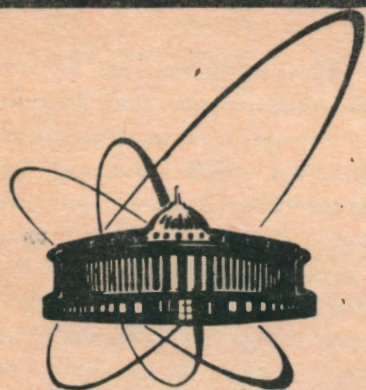


91-123



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P6-91-123

Ш.Гэрбиш, Н.Содном¹, Д.Баатархуу, В.Е.Жучко,
М. Леонард², Г.Перес, А.Рийжээ

**МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЙ ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ
АНАЛИЗ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД
И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ
НА МИКРОТРОНЕ**

¹Институт физики и техники АН Монголии, Улаанбаатар

²Центральная поликлиника им.Германос Алмегейрас,
Гавана, Куба

Одной из наиболее перспективных областей применения методов гамма-активационного анализа (ГАА) является определение элементного состава геологических объектов. Важным преимуществом методов ГАА является тот факт, что пороодообразующие элементы, как правило, имеют более высокие значения порогов активации, чем анализируемые элементы. Это позволяет обеспечить высокую селективность анализа за счет вариации верхней границы энергии тормозного излучения при активации образцов.

В настоящее время разработан широкий набор ГАА методов анализа горных пород и руд различного вещественного состава [1-5].

При разработке методики многоэлементного ГАА элементного состава вещества с использованием тормозного излучения ускоренных электронов наиболее остро встает потребность в данных по выходам $Y(E_{\gamma m})$ или сечениям $\sigma(E_{\gamma})$ фотоактивации ядер.

Имеющиеся в настоящее время в более чем 20 публикациях экспериментальные данные по $Y(E_{\gamma m})$ не могут обеспечить потребности ГАА по полноте и точности [6-7]. Кроме различных расчетных методов наиболее надежным путем пополнения данных по $Y(E_{\gamma m})$ является измерение выходов активационным методом. От измеренных значений $Y(E_{\gamma m})$ выходов легко можно рассчитать абсолютное значение сечения фотоактивации ядер для других элементов, используя хорошо известные значения сечений реакции $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$ ($T_{1/2} = 9,73$ мин) и $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ ($T_{1/2} = 12,7$ ч) [8-10].

1. Метод определения выходов фотоядерных реакций

Для апробации разрабатываемого метода инструментального гамма-активационного анализа (ИГАА) определяли выход фотоядерной реакции $^{35}\text{Cl}(\gamma, n)^{34m}\text{Cl}$ при различных энергиях тормозного излучения микротрона. С этой целью облучали образцы $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (чда) массой 400 мг и определяли выход ^{34m}Cl по формуле:

$$Y = \frac{A_0}{n I (1 - \exp(-\lambda t))}, \quad (1)$$

где Y - выход изотопа ^{34m}Cl , распад моль $^{-1}$ Р $^{-1}$; I - интенсивность потока гамма-квантов, Р.мин $^{-1}$; t - время облучения, мин; λ - постоянная радиоактивного распада ^{34m}Cl - 0,0214 мин $^{-1}$. Результаты определения выхода реакции $^{35}\text{Cl}(\gamma, n)^{34m}\text{Cl}$ даны в табл.1 и сравнены с данными выхода этой реакции других авторов [11,12 и 13].

© Объединенный институт ядерных исследований Дубна, 1991

Этим же активационным методом определены выходы фотоядерных реакций 37 элементов при кратковременном облучении тормозным излучением микротрона на максимальных энергиях ускоренных электронов 14, 18 и 20 МэВ. Результаты выходов представлены в табл.2.

2. Метод ИГАА медно-молибденовых руд и продуктов их переработки

С целью снижения пределов обнаружения основных и сопутствующих элементов медно-молибденовых руд и продуктов их переработки проведено исследование по разработке методики многоэлементного ГАА медно-молибденовых руд и продуктов их переработки с использованием тормозного излучения (18 МэВ) микротрона.

Аналитический контроль технологических процессов переработки медного сырья должен обеспечивать получение данных о содержании основных (Cu, Mo), сопутствующих (Ag, Au, Se, Te, Ge, Ga, Ta, In, Cd, Ni, Co и др.), вредных (As, Sb, Hg, Pb и др.) и отходообразующих (Fe, Si, Al, Mg, Ca) элементов в материалотоках на различных стадиях производства.

Образцы руд, концентраты и отвальные хвосты в виде порошка помещали в полиэтиленовые кассеты (с внутренним диаметром 19 мм и высотой 3 мм), закрытые лавсановой пленкой толщиной 6-10 мкм. Навеска их составляла 3,5-4 г (концентраты), 2-3 г (исходная руда) и 1,5-2 г (отвальные хвосты).

В качестве материалов сравнения использовались стандартные образцы медно-цинковых сульфидных руд ГСО СССР: РУС-1 791-76, РУС-2 792-76, РУС-3 793-76, РУС-4 794-76 и почв МАГАТЭ Soil-5 и soil-7; полиметаллических руд УСЗ МНР 3-85 и 4-85. Методика количественного многоэлементного анализа проведена по схеме, описанной в работе [14]. В табл. 3, 4, 5 и 6 представлены результаты определения некоторых основных и сопутствующих элементов в образцах медно-молибденовых руд и продуктов их переработки методом многоэлементного ГАА и сравнены с результатами, полученными другими методами. Из этих таблиц видно, что ИГАА с использованием тормозного излучения микротрона может быть с успехом применен для анализа вещественного состава медно-молибденовых руд и продуктов его переработки, а также для контроля загрязненности окружающей среды предприятиями перерабатывающей промышленности.

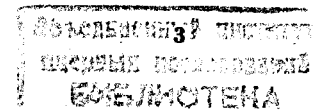


Таблица 1.

Результаты определения выхода реакции $^{35}\text{Cl}(\gamma, n)^{34\text{m}}\text{Cl}$		
Энергия ускоренных электронов (E_m), МэВ	Выход изотопа $^{34\text{m}}\text{Cl}$, распад моль $^{-1}$ Р $^{-1}$	
	14	(3,0 \pm 0,5)
18	(4,3 \pm 0,2)	10 ⁴
18,5	(7,0 \pm 0,2)	10 ⁴ [11]
19	(8,4 \pm 0,1)	10 ⁴
20	9,1	10 ⁴ [12]
21	(1,2 \pm 0,05)	10 ⁵
25	(1,6 \pm 0,02)	10 ⁵ [11]
30	2,2	10 ⁵ [13]

Таблица 2.

Экспериментальные значения выходов фотоядерных реакций
для некоторых элементов (время облучения 5-10 мин)

Элементы, тип реакций, период полураспада и аналитические гамма-линии, кэВ	Выходы, (расп./ моль Р)		
	14 МэВ	18 МэВ	20 МэВ
Mg $^{26}\text{Mg}(\gamma, p)^{25}\text{Na}$ 60 с	975,2	4,09+E3	1,22+E4
Cl $^{35}\text{Cl}(\gamma, n)^{34\text{m}}\text{Cl}$ 32 м	146,5	4,32+E4	9,56+E4
Ti $^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$ 82 ч	159,4	1,78+E3	2,27+E4
Cr $^{50}\text{Cr}(\gamma, n)^{49}\text{Cr}$ 42 м	152,6	9,03+E3	1,75+E6
Fe $^{57}\text{Fe}(\gamma, p)^{56}\text{Mn}$ 2,57 ч	846,6	1,76+E4	1,83+E5
	1810,7	1,87+E4	2,08+E5
Ni $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ 36 ч	127,0	2,97+E3	5,25+E4
	1377,0	3,95+E3	5,88+E4
Co $^{59}\text{Co}(\gamma, n)^{58}\text{Co}$ 1711 ч	810,6	3,9+E2	2,94+E3
Zn $^{64}\text{Zn}(\gamma, n)^{63}\text{Zn}$ 38,4 м	669,6	9,49+E4	1,10+E6
	961,9	1,01+E5	1,20+E6
	1411,9	1,11+E5	2,00+E6
Ge $^{70}\text{Ge}(\gamma, n)^{69}\text{Ge}$ 39 ч	574,0	5,72+E4	2,74+E5
	872,0	5,72+E4	3,21+E5
	1106,5	5,17+E4	2,99+E5
$^{76}\text{Ge}(\gamma, n)^{75}\text{Ge}$ 82,2 м	199,2	2,32+E4	4,36+E5
	264,8	2,47+E4	4,17+E5
$^{75\text{m}}\text{Ge}$ 46 с	139,8	4,19+E4	1,42+E5

Продолжение табл.2.

Sr $^{86}\text{Sr}(\gamma, n)^{85\text{m}}\text{Sr}$ 68 м	151,3	5,84+E5	7,10+E6	1,56+E7
	231,7	5,70+E5	6,94+E6	1,46+E7
$^{88}\text{Sr}(\gamma, n)^{87\text{m}}\text{Sr}$ 2,8 ч	388,4	2,26+E5	2,77+E6	5,28+E6
Zr $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$ 78,4 ч	909,1	6,75+E3	1,32+E4	2,14+E5
$^{89\text{m}}\text{Zr}$ 4,18 м	587,8	3,12+E6	2,22+E7	8,95+E7
	1508,0	3,98+E6	2,54+E7	1,02+E8
Nb $^{93}\text{Nb}(\gamma, n)^{92\text{m}}\text{Nb}$ 240 ч	934,5	7,31+E3	4,91+E4	1,61+E5
Mo $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ 66 ч	739,7	2,14+E4	8,08+E4	1,06+E5
Cd $^{112}\text{Cd}(\gamma, n)^{111\text{m}}\text{Cd}$ 48 м	150,6	4,49+E5	3,48+E6	2,73+E7
	245,3	5,22+E5	3,59+E6	3,13+E7
$^{116}\text{Cd}(\gamma, n)^{115}\text{Cd}$ 53,5 ч	492,3	2,56+E5	7,77+E5	5,97+E6
	527,8	2,85+E5	6,77+E5	5,98+E6
$^{106}\text{Cd}(\gamma, n)^{105}\text{Cd}$ 56 м	347,1	1,40+E6	9,04+E6	8,27+E7
	606,6	1,32+E6	7,00+E6	9,20+E7
	961,1	1,13+E6	1,35+E7	2,26+E8
	1301,8	2,04+E6	1,20+E7	1,32+E8
In $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112}\text{In}$ 14,4 м	606,4	1,11+E6	7,01+E6	1,05+E8
	618,2	1,20+E7	5,81+E7	9,90+E7
$^{112\text{m}}\text{In}$ 20,7 м	155,4	1,31+E5	7,02+E5	1,25+E6
Sn $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ 35 м	761,7	4,75+E6	4,67+E7	2,66+E8
	1152,5	7,84+E6	4,74+E7	7,87+E7
	1913,8	9,35+E6	3,68+E7	1,14+E8
$^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123\text{m}}\text{Sn}$ 39,5 м	159,7	3,32+E7	2,85+E8	3,94+E8
Sb $^{123}\text{Sb}(\gamma, n)^{122}\text{Sb}$ 2,68 сут.	564,1	4,42+E5	6,08+E5	6,99+E5
$^{121}\text{Sb}(\gamma, n)^{120\text{m}}\text{Sb}$ 15,9 м	1171,2	7,11+E7	1,02+E8	1,18+E8
Te $^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129\text{m}}\text{Te}$ 69,6 м	459,5	1,29+E7	3,89+E7	5,92+E7
	487,4	1,36+E7	4,16+E7	6,32+E7
Cs $^{133}\text{Cs}(\gamma, n)^{132}\text{Cs}$ 6,47 сут.	667,6	1,53+E5	6,08+E5	1,28+E6
Ba $^{138}\text{Ba}(\gamma, n)^{137\text{m}}\text{Ba}$ 2,55 м	661,6	7,01+E5	4,14+E6	6,85+E7
Ce $^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139}\text{Ce}$ 137 сут.	165,85	1,52+E4	2,94+E4	9,47+E4
$^{139\text{m}}\text{Ce}$ 54 с	754,4	1,26+E7	3,33+E7	1,64+E8
Nd $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}$ 60,3 с	756,5	2,30+E6	2,46+E7	9,07+E7
$^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$ 1,73 ч	144,3	4,25+E6	8,32+E6	3,57+E7
	211,3	5,96+E6	1,09+E7	4,18+E7
	270,3	6,06+E6	1,46+E7	3,97+E7
Sm $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143\text{m}}\text{Sm}$ 65 с	754,4	6,88+E7	4,35+E8	1,50+E9

Продолжение табл. 2.

Gd	$^{160}\text{Gd}(\gamma, n)$	^{159}Gd	18,6 ч	363,5	2,80+E6	5,34+E6	1,23+E7
Tm	$^{169}\text{Tm}(\gamma, n)$	^{168}Tm	93 сут.	198,0	1,79+E4	3,28+E4	9,82+E4
				815,0	3,11+E4	4,92+E4	1,02+E5
Dy	$^{162}\text{Dy}(\gamma, p)$	^{161}Tb	6,9 сут.	74,6	1,21+E5	3,72+E5	1,67+E6
Yb	$^{170}\text{Yb}(\gamma, n)$	^{169}Yb	31 сут.	110,0	8,23+E6	2,46+E7	7,38+E7
				197,8	1,45+E6	4,98+E7	1,25+E8
	$^{176}\text{Yb}(\gamma, n)$	^{175}Yb	4,2 сут.	282,6	7,64+E6	5,82+E7	1,79+E8
				396,1	1,07+E7	7,97+E7	3,17+E8
Hf	$^{180}\text{Hf}(\gamma, n)$	^{179m}Hf	18,6 с	215,5	5,89+E6	5,31+E7	1,47+E8
W	$^{180}\text{W}(\gamma, n)$	^{179m}W	6,7 м	221,5	8,89+E7	2,13+E8	2,81+E8
W	$^{186}\text{W}(\gamma, n)$	^{185m}W	1,6 м	131,4	3,50+E6	1,48+E7	1,81+E7
				188,2	4,33+E6	1,83+E7	2,66+E7
Os	$^{192}\text{Os}(\gamma, n)$	^{191}Os	15 сут.	129,5	9,23+E5	3,80+E6	1,27+E7
Ir	$^{191}\text{Ir}(\gamma, n)$	^{190}Ir	11 сут.	518,4	4,57+E6	1,44+E7	7,27+E7
	$^{193}\text{Ir}(\gamma, n)$	^{192}Ir	74 сут.	316,5	6,57+E6	1,46+E7	6,35+E7
				468,1	7,36+E6	1,43+E7	5,89+E7
Pt	$^{192}\text{Pt}(\gamma, n)$	^{191}Pt	72 ч	538,9	5,78+E5	1,74+E6	5,23+E7
Au	$^{197}\text{Au}(\gamma, n)$	^{196}Au	6,2 сут.	355,7	5,34+E6	1,41+E7	6,29+E7
Hg	$^{198}\text{Hg}(\gamma, n)$	^{197m}Hg	23,8 ч	133,9	4,23+E4	3,93+E5	1,86+E5
				278,9	7,22+E5	2,83+E6	1,61+E6
	$^{199}\text{Hg}(\gamma, p)$	^{198}Au	2,7 сут.	411,8	3,27+E3	9,04+E3	2,61+E4
	$^{200}\text{Hg}(\gamma, n)$	^{199m}Hg	42,6 м	158,4	1,26+E6	5,07+E6	5,69+E6
				374,1	2,60+E6	9,94+E6	8,82+E6
Pb	$^{204}\text{Pb}(\gamma, n)$	^{203}Pb	52,2 ч	279,2	6,16+E6	1,68+E7	7,35+E7
U	$^{238}\text{U}(\gamma, n)$	^{237}U	6,75сут.	59,54	9,38+E6	5,45+E7	1,26+E8

Таблица 3.

Результаты определения содержания элементов СО УСЗ
3-85 "медно-молибденовая руда" (МНР) (n = 4, p = 0,95)

Элементы	Содержание в процентах	
	ИГАА	другие методы
Cu	0,82 (26)	0,82 (1)*
Mo	0,019 (2)	0,017 (1)*
Fe	3,03 (2)	(2,786)
As	0,0215 (15)	(0,0186)
Sb	0,0025 (5)	(0,0025)
Na	1,14 (2)	(1,15)
Mg	0,46 (2)	(0,43)
Ca	0,20 (2)	(0,21)
Ti	0,25 (2)	(0,282)
Mn	0,012 (1)	(0,015)
Cr	0,0022 (2)	(0,0020)
Ni	0,0019 (3)	(0,0024)
Zn	0,011 (1)	(0,0129)
Co	0,0016 (3)	-----
Pb	0,0089 (5)	(0,00774)
Zr	0,014 (2)	(0,0100)
Rb	0,0081 (11)	(0,0078)
Ce	0,0052 (9)	(0,0044)
Nb	0,0016 (6)	(0,0013)
W	0,0027 (9)	(0,0030)
Ba	0,101 (14)	(0,0890)
Sr	0,0214 (25)	(0,0177)
Th	0,0004 (1)	(0,00033)
U	0,0003 (1)	(0,000298)

Примечание: в скобках дана погрешность последних цифр;

*) - аттестованные содержания.

Таблица 4.

Результаты определения содержания основных и сопутствующих элементов СО УСЗ 5-86 "медный концентрат" МНР (n=4, p=0,95)

Элементы	Содержание в процентах	
	ИГАА	другие методы
Cu	31,87 (36)	32,0 (2) *
Mo	0,13 (2)	0,14 (1) *
Fe	19,6 (3)	19,8 (6) *
Zn	0,125 (12)	0,15 (1) *
Pb	0,016 (2)	0,014 (1) *
As	0,28 (5)	-----
Sb	0,037 (7)	(0,040)
Se	0,0085 (3)	0,0077 (4) *
Te	0,0010 (8)	0,0008 (3) *
Zr	0,0042 (9)	(0,0040)
Ag	0,0062 (4)	0,0066 (2) *
Au	< 0,0005	(0,00001 - 0,0002)
Ni	0,0061 (4)	-----
Co	0,0081 (6)	-----
Ge	0,0009 (2)	-----
Mg	0,016 (5)	-----

Примечание: в скобках дана погрешность последних цифр;

*) - аттестованные содержания.

Таблица 5.

Результаты определения содержания элементов СО УСЗ 6-86 "молибденовый концентрат" (МНР) (n=4, p=0,95)

Элементы	Содержание в процентах	
	ИГАА	другие методы
Mo	51,50 (15)	51,6 (2) *
Cu	1,29 (6)	1,35 (3) *
Re	0,056 (8)	0,050 (6) *
As	0,038 (6)	(0,04)
Sb	0,0028 (4)	-----
Pb	0,020 (5)	(0,019)
Fe	2,37 (5)	(2,40)

Примечание: в скобках дана погрешность последних цифр;

*) - аттестованные содержания.

Таблица 6.

Результаты определения содержания элементов СО УСЗ 4-85 "отвальный хвост" обогащения медно-молибденовой руды МНР (n = 4, p = 0,95)

Элементы	Содержание в процентах	
	ИГАА	другие методы
Cu	0,128 (8)	0,115 (5) *
Mo	0,0083 (10)	0,0070 (7) *
Fe	3,00 (8)	2,73 (14) *
As	0,0048 (1)	(0,0047)
Sb	0,00070 (11)	-----
Na	1,36 (7)	(1,29)
Mg	0,41 (4)	-----
Ca	0,408 (29)	-----
Ti	0,26 (9)	-----
Mn	0,0087 (2)	-----
Cr	0,0018 (4)	(0,0022)
Ni	0,0021 (5)	(0,00165)
Zn	0,0075 (11)	(0,0068)
Pb	0,0079 (5)	(0,0051)
Zr	0,0165 (15)	(0,0149)
Rb	0,0085 (15)	(0,0080)
Ce	0,0036 (5)	-----
Y	0,0006 (1)	-----
Nd	0,0008 (2)	-----
W	0,0009 (4)	(0,0016)
Ba	0,14 (3)	-----
Sr	0,021 (2)	(0,0368)
Th	0,00020 (5)	-----
U	0,00010 (5)	-----

Примечание: в скобках дана погрешность последних цифр.

*) - аттестованные содержания.

Благодаря выбору энергии ускоренных электронов, равной 18 МэВ, для большинства элементов подавлены interfering фото-ядерные реакции, такие как ($\gamma, 2n$), (γ, np), (γ, α), ($\gamma, 3n$) и др.

Литература

1. Эрнандес Р.А., Рубио Д. Сообщение ОИЯИ, 18-80-337. Дубна, 1980.
2. Колесов Г.М., Эрнандес Р.А. Сообщение ОИЯИ, 18-83-211. Дубна, 1983.
3. Штань А.С. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационная техника. 1977, вып.15. С. 90-99.
4. Бурмистенко Ю.Н. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационная техника. 1975, вып.12. С.230-235.
5. Капица С.П., Самосюк В.Н., Фирсов В.И. и др. Журнал анал. химии, 1984, т.39, вып.12. С.2101-2119.
6. Lutz G.J. Analytical. Chem. V.43 No1. 1971. P.93-103.
7. Давыдов М.Г., Трухов А.В. В кн.: Тезисы докладов V все-союзного совещания по активационному анализу и другим радиоаналитическим методам, Ташкент, 26-28 мая 1987 г., Ташкент-1987. P-02070, РВС ЦСУ УзССР. т.1. С.55.
8. Goldenberg J. and Katz L. Canadian Journal of Physics, 1967. V. 32. P.49-59.
9. Oka Y, Kato T, Nomura K, et al. Bull. Chem. Soc. Japan, 1968. V. 41. P. 380-384.
10. Kato T, Masumoto K, Sato N. et. al. J. Radioanal.Chem., 1976. V. 32. P. 54-70.
11. Galatanu V, Grecescu M. Rev. Roum. Phys. 1979. T 24, No.1. P. 9-14.
12. Oka Y, Kato T, Nomura K. and Saito T. Bull. Chem. Soc. Jap. 1967, V.40. P. 575-579.
13. Kato T. and Oka Y. Talanta, 1972. V. 19, P.515-517.
14. Содном Н, Гэрбиш Ш, Жучко В.Е. и др. Химия твердого топлива, 1988. No 6. С. 29-35.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1991 года.

Гэрбиш Ш. и др.

P6-91-123

Многоэлементный гамма-активационный анализ медно-молибденовых руд и продуктов их переработки на микротроне

Описана методика многоэлементного инструментального гамма-активационного анализа (ИГАА) медно-молибденовых руд и продуктов их переработки с использованием тормозного излучения микротрона. Измерение активности облученных образцов производилось с помощью Ge(Li)- и HP Ge-детекторов. Для количественного определения содержания элементов применен относительный метод сравнения со стандартными образцами. Данная методика позволяет с достаточно низкими пределами обнаружения определить содержание 10-24 элементов в рудах и продуктах их переработки. Сравняются результаты ИГАА с полученными другими методами для стандартных образцов медно-молибденовых руд и продуктов их переработки из Монголии.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Gerbish Sh. et al.

P6-91-123

Multielemental Gamma Activation Analysis of Copper-Molibdenium Ores and its Production of Processing Using Microtron

A method of Multielemental Instrumental Gamma Activation Analysis (IGAA) of copper-molibdenium ores and its production of processing using Microtron bremsstrahlung is described. Activities of irradiation samples were measured by means of Ge(Li) and HP Ge-detectors. Quantitative determination of elements has been made using standard reference materials. This method allows one to determine concentrations of 10-24 elements in ores and its production of processing. The comparative results IGAA for Mongolian reference materials of copper molibdenium ores and its production of processing are presented.

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

Commun