УДК 550.83

А.А. Медведев, А.И. Посеренин

НЕЙТРОННЫЙ АКТИТВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ГОРНЫХ ПОРОД НА СКАНДИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТАНОВОК НА БАЗЕ МОЩНЫХ НУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕЙТРОНОВ

Рассмотрена возможность нейтронного активационного определения скандия в горных породах с применением установок на базе мощных источников нейтронов. Определение скандия по долгоживущему изотопу скандия (^{46}Sc) проводилось с применением установки на базе мощного сурьмяно-бериллиевого (^{124}Sb-Be) источника нейтронов с выходом ~10^9 н/с. Анализируемые образцы располагаются в кольцевой щели между бериллием и графитом в полиэтиленовых ампулах, вмещающих от 15 до 150 г порошковой пробы. Измерение облученных образцов проводилось с помощью спектрометрической установки на базе полупроводникового и сцинтилляционного детекторов. Выбор временных режимов анализа (времени активации, остывания и измерений) определяется необходимой чувствительностью, производительностью и зависит от состава проб. Проведено сопоставление результатов данных нейтронного активационного и химического анализов. Достигнут предел обнаружения скандия 10^{-3}—10^{-4}%.

Ключевые слова: время измерения, время облучения, время остывания, нейтронно-активационный анализ, полупроводниковый детектор, предел обнаружения, скандий, сурьмяно-бериллиевый источник нейтронов.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-170-175

Для определения элементного состава горных пород находят применение установки на базе мощных источников нейтронов: ^{252}Cf, ^{124}Sb-Be, Cm-Be и др. [1, 4, 6]. Выход нейтронов в подобных установках достигает 10^8—10^{10} н/с, что позволяет проводить анализ геологических проб на широкий круг элементов с чувствительностью 10^{-3}—10^{-5}%.

Нами исследовалась возможность применения установок на базе мощных радионуклидных источников для определения скандия в горных породах. Скандий обладает благоприятными ядерно-физическими характеристиками для его определения нейтронным активационным методом.

Ядерно-физические характеристики скандия и основных сопутствующих скандию элементов в геологических пробах приведены в таблице.

Определение скандия по долгоживущему изотопу скандия (^{46}Sc) проводилось с применением установки на базе мощного сурьмяно-бериллиевого (^{124}Sb-Be) источника нейтронов (рис. 1). В состав установки входит бериллиевый цилиндр размером 170×170 мм, окру-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12. С. 170–175.
© А.А. Медведев, А.И. Посеренин. 2017.

Ядерно-физические характеристики скандия и основных сопутствующих скандию элементов в геологических пробах

Исходный нуклид	Доля в естественной смеси, %	Ядерная реакция	Конечный радионуклид	Сечение активаци, барн	Период полураспада	Энергия квантов, кэВ выход (%)
^{45}Sc	100	(n, γ)	^{46}Sc	22	83,8 сут	889 (100) 1120 (100)
^{45}Sc		(n, γ)	^{46m}Sc	10	20 с	142 (66)
^{23}Na	100	(n, γ)	^{24}Na	0,53	15 ч	1368 (100)
^{41}K	6,88	(n, γ)	^{42}K	1,3	12,4 ч	1524 (16)
^{55}Mn	100	(n, γ)	^{56}Mn	13,1	2,6 ч	848 (99)
^{75}As	100	(n, γ)	^{76}As	5,4	26,8 ч	559 (43)
^{121}Sb	57	(n, γ)	^{122}Sb	6,8	2,75 сут.	564 (71)
^{123}Sb	43	(n, γ)	^{124}Sb	2,5	60 сут.	1690 (49)
^{139}La	99,9	(n, γ)	^{140}La	8,2	40,3 ч	1596 (95)
^{180}Hf	35	(n, γ)	^{181}Hf	10	42,4 сут.	480 (86)

женный графитовым замедлителем размером 700×700 мм. В блоке бериллиевого цилиндра имеется сквозной канал для размещения источника ^{124}Sb. Анализируемые образцы располагаются в кольцевой щели между бериллием и графитом в полиэтиленовых ампулах. В зависимости от типа, ампулы вмещают от 15 до 150 г порошковой пробы. При активности источника ^{124}Sb равной 500 кюри плотность потока тепловых нейтронов в зоне активации составляет ~10^7 н/с см^2. Ввиду высокой активности источника сурьмы установка располагалась в защитной камере при ядерном реакторе.

Измерения облученных образцов проводилось с помощью спектрометрической установки на базе полупроводникового Ge(Li) детектора. Разрешение спектрометрического тракта составляло 2 кэВ по линии 1,33 МэВ.

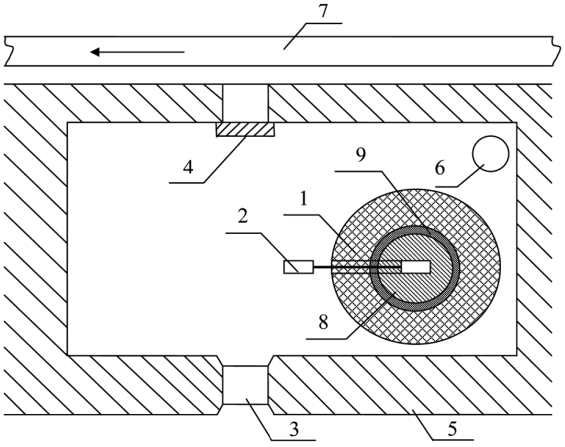

Рис. 1. Схема нейтронно-активационной установки: 1 — графитовый замедлитель; 2 — шток с источником ^{124}Sb; 3 — смотровое окно; 4 — люк для удаления источника; 5 — защита из тяжелого бетона; 6 — дозиметрический прибор; 7 — транспортер; 8 — бериллиевый цилиндр; 9 — щель для активации образцов

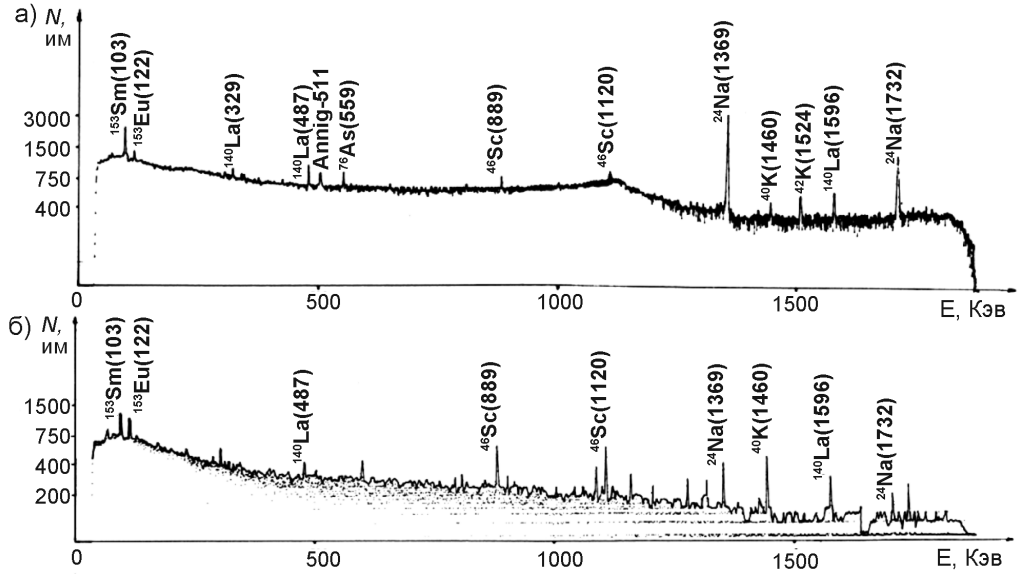

Рис. 2. Гамма-спектры геологической пробы, содержащей 0,002% скандия, облученной на установке с сурьмяно-бериллиевым (^{124}Sb-Be) источником; $t_{обл}$ = 3 сут.; $t_{изм}$ = 30 мин; $t_{ост}$: 3 сут. (а), 5 сут. (б)

Из рассмотрения данных приведенных в таблице можно сделать вывод, что при выборе соответствующих режимов анализа, можно добиться существенного уменьшения влияния сопутствующих радионуклидов, образующихся в результате активации на результаты определения скандия по его долгоживущему изотопу. Выбор временных режимов анализа (времени облучения $t_{обл}$, остывания $t_{ост}$ и измерений $t_{изм}$) определяется необходимой чувствительностью, производительностью и зависит от состава проб. Проведенные эксперименты показали, что для наших условий целесообразно выбрать следующие режимы анализа: время активации 3—5 суток, время остывания 7—10 суток, время измерений 20—30 мин, масса пробы 15—100 г.

На рис. 2 приведены спектры геологической пробы, содержащей 0,002% скандия, полученные при различном времени остывания. Видно, при увеличении времени остывания до 5 суток аналитический пик скандия надежно выделяется в исходном спектре.

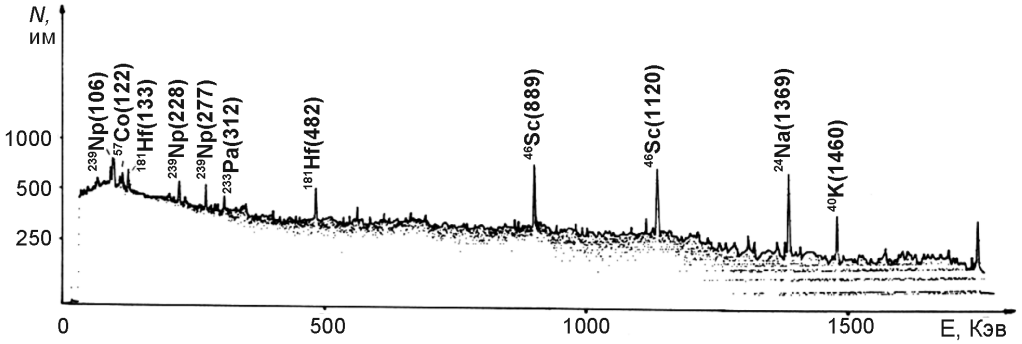

Рис. 3. Гамма-спектр геологической пробы, содержащей 0,018% скандия, полученный с применением полупроводникового детектора; $t_{обл}$ = 3 сут., $t_{изм}$ = 30 мин, $t_{ост}$ = 5 сут.

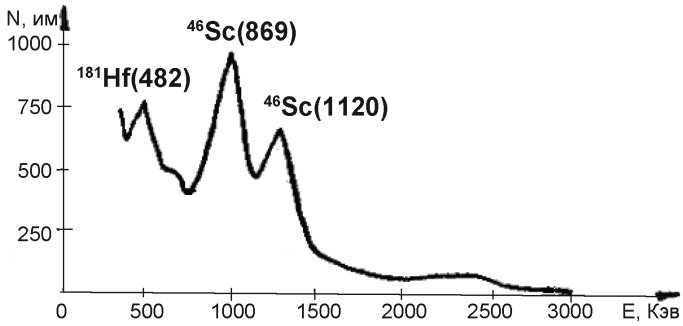

Рис. 4. Гамма-спектр геологической пробы, содержащей 0,018% скандия, полученный с применением сцинтилляционного детектора; $t_{обл}$ = 3 сут., $t_{изм}$ = 30 мин, $t_{ост}$ = 5 сут.

На рис. 3 приведен спектр типичной пробы, содержащей 0,018% скандия.

Предел обнаружения скандия оценивался по формуле [2, 3, 5]:

$$L = \frac{3 \cdot \sqrt{S_ф}}{S_п} C_{эт}$$

где $S_п$ — площадь «чистого» за вычетом фона пика от скандия (1120 кэВ; $S_ф$ — площадь фона под пиком; $C_{эт}$ — концентрация скандия в эталоне.

При названных выше условиях предел обнаружения составляет 10^{-3}—10^{-4}%.

Отметим, что если в составе облученных проб отсутствуют долгоживущие радионуклиды, то при выборе времени остывания достаточного для практически полного распада продуктов активации основных породообразующих элементов, измерения облученных проб могут проводиться с применением сцинтилляционных детекторов. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведен спектр пробы, содержащей 0,018% скандия измеренной с применением сцинтилляционного детектора БДЭГ размером 150×150 мм и разрешение 15% по линии 661 кэВ.

Предел обнаружения скандия с применением сцинтилляционных спектрометров — 10^{-3}—10^{-4}%.

Аналогичные результаты были получены с применением установки на базе калифорниевого (^{252}Cf) источника с выходом нейтронов ~109 н/с, в которых определение скандия осуществляется по его короткоживущему радионуклиду ^{46m}Sc [1]. Масса активируемых проб 10—

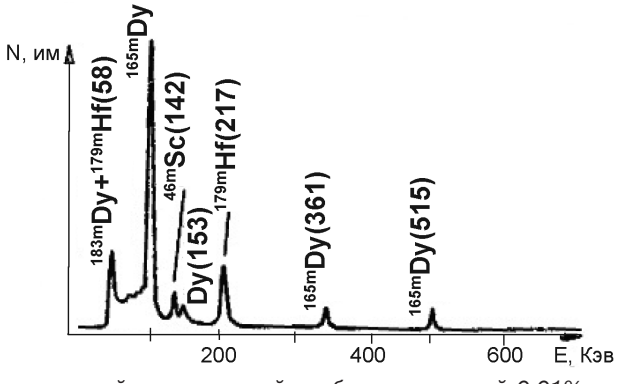

Рис. 5. Гамма-спектр типичной геологической пробы, содержащей 0,01% скандия (Sc), 0,021% гафния (Hf), 0,1% диспрозия (Dy), полученный с применением установки на базе калифорниевого (^{252}Cf) источника; $t_{обл}$ = 40 с., $t_{изм}$ = 40 с, $t_{ост}$ = 5 с

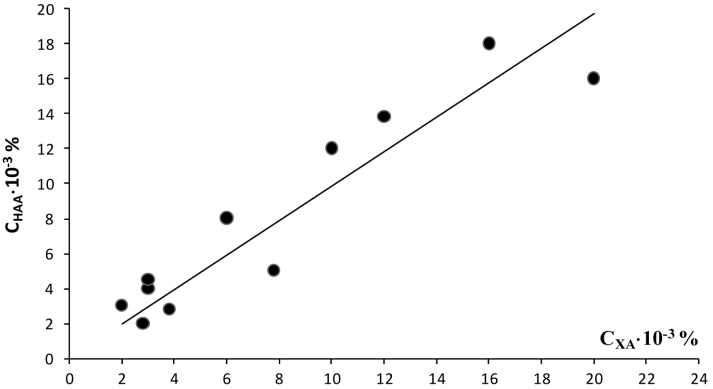

Рис. 6. Результаты сопоставления нейтронно-активационного и химического анализов геологических проб на скандий

15 г. Облученные образцы измерялись с помощью полупроводникового Ge(Li) детектора с разрешением 1 кэВ по линии 142 кэВ и описанной выше спектрометрической аппаратуры. Определять скандий по радионуклиду ^{46m}Sc мешает присутствие в пробах германия (Ge), самария (Sm), индия (In), гафния (Hf) и некоторых других элементов. Вещественного состав проб обусловил следующий режим активации: $t_{обл}$ = 40 с, $t_{изм}$ = 40 с, $t_{ост}$ = 5 с. При этих условиях предел обнаружения скандия 10^{-3}%. На рис. 5 приведен спектр геологической пробы, содержащей 0,01% скандия (Sc), 0,021% гафния (Hf) и 0,1% диспрозия (Dy).

По описанной методике нами были проанализированы геологические пробы в интервале содержания скандия от 0,002 до 0,02%. Результаты сопоставления данных нейтронного активационного (СНАА) и химического (СХА) анализов свидетельствуют об их хорошей сходимости (рис. 6).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения установок на базе мощных источников нейтронов для определения скандия в горных породах. Достигнутый предел обнаружения скандия составляет 10^{-3}—10^{-4}%, что является достаточным при анализе рудных проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кист А. А., Аскаров О. И., Бакиев С. А., Шатамов Ш. М. и др.* Использование калифорниевого источника в аналитических целях / Активационный анализ в науке и технике. — Ташкент: Фан, 1980. — С. 91.

2. *Медведев А. А., Посеренин А. И.* Лабораторный практикум по ядерной геофизике. — М., 2013.

3. *Посеренин А. И., Медведев А. А.* Аналитические методы определения состава горных пород. — М., 2011.

4. *Флеров Г. Н., Бурмистенко Ю. Н., Дядин Ю. В., Медведев А. А.* и др. О перспективах развития нейтронно-активационных установок на базе мощных сурьмяно-бериллиевых источников // Атомная энергия. — 1982. — Т. 53. — С. 255.

5. *Якубович А. Л., Рябкин В. К.* Ядерно-физические методы анализа и контроля качества минерального сырья. — М.: ВИМС, 2007. — 206 с.

6. *Shilo N. A., Ippolitov E. G., Ivanenko V. V. et al.* Instrumental neutron activation determination of gold in mineral raw materias using a californium neutron source // J. of Radioanalytical Chemistry. 1983. Vol. 79. № 2. С. 309—316. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Медведев Андрей Александрович[1] — кандидат технических наук, доцент, профессор,
Посеренин Алексей Игоревич[1] — старший преподаватель, e-mail: poserenin83@gmail.com,
[1] Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 170–175.

UDC 550.83

A.A. Medvedev, A.I. Poserenin

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF SCANDIUM IN ROCKS USING INSTALLATIONS BASED ON POWERFUL NUCLIDE SOURCES OF NEUTRONS

The possibility of neutron activation definition scandium in rocks with the use of installations based on neutron sources of high intensity. Definition of scandium in the long-lived isotope scandium (^{46}Sc) were carried out with the use of installation based on a powerful antimony-beryllium (^{124}Sb-Be) neutron source with a yield of ~10^9 n/s. the Analyzed samples are located in the annular gap between the beryllium and graphite in polyethylene ampoules, containing from 15 to 150 g powder sample. Measurement of the irradiated samples was carried out using a spectrometer setup based on semiconductor and scintillation detectors. The choice of temporal modes of analysis (the time of activation, cooling and measuring) is determined by the required sensitivity and performance depend on the composition of the samples. Comparison of results of neutron activation and chemical analysis. The detection limit of scandium 10^{-3}—10^{-4}%.

Key words: the measurement time, the irradiation time, cooling time, neutron activation analysis, semiconductor detector, detection limit, scandium, antimony-beryllium neutron source.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-170-175

AUTHORS

Medvedev A.A.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor,
Poserenin A.I.[1], Senior Lecturer, e-mail: poserenin83@gmail.com,
[1] Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Kist A.A., Askarov O.I., Bakiev S.A., Shatamov Sh.M. *Aktivatsionnyy analiz v nauke i tekhnike* (Activation analysis in science and technology), Tashkent, Fan, 1980, pp. 91.

2. Medvedev A.A., Poserenin A.I. *Laboratornyy praktikum po yadernoy geofizike* (Laboratory workshop on nuclear geophysics), Moscow, 2013.

3. Poserenin A.I., Medvedev A.A. *Analiticheskie metody opredeleniya sostava gornykh porod* (Analytical methods of determination of rock composition), Moscow, 2011.

4. Flerov G.N., Burmistenko Yu.N., Dyadin Yu.V., Medvedev A.A. *Atomnaya energiya*. 1982, vol. 53, pp. 255.

5. Yakubovich A.L., Ryabkin V.K. *Yaderno-fizicheskie metody analiza i kontrolya kachestva mineral'nogo syr'ya* (Nuclear-physical methods of analysis and quality control of mineral raw materials), Moscow, VIMS, 2007, 206 p.

6. Shilo N.A., Ippolitov E.G., Ivanenko V.V. et al. Instrumental neutron activation determination of gold in mineral raw materias using a californium neutron source. *J. of Radioanalytical Chemistry*. 1983. Vol. 79, no 2, pp. 309—316.