталонов для сравнения использовались стандартные образцы СТ-1А /трапп/, СМБ /магнезиальный базальт/, СП-3 /почва/ и смесь, соответствующая среднему составу железных метеоритов.

Теоретические предпосылки использования тормозного излучения /гамма-квантов/ и фотонейтронов микротрона для анализа метеоритов оценивались с учетом ядерно-физических характеристик радионуклидов^{/12/}, распространенности изотопов в природной смеси и элементов в метеоритном веществе. Эти сведения приведены в табл.1. Они свидетельствуют о возможности определения около 20 элементов. Реальные возможности анализа находились экспериментальным путем.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Приготовление образцов и стандартов

Аппаратура

Образцы каменных метеоритов и стандартов использовались в виде порошка, железных - в виде стружки. Их вес составлял 0,8 и 0,4 г соответственно. Образцы упаковывались в цилиндрические кюветы из оргстекла 10x5 мм^{/13-14/}. Одновременно облучалось 4-5 проб. Облучение проводилось гамма-квантами или фотонейтронами микротрона МТ-22 ЛЯР ОИЯИ с энергией ускоренных электронов около 20,5 МэВ при среднем токе 15 мкА^{/11/} по схеме, представленной на рис.1. Поток гамма-квантов и нейтронов мониторировался по методу работы^{/13/} и составлял в среднем $1 \cdot 10^{10}$ γ -квантов/см².с и $5 \cdot 10^8$ н/см².с соответственно.

Для измерения спектров γ -излучения радионуклидов 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 см³ с разрешением 0,5 кэВ на линии $K\alpha$ Bi с энергией 77,1 кэВ, а спектры в области 100-2500 кэВ измерялись на Ge(Li)-детекторе с чувствительным объемом 28 см³ и разрешением 3,5 кэВ на γ -линии ¹³⁷Cs с энергией 662 кэВ. Для регистрации и обработки информации применялся 4096-канальный анализатор LP-4900 фирмы "Nokia".

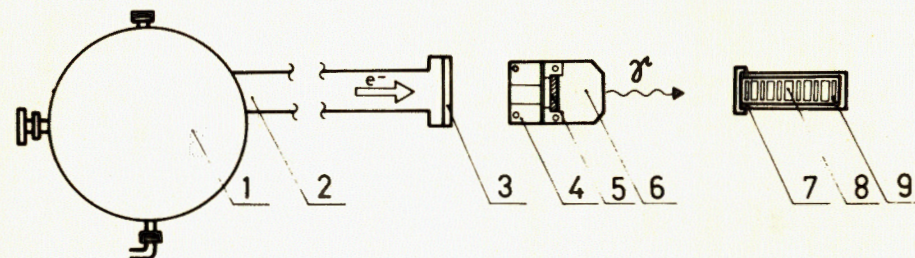


Рис.1. Схема облучения образцов γ -квантами микротрона. 1 - микротрон, 2 - выводной патрубок пучка электронов, 3 - выпускное окно /из Al-фольги/, 4 - узел тормозной мишени, 5 - тормозная мишень /из W/, 6 - поглотитель электронов /из Al/, 7 - полиэтиленовый пенал для образцов, 8 - образцы, 9 - монитор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

Нейтронно- и гамма-активационный анализ

Содержание Al, V, Mn и Na определялось по активности продуктов радиационного захвата нейтронов после 10-минутного облучения образцов и эталонов тепловыми нейтронами микротрона. При этом активность радионуклидов ²⁸Al и ⁵²V измеряли в течение 5 мин после 1-минутного охлаждения мишени; активность ⁵⁶Mn и ²⁴Na - в течение 30 мин после 50-100-минутной выдержки образцов для распада более короткоживущих радионуклидов.

Содержание (Mg, Si), Cl, K, Ca, Fe, Ti и других элементов /см. табл.1/ определялось по активности их радионуклидов, образованных в ядерных реакциях под действием тормозного излучения микротрона /т.е. γ -квантами/. Причем при определении Si, K и Fe пробы облучались в течение 10 мин, выдерживались ≈ 1 мин и измерялись 5 мин. Содержание других элементов определялось по их сравнительно долгоживущим изотопам после облучения образцов в течение 4 ч. При этом активность ^{34m}Cl, ⁴⁹Cr измерялась в течение 10 мин после выдержки пробы ≈ 10 мин на Ge-детекторе, а активность ⁴⁷Sc и радионуклидов - $1 \text{ ч} < T_{1/2} < 24 \text{ ч}$ на Ge- и Ge(Li)-детекторах при $t_{\text{изм.}} = 30 \text{ мин}$ и $t_{\text{выд.}} \geq 2 \text{ ч}$, активность изотопов с $T_{1/2} > 24 \text{ ч}$ - при $t_{\text{изм.}} = 60 \text{ мин}$ и $t_{\text{выд.}} = 24-72 \text{ ч}$.

На рис.2,3 в качестве примера приведены участки гамма-спектров облученных образцов хондритов Царев и Кунашак, полученных при различных режимах измерения и выдержки. Они свидетельствуют о большом числе идентифицированных радионуклидов и, таким образом, о возможности определения большого числа элементов при использовании двух полупроводниковых детекторов.

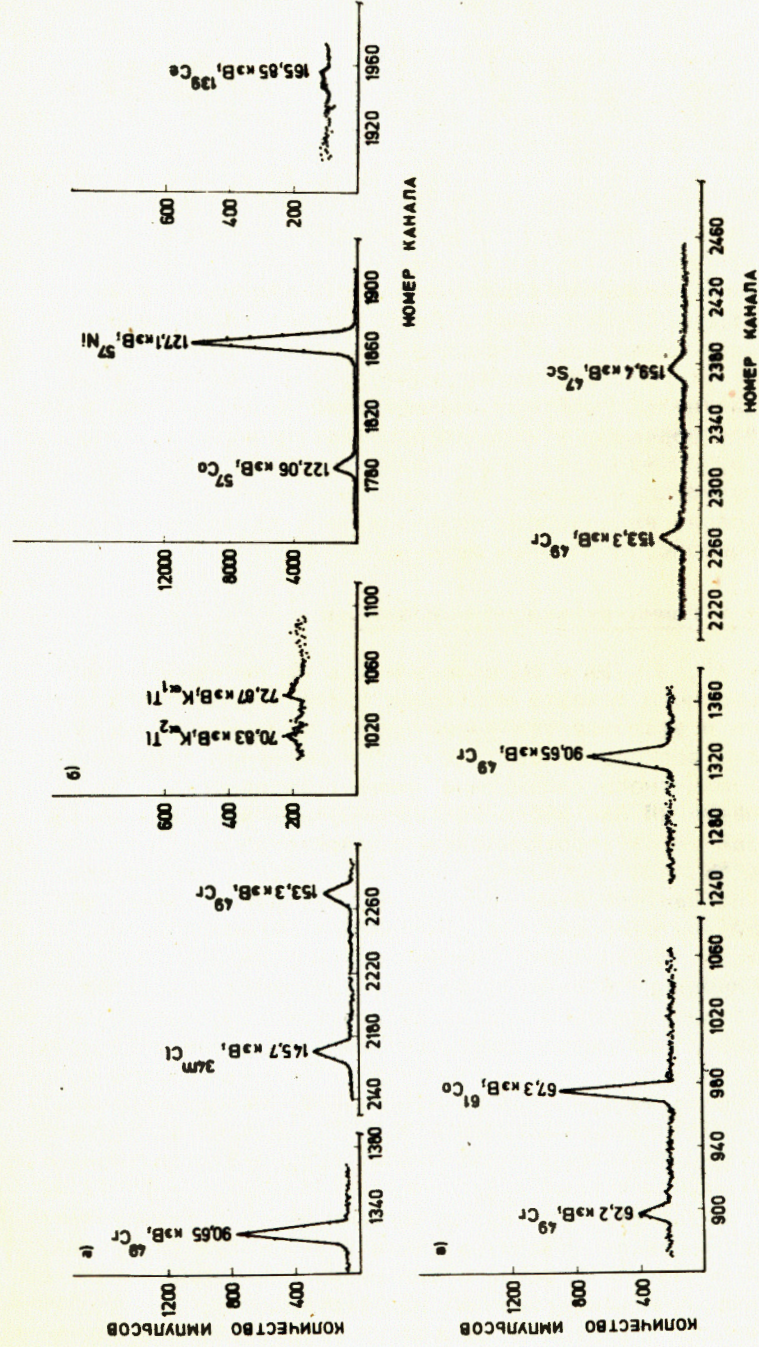


Рис.2. Участки гамма-спектров образца хондрита Дарев, облученного γ -квантами микрофона в течение 4 ч и измеренного на Ge-детекторе: а/ $t_{\text{выд.}} = 60$ мин, $t_{\text{изм.}} = 10$ мин; б/ $t_{\text{выд.}} = 25$ ч, $t_{\text{изм.}} = 1$ ч; в/ $t_{\text{выд.}} = 2,5$ ч, $t_{\text{изм.}} = 30$ мин.

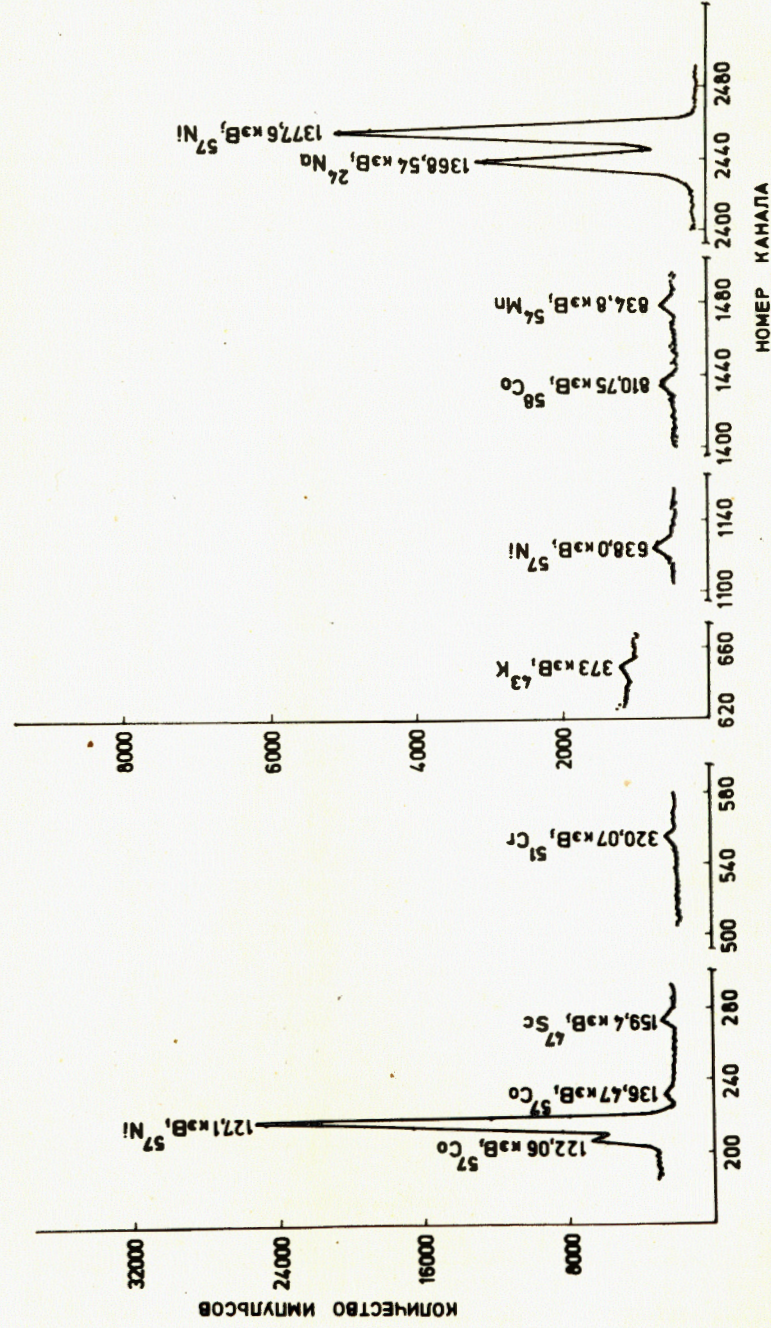


Рис.3. Участки гамма-спектра образца метеорита Кунашак, облученного γ -квантами микрофона в течение 4 ч и измеренного на Ge(Li)-детекторе: $t_{\text{выд.}} = 25$ ч, $t_{\text{изм.}} = 1$ ч.

Таблица 1

Ядерные реакции, протекающие в веществе метеоритов, облученном γ -квантами микротрона

Изотоп	Реакция	$T_{1/2}$, З	E_{γ} , КэВ	Квантовый выход на 100 распа- дов, n к %	Распростра- ненность в природной смеси, %
^{23}Na	$^{23}\text{Na}(\gamma, n)^{22}\text{Na}$	2,6г	1274,5	99,95	100
^{25}Mg	$^{25}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$	15ч	1368,5	99,99	10,13
^{29}Si	$^{29}\text{Si}(\gamma, p)^{28}\text{Al}$	2,3мин	1778,7	100	4,70
^{30}Si	$^{30}\text{Si}(\gamma, p)^{29}\text{Al}$	6,52мин	1273,0	89,1	3,09
^{35}Cl	$^{35}\text{Cl}(\gamma, n)^{34\text{m}}\text{Cl}$	32,06мин	145,7	35,8	75,53
^{39}K	$^{39}\text{K}(\gamma, n)^{38}\text{K}$	7,71мин	2168,0	99,80	93,10
^{44}Ca	$^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$	22,6ч	373,7	89,7	2,06
^{48}Ca	$^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$	4,55дн.	1297,1	75	0,185
^{48}Ti	$^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Si}$	3,4дн.	159,4	70	73,94
^{52}Cr	$^{52}\text{Cr}(\gamma, n)^{51}\text{Cr}$	27,73дн.	320,0	9,83	83,76
^{50}Cr	$^{50}\text{Cr}(\gamma, n)^{49}\text{Cr}$	41,4мин	90,65	53,9	4,31
^{55}Mn	$^{55}\text{Mn}(\gamma, n)^{54}\text{Mn}$	312,3дн.	834,8	99,98	100
^{57}Fe	$^{57}\text{Fe}(\gamma, p)^{56}\text{Mn}$	2,58ч	846,64	99	2,17
^{54}Fe	$^{54}\text{Fe}(\gamma, n)^{53}\text{Fe}$	8,53мин	377,9	42	5,84
^{59}Co	$^{59}\text{Co}(\gamma, n)^{58}\text{Co}$	70,78дн	810,75	99,45	100
^{58}Ni	$^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$	36,16ч	197,1	16,15	67,88
^{88}Sr	$^{88}\text{Sr}(\gamma, n)^{87\text{m}}\text{Sr}$	2,8ч	388,3	84,1	82,56
^{90}Zr	$^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$	78,43ч	909,1	99,86	51,46
^{140}Ce	$^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139}\text{Ce}$	137,63дн.	165,85	80,1	88,48
^{142}Ce	$^{142}\text{Ce}(\gamma, n)^{141}\text{Ce}$	32,5дн.	145,45	49,0	11,07
^{149}Nd	$^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$	1,73ч	114,32	16,1	5,6
^{204}Pb	$^{204}\text{Pb}(\gamma, n)^{203}\text{Pb}$	52,1ч	72,87	88	1,37
^{204}Hg	$^{204}\text{Hg}(\gamma, n)^{203}\text{Hg}$	45,6дн.	279,0	13,0	6,85

Na, Al, V, Mn образуют удобные для анализа радиоизотопы в (n, γ)-реакциях с фотонейтронами микротрона.

Вклад конкурирующих реакций

Вклад конкурирующих реакций, протекающих при взаимодействии тормозного излучения / γ -квантов / с ядрами мишени, рассчитывался с учетом ядерно-физических характеристик радиоизотопов $^{12/}$ и распространенности элементов в метеоритном веществе $^{15/}$. Интерферирующий эффект выражен величиной R, определяемой отношением веса мешающего элемента к весу анализируемого элемента при достижении равенства активности образовавшихся изотопов.

Полученные данные приведены в табл.2. Из их рассмотрения видно, например, что при определении титана помехи могут возникнуть за счет активности радиоизотопов ^{47}Sc , $^{123\text{m}}\text{Sn}$ и $^{123\text{m}}\text{Te}$, образующихся в (y, n) - (y, α) - (y, y')-реакциях. Однако вкладом радиоизотопов ^{47}Sc и $^{123\text{m}}\text{Te}$ образующихся из ядер ванадия и теллура, в фотопик с энергией 159 кэВ можно пренебречь из-за низкой распространенности этих элементов. Вклад ^{47}Sc за счет β -распада ^{47}Ca при $t_{\text{выд.}} = 3$ ч в 310 раз меньше вклада ^{47}Sc по основной $^{48}\text{Ti}(\gamma, p) - ^{47}\text{Sc}$ -реакции определения титана; вклад $^{123\text{m}}\text{Sn}$ за счет реакции $^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123\text{m}}\text{Sn}$ в фотопик с $E_{\gamma} = 159$ кэВ хотя и больше в 20 раз, но при распространенности олова в метеоритах в 500-1000 раз меньшей, чем распространенность титана, будет невелик, и им также следует пренебречь.

Вклад интерферирующих реакций в основную активность других определяемых элементов вследствие резких различий в их распространенности незначителен, и его можно не учитывать.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований химического состава стандартных образцов и метеорита Кунашак с использованием γ -квантов и нейтронов микротрона установлены некоторые оптимальные условия проведения опыта, рассчитаны относительная ошибка и предел определения элементов. Данные приведены в табл.3. Из нее видно, что в результате последовательного трехкратного измерения облученных образцов представляется возможным определить 18 из 22 предполагаемых /см. табл.1/ элементов с пределом обнаружения от $n \cdot 10^{-4}$ % /Cl, Pb, Zr, Sr / до $n \cdot 10^{-1}$ % /Fe, Ca, Mg / и ошибкой от 2-6% /Ni, Fe, Co / до 30-40% /Ce, Pb /. Следует заметить, что весьма важные сведения о содержании Ni, Co и Fe, вследствие сравнительно высоких значений сечений активации их фотонами, могут быть получены с высокой точностью и из меньших навесок проб метеоритов. Однако, ввиду того, что гамма-излучение радиоизотопов ^{57}Ni и ^{57}Co с энергией соответственно 127 и 122 кэВ создает значительный комптоновский фон в области низкоэнергетических γ -квантов, представляется затруднительным определение некоторых других микроэлементов, например, урана, тория, самария, неодима.

Интерферирующие реакции, возникающие при облучении метеоритов
тормозным излучением / γ -квантами / микротрона

Определяемый элемент	Образующий радиоизотоп	Интерферирующие ядерные реакции	$T_{1/2}$, интерферирующего радиоизотопа	E , КэВ	Интерферирующий эффект, P_a
I	2	3	4	5	6
Натрий	^{22}Na	$^{169}\text{Tm}(\sigma, n)$, ^{168}Tm	93, 1 дн.	1277,4	$1,43 \times 10^{-1}$
Магний	^{24}Mg	$^{23}\text{Na}(n, \sigma)$, ^{24}Na $^{27}\text{Al}(n, \sigma)$, ^{24}Na	15ч	1368,5	$1,2 \times 10^2$
			15ч	1368,5	$5,0 \times 10^2$
Кремний	^{28}Al	$^{27}\text{Al}(n, \sigma)$, ^{28}Al $^{23}\text{Na}(\sigma, n)$, ^{22}Na	2, 23 мин	1778,7	$3,5 \times 10^1$
	^{29}Al		2, 6г	1274,5	$3,0 \times 10^2$
Хлор	$^{34\text{m}}\text{Cl}$	$^{169}\text{Tm}(\sigma, n)$, ^{168}Tm	93, 1 дн.	1277,4	$4,3 \times 10^1$
	^{38}K	$^{142}\text{Nd}(\sigma, n)$, ^{141}Nd	2, 6ч	145,0	5,8
Калий	^{47}Ca	-	-	-	-
Кальций	^{43}Ca	-	-	-	-
		$^{97}\text{Mo}(\sigma, p)$, ^{96}Nd	23, 35ч	371,8	$2,5 \times 10^1$
		$^{132}\text{Ba}(\sigma, n)$, ^{131}Ba	1 дн.	373,0	$4,6 \times 10^{-1}$ (б)
		$^{130}\text{Ba}(\sigma, p)$, ^{129}Cs	32, 06ч	371,9	$4,6 \times 10^{-1}$ (б)

Таблица 2 / продолжение /

I	2	3	4	5	6
Титан	^{47}Sc	$^{48}\text{Ca}(\sigma, n)$, ^{47}Ca , ^{47}Sc $^{51}\text{V}(\sigma, \alpha)$, ^{47}Sc $^{124}\text{Sn}(\sigma, n)$, $^{123\text{m}}\text{Sn}$ $^{123}\text{Te}(\sigma, \sigma')$, $^{123\text{m}}\text{Te}$ $^{124}\text{Te}(\sigma, n)$, $^{123\text{m}}\text{Te}$	3, 42 дн.	159,4	$3,1 \times 10^2$ (в)
			3, 42 дн.	159,4	$1,25 \times 10^2$
			39, 5 мин	159,7	$5,0 \times 10^{-2}$ (в)
			120 дн	159,0	$5,5 \times 10^2$ (г)
Хром	^{51}Cr	-	-	-	-
	^{49}Cr	$^{68}\text{Zn}(\sigma, p)$, ^{67}Cu	61, 9ч	91,26	$5,9 \times 10^2$
		$^{121}\text{Sb}(\sigma, n)$, $^{120\text{m}}\text{Sb}$	5, 8 дн.	89,86	8,2
		$^{165}\text{Ho}(\sigma, n)$, ^{164}Ho	29 мин	91,5	$6,0 \times 10^{-3}$
		$^{176}\text{Hf}(\sigma, n)$, ^{175}Hf	70 дн.	89,6	$3,6 \times 10^{-1}$
		$^{232}\text{Th}(\sigma, n)$, ^{231}Th	25, 0ч	89,94	1,0
Марганец	^{54}Mn	-	-	-	-
Железо	^{56}Mn	$^{55}\text{Mn}(n, \sigma)$, ^{56}Mn	2, 58ч	846,64	2,8
	^{53}Fe		-	-	-
Кобальт	^{58}Co	$^{48}\text{Ca}(\sigma, n)$, ^{47}Ca	4, 55 дн	807,9	$5,5 \times 10^2$
Никель	^{57}Ni	-	-	-	-
Стронций	$^{87\text{m}}\text{Sr}$	$^{127}\text{I}(\sigma, n)$, ^{126}I	13, 9 дн	388,47	$2,5 \times 10^1$

Таблица 2 / продолжение /

I	2	3	4	5	6
Цирконий	^{89}Zr	-	-	-	-
Свинец	^{203}Pb	-	-	-	-
Церий	^{139}Ce	^{238}U (γ, n) ^{237}U	6,75дн.	164,5	2,75

/а/ Р - относительная величина;
 /б/ с учетом вклада реакций, протекающих на изотопах ^{132}Ba и ^{130}Ba
 /в/ экспериментальные данные при $t_{\text{выд.}} = 3$ ч;
 /г/ с учетом обеих реакций.

Таблица 3

Некоторые характеристики активационного метода
 определения химических элементов в метеоритах

Элемент	Время вы- держки, ч	Предел обнаруже- ния, % (ж)	Относительная ошибка, %
Натрий	48 (3)	0,1 (0,07)	20
Магний	3	0,2	7
Алюминий	$\ll 1$	(0,06)	9
Кремний	$\ll 1$	0,3	7
Хлор	$\ll 1$	30 Г/т	11
Калий	$\ll 1$	0,02	25
Кальций	3	0,3	25
Титан	3	0,01	7
Ванадий	$\ll 1$	(20 Г/т)	20
Хром	< 1 и 48	0,01	12
Марганец	48 (3)	0,03, (50 Г/т)	10
Железо	< 1	0,3	5
Кобальт	48	30 Г/т	6
Никель	48	40 Г/т	2
Стронций	3	1 Г/т	15
Цирконий	48	5 Г/т	25
Церий	48	1 Г/т	30-40
Свинец	48	5 Г/т	40

/ж/ Гамма-активационный, в скобках - нейтронно-активационный метод анализа.

Содержание основных и некоторых микроэлементов в метеоритах^{a/}

Эле- мент	Каменные метеориты (хондриты)			Каменные метеориты (ахондриты)			Железный метеорит	
	Царев (L5) Жогтневий хутор (H ₅)	Кунашак (L6)	Allende (CV3)	Morton County (эбрит)	Червоный Кут (эвкрит)	Сиктоге-Алинь (октаэдрит)	наст. раб.	наст. раб.
	наст. лит./2/ раб. №1180 №15380 №1724	наст. лит./2/ раб. №1772	наст. лит./17/ раб.	наст. лит./18/ раб. №2222	наст. лит./21/ раб. №1890	наст. раб. №2093	лит. /21/	лит. /22/
Na	0,60 0,57 ⁽⁶⁾ 0,65 0,50 0,60 0,53 0,35 0,33 0,09 0,09 ^{19/} 0,37 0,38							
Mg	15,0 14,96 15,3 14,79 15,2 15,19 14,4 14,85 24,5 24,97 4,2 4,16							
Al	1,2 1,1 1,3 1,31 1,2 1,22 1,7 1,73 0,5 0,138 6,9 7,1							
Si	18,0 17,5 19,0 18,95 19,1 18,98 15,8 16,00 26,0 25,08 22,9 22,82							
Cl	~100 ~100 ⁽⁶⁾ ~80 ~80 ⁽⁶⁾ ~80 200 220 ⁽⁶⁾ н.о. 4 ⁽⁶⁾ <100 20 ⁽⁶⁾							
K	0,08 0,075 0,09 0,08 0,07 0,08 ⁽⁶⁾ 0,03 0,02 0,02 0,07 0,05 0,099							
Ca	1,9 1,36 1,3 1,39 1,3 1,38 1,8 1,87 0,9 0,930 7,6 8,1							
Ti	0,063 0,062 ⁽⁶⁾ 0,08 0,072 0,08 0,066 0,09 0,09 0,03 0,034 0,46 0,43							
V	60 61 70 74 ⁽⁶⁾ 90 74 ⁽⁶⁾ 90 88 ⁽⁶⁾ 20 17 ⁽⁶⁾ 70 75 ⁽⁶⁾							
Cr	0,33 0,33 0,38 0,36 0,35 0,32 0,36 0,36 0,036 0,039 0,23 0,14							
Mn	0,22 0,226 ⁽⁶⁾ 0,24 0,26 0,22 0,22 0,15 0,14 0,16 0,179 0,45 0,47							
Fe	26,9 26,48 21,0 20,34 22,0 21,43 24,0 23,85 1,2 1,28 ^{20/} 14,7 14,53 94,0 94,12							

Таблица 4 / продолжение /

Co	660 860 ⁽⁶⁾ 450 480 660 660 640 600 5 4 ^{20/} 10 10 ⁽⁶⁾ 4700 4800
Ni	1,52 1,52 1,3 1,08 1,19 1,14 1,35 1,39 0,02 0,026 0,01 0,01 ⁽⁶⁾ 5,5 5,4
Sr	13 14,5 ⁽⁶⁾ 14 12 ⁽⁶⁾ 13,5 12 ⁽⁶⁾ 14 13 1,8 1,4 70 76 ⁽⁶⁾ - -
Zr	12 7-14 ⁽⁶⁾ 15 11 ⁽⁶⁾ 12 11 ⁽⁶⁾ 10 9 ⁽⁶⁾ 10 4 50 51 ⁽⁶⁾ - -
Ce	0,9 0,85 ⁽⁶⁾ 1,2 0,96 ⁽⁶⁾ 1,2 0,96 ⁽⁶⁾ 1 1,2 0,8 1 10 8 - -
Pb	<0,4 0,08- 0,46 ⁽⁶⁾ <0,6 0,06- 0,5 ⁽⁶⁾ <0,4 0,06-0,5 I (6) I 1,2 0,6 0,57 ~0,6 0,55 ⁽⁶⁾ - -

a/ Содержание в %, Cl, V, Co, Sr, Zr, Ce, Pb - 10⁻⁴ %;
б/ среднее значение по

Классификация каменных метеоритов /хондритов и акондритов/ по химическому составу

Отношение	Хондриты				Акондриты			
	Жовтневый Хутор H ₅	Царев L 5	Кунешак L 6	Allende CV3	Morton County Au	Червоный Eu	Кут	
Mg/Si	0,83 0,85	0,81 0,80	0,80 0,80	0,91 0,93	0,94 0,99	0,18 0,18	0,18 0,18	0,18 [±] 0,01
Al/Si	0,066 0,063	0,068 0,069	0,064 0,063	0,108 0,108	0,019 0,006	0,30 0,30	0,31 0,31	0,29 [±] 0,01
Ca/Si	0,072 0,078	0,068 0,073	0,072 0,072	0,114 0,117	0,035 0,037	0,33 0,33	0,35 0,35	0,32 [±] 0,01
Fe/Si	1,49 1,53	1,11 1,07	1,13 1,15	1,48 [±] 1,52	0,046 0,051	0,64 0,64	0,64 0,64	0,63 [±] 0,04
	наст. лит. /2/	наст. лит. /16/	наст. лит. /16/	наст. лит. /17/	наст. лит. /18/	сред. знач. /21/	сред. знач. /21/	сред. знач. /2/
	0,82 [±] 0,03	0,80 [±] 0,03	0,80 [±] 0,03	0,93 [±] 0,01	0,94 0,99	0,88 [±] 0,05	0,88 [±] 0,05	0,88 [±] 0,05
	±0,002	±0,002	±0,002	±0,004	±0,004	±0,015	±0,015	±0,015
	±0,004	±0,004	±0,004	±0,002	±0,002	±0,030	±0,030	±0,030
	±0,06					±0,015	±0,015	±0,015

Дополнительные сведения по поиску оптимальных режимов облучения и измерения образцов и величин навески образцов метеоритов, возможно, позволят повысить надежность результатов анализа и понизить предел обнаружения элементов с аналитическими линиями в области энергий свыше 127 кэВ.

С учетом найденных оптимальных условий проведения опытов выполнен анализ других метеоритов и проведено сравнение полученных результатов с литературными данными.

Полученные результаты представлены в табл.4 и 5. Они свидетельствуют об удовлетворительном согласии полученных экспериментальных и литературных данных как по содержанию отдельных элементов, так и по величине отношений Mg/Si, Al/Si, Ca/Si, Fe/Si, применяемых для классификации каменных метеоритов по химическому составу. Они подтверждают таким образом возможность использования гамма-квантов и фотонейтронов микрофона для неструктивного анализа метеоритного вещества.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.С.Замятину за внимание и поддержку работы, А.Г.Белову за помощь в облучении образцов на микрофоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мейсон Б. Метеориты. "Мир", М., 1965, с.61.
2. Дьяконова М.И., Харитонов В.Я., Явнель А.А. Химический состав метеоритов. "Наука", М., 1979, с.5.
3. Дьяконова М.И., Харитонов В.Я. Метеоритика. Изд-во АН СССР, М., 1966, XXVII, с.89.
4. Парсон М. Ядерные методы анализа вещества. В кн.: Спектроскопические методы определения следов элементов. "Мир", М., 1979, с.298.
5. Анисимова И.Н. и др. Информационный материал по методам определения химического состава горных пород, руд, минералов и природных вод. Изд-во ГЕОХИ АН СССР, М., 1982, с.3.
6. Agudo E.G., Aten A.H.W. Meteoritics, 1969, vol.4, No.4, p.257.
7. Vobecky M. et al. Radiochem. and Radioanalyt.Letters, 1979, No.6, p.237.
8. Seitner H. et al. J.Radioanal.Chem., 1971, 7, No.2, p.235.
9. Колесов Г.М. Метеоритика. "Наука", М., 1976, вып.35, с.59.
10. Колесов Г.М. и др. Метеоритика. "Наука", М., 1982, вып.40, с.26.
11. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, Р9-82-301, Дубна, 1982.
12. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиационных нуклидов. Атомиздат, М., 1977.
13. Эрнандес А., Рубио Д. ОИЯИ, 18-80-337, Дубна, 1980.

14. Эрнандес А., Белов А.Г. В кн.: 4-е Совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-82-117, Дубна, 1982. с.196-204.
15. Mason B. Handbook of Chemical Abundance in Meteorites, 1971, No.4.
16. Барсукова Л.Д., Харитонов В.Я., Банных Л.Н. Метеоритика. "Наука", М., 1982, вып.41, с.41.
17. Clark R.S. Smithsonian Contribut. Earth Scie., 1970, No.5, p.1.
18. Michaelis H., Ahrens L.H., Willies J.P. Earth Planet Scie. Lett., 1969, 5, No.6, p.387.
19. Wiik H.B. Comment Phys.Math.Soc.Scient. Fennica, 1969, 34, No.13, p.1.
20. Nichiporuk W. et al. Geochim. et Cosmochim.Acta, 1967, 31, No.10, p.1911.
21. Чирвинский А.Н., Соколова А.И. Метеоритика. Изд-во АН СССР, 1946, вып.3, с.37.
22. Явнель А.А., Колесов Г.М. Метеоритика. "Наука", М., 1977, вып.36, с.162.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1983 года.

Колесов Г.М., Эрнандес А. 18-83-211
Исследование химического состава метеоритов
активационным методом с использованием микротрона

Показана возможность использования тормозного излучения и фотонейтронов микротрона для установления химического состава каменных и железных метеоритов. Найдены условия активационного определения около 20 элементов в образцах метеоритов без их разрушения. Установлены оптимальные геометрия и режим облучения образцов, время их выдержки и измерения, оценен вклад конкурирующих реакций, рассчитаны предел и погрешность определения. Получено удовлетворительное совпадение экспериментальных результатов химического состава с литературными данными.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Kolesov G.M., Hernández A. 18-83-211
Investigation of the Chemical Composition of Meteorites
by Activation Analysis with a Microtron

Application of bremsstrahlung and photoneutrons from a microtron for determining the chemical composition of stone and iron meteorites was investigated. Nearly 20 elements have been determined mostly by instrumental photon activation analysis, but instrumental thermal neutron activation analysis has been also applied for determining several elements in the samples. The optimal irradiation regimes and both cooling and measuring times were established. Sensitivity and accuracy of the analysis are presented. During analysis of the samples different types of interference reactions were taken into account. The experimental data were in satisfactory agreement with the results reported in literature.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983