

УДК 539.12: 539.2

Б. Б. КНЯЗЕВ, И. Д. ГОРЛАЧЕВ, Д. А. БЕРЕЗОВСКИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РФА В КАЧЕСТВЕ ВНУТРЕННЕГО СТАНДАРТА В НАА

При анализе почв и донных отложений некоторые элементы, которые традиционно определяются нейтронно-активационным методом анализа (НАА), могут быть также достаточно хорошо определены рентгенофлуоресцентным методом анализа (РФА). Такими элементами являются Fe, Zn, Sr, Rb, Ba, La и некоторые другие. Определяя содержание этих элементов, и используя эти значения в НАА можно определить поток тепловых нейтронов и отношение тепловых и эпитеpmальных нейтронов для каждого из облучаемых образцов. Использование такого внутреннего стандарта в НАА позволяет в значительной степени учитывать матричный эффект, связанный с деградацией нейтронного потока в объеме образца и его вариацией за счет химического состава анализируемого материала. По сравнению с широко используемыми детекторами (мониторами) нейтронного потока на основе различных сплавов, такой подход позволяет получать более точные и стабильные результаты, так как элементы внутреннего стандарта, включенные в материал образца, содержат практически полную информацию об искажении потоков тепловых и эпитеpmальных нейтронов. Применение РФА в качестве внутреннего стандарта является наиболее эффективным для анализа образцов с массами, значительно превышающими традиционно используемые в активационном анализе (2-4 г и более вместо 200-500 мг).

Введение. Внутренняя стандартизация является способом, широко используемым во многих аналитических методах. Практически любой, хорошо активируемый и надежно определяемый элемент, содержание которого может быть определено независимым методом, может быть использован в качестве внутреннего стандарта в активационном анализе.

Использование внутренней стандартизации в активационном анализе известно в течение нескольких десятков лет. Одними из наиболее ранних работ в этой области являются работы Leliart и de Hoste [1], Heurtebise и других [2]. Использованию метода внутреннего стандарта посвящены работы [3, 4], применение содержания железа при анализе метеоритов описано Willis и Wasson [5, 6]. В этих работах исследовались образцы метеоритов со значительными содержаниями железа и с массами более чем 1 грамм. Для учета самоэкранирования и ослабления гамма-излучения содержание железа определялось независимым методом. Использование железа в эпитеpmальном активационном анализе описано в работе Zaghoul [7]. Применение железа в качестве внутреннего стандарта описано в работе Chappel и Hergt [8].

Популярность использования содержания железа в анализируемом материале для учета различных искажающих эффектов не случайно. Железо является одним из основных компонентов в изверженных, метаморфических и осадочных горных породах, а также в почвах практически всех типов. При активации тепловыми

нейтронами железо образует долгоживущий изотоп ^{59}Fe , имеющий интенсивные гамма-линии в диапазоне от 140 до 1300 кэВ. С другой стороны, высокое содержание железа (от нескольких тысяч до десятков и сотен тысяч мг/кг) позволяет без больших трудностей проводить его определение независимым методом, в частности, методом РФА. Перечисленные свойства этого металла определяют его роль во внутренней стандартизации как одну из основных.

Помимо железа в качестве внутреннего стандарта в НАА могут быть использованы и некоторые другие элементы. В частности, многие типы почв часто содержат такие элементы, как Ba, Rb, Ce, La и Sr в количествах, достаточных для их надежного определения методом РФА. В совокупности они позволяют значительно увеличить надежность и точность коррекции. Использование дополнительных элементов в качестве внутреннего стандарта является особенно важным при определении элементов с высокими значениями Q_0 (отношений сечения резонансного интеграла к сечению тепловых нейтронов), так как это позволяет отдельно оценивать потоки тепловых и эпитеpmальных нейтронов.

Теоретические рассуждения

Напишем уравнение для потока тепловых нейтронов с массой m_s элемента S , облученного в течение определенного периода [9]. Предполагается, что отношение эпитеpmального потока к тепловому потоку фиксировано и хорошо известно:

$$\phi_{th} = \frac{M_S \cdot C_S}{m_S \cdot \sigma_{th}^S \cdot N_A \cdot f_S \cdot S_S \cdot G \cdot \varepsilon(E_S) \cdot p_S} \times \frac{\alpha}{\alpha + Q_0^S} \frac{\lambda_S}{1 - e^{(-\lambda_S t_i)}} \frac{1}{e^{(-\lambda_S t_d)}} \frac{t_c}{1 - e^{(-\lambda_S t_c)}} \quad (1)$$

M_A – атомная масса активируемого изотопа; N_A – число Авогадро; f_S – природная распространенность активируемого изотопа; S_S – коэффициент коррекции самопоглощения гамма-излучения материалом образца; G – геометрический фактор при определении активности индикаторного радионуклида (ИРН); $e(E_A)$ – внутренняя эффективность регистрации детектором гамма-линии E_S ИРН; p_S – вероятность перехода гамма-линии E_S ; C_S – чистая (без фона) скорость счета в пике полного поглощения; η_{th} – поток тепловых нейтронов; η_{epi} – поток эпитепимальных нейтронов; λ_S – постоянная распада; t_p , t_d и t_c – время облучения, время охлаждения и время измерения соответственно; σ_{th}^S – сечение активации на тепловых нейтронах активируемого изотопа; Q_0^S – отношение резонансного интеграла к сечению активации на тепловых нейтронах.

Отметим, что $A_S = \frac{C_S}{S_S \cdot G \cdot \varepsilon(E_S) \cdot p_S}$ – явля-

ется наведенной активностью ИРН.

Геометрический фактор G учитывает геометрические размеры и форму образца и детектора. Его значение может сильно варьироваться при изменении условий измерений (например, для обеспечения оптимальных значений интегральной скорости счета спектрометра). Точный расчет этой величины является довольно трудной задачей, однако для практической реализации этого метода в этом нет необходимости, как будет показано ниже. Коэффициент коррекции самопоглощения S_S может быть рассчитан более точно, однако для образцов с сильно различным элементным составом, его значение может также сильно варьироваться. Большое число алгоритмов расчета телесного угла и коррекции самопоглощения в гамма-спектрометрическом анализе (часто объединенных в единый математический подход) тем не менее, полностью не решают эту проблему, особенно для области энергий, ниже 100 кэВ.

Напишем теперь уравнение для анализируемого элемента массой A , подставляя для теплового потока выражение (1):

$$m_A = m_S \cdot \frac{M_A \cdot C_A \cdot \sigma_{th}^S \cdot f_S \cdot S_S \cdot \varepsilon(E_S) \cdot p_S}{M_S \cdot C_S \cdot \sigma_{th}^A \cdot f_A \cdot S_A \cdot \varepsilon(E_A) \cdot p_A} \times \frac{\alpha + Q_0^S}{\alpha + Q_0^A} \frac{(1 - e^{(-\lambda_S t_i)}) \lambda_A}{(1 - e^{(-\lambda_A t_i)}) \lambda_S} \frac{e^{(-\lambda_S t_d)}}{e^{(-\lambda_A t_d)}} \frac{(1 - e^{(-\lambda_A t_c)})}{(1 - e^{(-\lambda_A t_c)})} \quad (2)$$

Значение геометрического фактора в этом выражении отсутствует, так как измерение наведенной активности анализируемого изотопа A и изотопа внутреннего стандарта S проводятся в одном и том же образце, следовательно, при абсолютно одинаковых геометрических условиях. Большинство из присутствующих в этом выражении величин являются ядерными константами. Исключение составляют внутренняя эффективность регистрации детектора, отношение теплового и эпитепимального потока, а также коэффициент коррекции самопоглощения. Из этого выражения видно, что ключевую роль для точности всего анализа играет точность определения массы элемента-стандарта.

Внутренняя эффективность. Влияние внутренней эффективности регистрации на точность анализа в действительности является наиболее минимальным из всех перечисленных выше факторов. Дело в том, что искажения результатов определения активности за счет неточного определения внутренней эффективности регистрации носят систематический характер; они могут быть достаточно легко учтены путем одновременного облучения и измерения вместе с анализируемыми образцами и образцов сравнения с известными значениями определяемых элементов. Необходимо отметить, что, так как влияние внутренней эффективности регистрации математически выражается как

$$E = \frac{\varepsilon(E_S)}{\varepsilon(E_A)},$$

то даже при не очень точном определении значений эффективностей для энергий E_A и E_S , их отношение для близких значений этих энергий будет стремиться к единице и искажения будут минимальными. Отсюда следует, что при проведении анализа необходимо стремиться к тому,

чтобы значения энергии определяемого изотопа и энергии изотопа-стандарта были максимально близки.

Коэффициент коррекции самопоглощения.

Выражение для коэффициента коррекции самопоглощения при энергии E_X можно написать в виде:

$$S_X = \frac{1 - e^{-\mu(E_X) \cdot \rho \cdot d}}{\mu(E_X) \cdot \rho \cdot d},$$

где $\mu(E_X)$ – массовый коэффициент ослабления материалом образца гамма-линии с энергией E_X (см²/г), ρ – плотность образца (г/см³), а d – эффективная высота образца.

С учетом этого выражения в уравнение (2) влияние самопоглощения будет входить в виде отношения:

$$S = \frac{S_S}{S_A} = \frac{1 - e^{-\mu(E_S) \cdot \rho \cdot d}}{1 - e^{-\mu(E_A) \cdot \rho \cdot d}} \cdot \frac{\mu(E_A)}{\mu(E_S)}. \quad (3)$$

Для образцов небольшой массы, порядка нескольких сотен миллиграмм, эффект самопоглощения в достаточно широком энергетическом диапазоне будет весьма невелик ($S_X \rightarrow 1$). Однако, при увеличении массы образца до 1 грамма и более, этот эффект будет проявляться, особенно для низкоэнергетических гамма-линий. Как и для фактора эффективности регистрации, влияние фактора самопоглощения будет тем ниже, чем ближе энергии гамма-линий анализируемого элемента и внутреннего стандарта, с тем отличием, что эти искажения носят не постоянный характер, а определяются химическим составом образца. Здесь необходимо отметить, что при использовании внутреннего стандарта зависимость результатов анализа от элементного состава анализируемого материала будет значительно меньше, чем при использовании внешнего стандарта. Это связано с тем, что при достаточно больших значениях энергии (выше 150-200 кэВ) фотоэффект практически отсутствует и значение массового коэффициента ослабления определяется только эффектами рассеяния и выше 1022 кэВ также эффектом образования пар. Более того, абсолютные значения массового коэффициента ослабления являются не очень большими, следовательно, значение отношения (3) даже при сильном изменении элементного состава не будет значительно отличаться от единицы.

Отношение теплового и эпитептермального потоков.

В выражении (1) предполагается, что отношение b теплового потока к эпитептермальному является константой и хорошо известно. В действительности эта величина в различных каналах облучения реактора может заметно отличаться. Более того, за счет различия в ослаблении нейтронов при различных энергиях внутри объемного образца массой более 1 грамма это отношение также может варьироваться. При анализе образцов с высокими содержаниями элементов, сильно ослабляющими тепловые и в некоторых случаях эпитептермальные нейтроны, возможна заметная деградация нейтронного потока. Количественный учет степени деградации нейтронного потока и оценки изменения отношения тепловых и эпитептермальных нейтронов при проведении анализа является очень сложным [10]. В то же время использование дополнительного элемента (элементов) в качестве внутреннего стандарта позволяет проводить такой учет.

Выражение для теплового и эпитептермального потоков в зависимости от наведенной активности индикаторного радионуклида можно представить в виде:

$$\frac{M_i \cdot A_i}{m_i \cdot \sigma_{th} \cdot N_A \cdot f_i} = \varphi_{th} + Q_i \cdot \varphi_{epi}. \quad (4)$$

В этом выражении индекс i относится к i -элементу, используемому в качестве внутреннего стандарта. Для простоты предполагается, что проведены все корректировки на облучение и распад. Левая часть выражения может быть обозначена как:

$$\Phi_i = \frac{M_i \cdot A_i}{m_i \cdot \sigma_{th} \cdot N_A \cdot f_i} \text{ отсюда } \Phi_i = \varphi_{th} + Q_i \cdot \varphi_{epi},$$

где Φ_i может быть обозначен как *эффективный поток* для i -элемента.

Если в качестве внутреннего стандарта используются только два элемента, то решение двух уравнений вида (4) относительно φ_{th} and φ_{epi} может быть получено тривиально. При использовании большего числа элемента система уравнений становится переопределенной, поэтому решение может быть получено методом наименьших квадратов.

Определение массы элементов внутреннего стандарта. Как указано выше, определение

массы элемента внутреннего стандарта независимым методом должно проводиться с максимально доступной точностью. Кроме того, определение элементов внутреннего стандарта должно быть достаточно быстрым и простым, чтобы значительно не увеличивать общее время и трудоемкость анализа. Рентгенофлуоресцентный анализ является методом, максимально отвечающий указанным требованиям.

Мы применяли способ РФА с изотопным возбуждением. В качестве источников возбуждения мы использовали изотопы ^{109}Cd и ^{241}Am , имеющие основные возбуждающие линии с энергией 22.1 кэВ и 59.4 кэВ соответственно. Каждый из указанных изотопов использовался отдельно, т.е. для каждого образца набиралось по два спектра с различным возбуждением.

Экспериментальная часть

Облучение образцов проводилось на легководном исследовательском реакторе ВВР-К. Поток тепловых нейтронов составлял порядка $0.5-1.0 \cdot 10^{13}$ н/см²/с в зависимости от расположения контейнера с образцами в канале облучения. Так как облучение проводилось в так называемом «мокром» канале, каждый образец был упакован в 5-мл полиэтиленовый сосуд. Масса образца составляла около 1 грамма. После 5-часового облучения образцы выдерживались в «горячей» камере 6-7 дней, а затем проводились гамма-спектрометрические измерения с использова-

нием широкодиапазонного коаксиального детектора из сверхчистого Ge. Время набора спектров для этой серии измерений составляла порядка 25-30 минут. После 3-4 недель проводилась вторая серия гамма-спектрометрических измерений на двух детекторах – широкодиапазонном коаксиальном и низкоэнергетичном детекторе планарного типа с разрешением 165 эВ на линии 5.9 кэВ. Время набора спектров для каждого детектора составляло около 3 часов.

Описание использованного спектрометрического оборудования представлено в табл. 1. Общая схема анализа представлена на рис. 1.

Результаты и обсуждение

Для проверки разработанного метода были использованы стандартные образцы МАГАТЭ IAEA-SL-1, IAEA-SL-3 и IAEA-Soil-7. Кроме того, для проверки воспроизводимости метода был использован контрольный образец Института Ядерной Физики INP. Для калибровки РФА использовались стандартные образцы Kalkstein (ГСО 2302-80), Greisen (ГСО 322-76), Basalt (ГСО 2300-80) и Granit (ГСО 2299-80).

Содержания элементов, определенных методом РФА были использованы в качестве внутреннего стандарта в НАА. Для этого после измерений облученных образцов составлялась система уравнений вида (4), решением которой являлись значения теплового и эпитептермального нейтронных потоков. Как указывалось выше, если исполь-

Таблица 1. Описание используемого спектрометрического оборудования

Детектор	Анализатор	Произв.
Широкодиапазонный HP Ge детектор коаксиального типа, модель GMX20 – Относительная эффективность 20% – Активная площадь – 2100 мм ² – Активная толщина – 52.8 мм – Разрешение – 1.8 кэВ на 1332 кэВ	Многоканальный анализатор DSPEC jr (16384 каналов) с цифровой обработкой сигнала, время формирования – 3-6 мкс	EG&G Ortec
HP Ge детектор планарного типа, модель GL0510P – Активная площадь – 500 мм ² – Активная толщина – 10.0 мм – Разрешение – 165 эВ на 5.9 кэВ	Многоканальный анализатор IMCA Inspector (8192 каналов), время формирования – 12 мкс	Canberra
Si(Li) детектор, модель SLP10180 – Активная площадь – 80 мм ² – Активная толщина – 5.0 мм – Разрешение – 175 эВ на 5.9 кэВ	Многоканальный анализатор IMCA Inspector (8192 каналов), время формирования – 8 мкс	Canberra

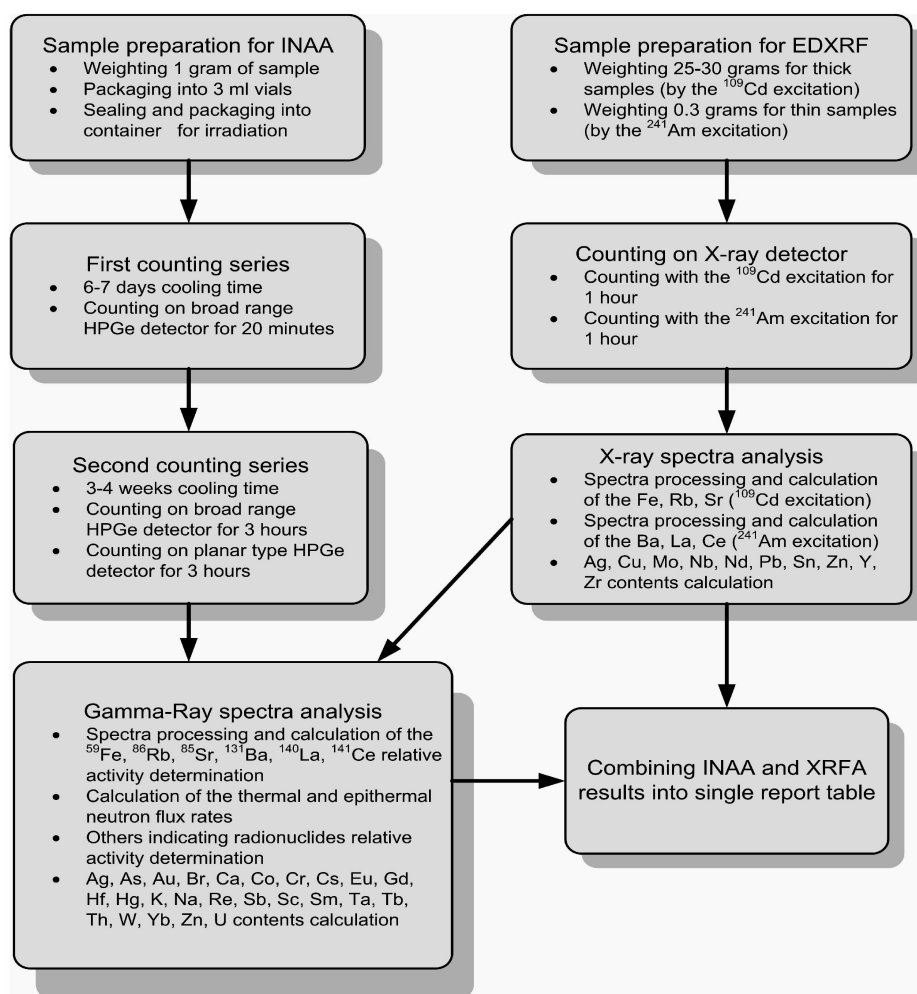


Рис. 1. Общая схема проведения анализа

зуемых элементов-стандартов было 2, то решение получалось методом Гаусса. Если использовалось 3 и более элементов-стандартов, то значения нейтронных потоков оценивались методом наименьших квадратов. Графическое представление этого случая приведено на рис. 2. Существовал также и третий случай, при котором в качестве внутреннего стандарта было возможно использовать только один элемент (железо). Такая ситуация возникает при анализе образцов с недостаточно высокими содержаниями Ba, La, Ce, Rb и Sr для состоятельной оценки потоков тепловых и эпитептермальных нейтронов. В этих случаях использовались средние значения отношений теплового и эпитептермального потоков, определенные по измерениям других образцов в той же кампании облучения.

В табл. 2 представлены результаты определения основных и микро-элементов в стандарт-

ных образцах МАГАТЭ IAEA-SL-1, IAEA-SL-3 и IAEA-Soil-7. Сравнение результатов определения с сертифицированными или информационными значениями в этих образцах свидетельствует о хорошей точности метода. Кроме того, как указывалось выше, была проведена проверка воспроизводимости метода с использованием контрольного образца INP. Для этого были облучены 20 1-граммовых навесок этого образца, проведены измерения по общей схеме анализа и рассчитаны содержания некоторых микроэлементов. Удвоенные стандартные отклонения близки к значениям средней инструментальной погрешности. Получены также значения потока тепловых нейтронов, рассчитанные через значения внутреннего стандарта. Вариации теплового потока составляли более чем 40%. В то же время результаты определений варьировались в основном в пределах 1-3%. Независимость результатов

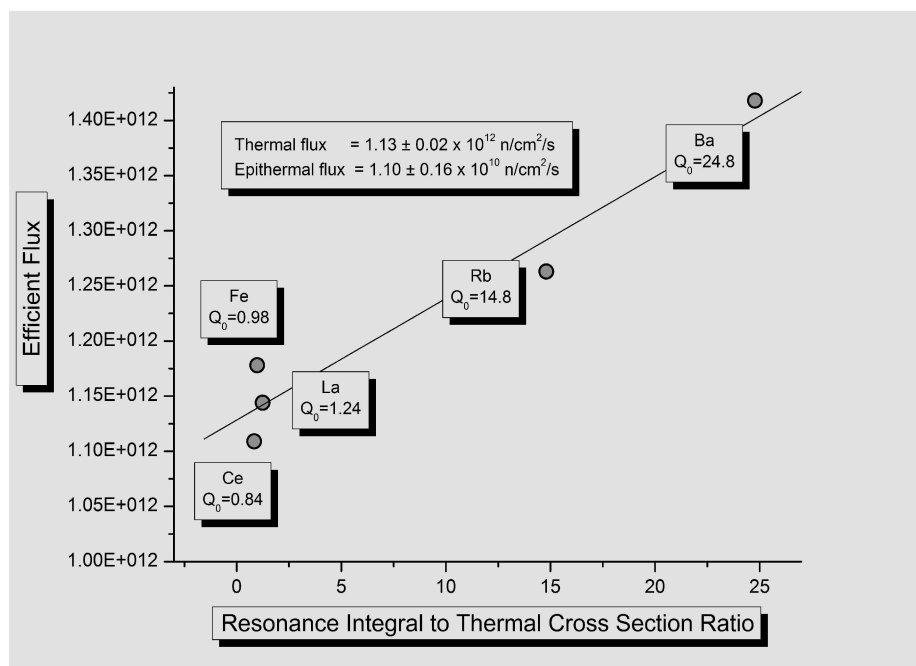


Рис. 2. Пример зависимости эффективного потока от Q_0 для контрольного образца INP

Таблица 2. Результаты анализа стандартных образцов МАГАТЭ

Стандартный образец	IAEA-SL-1		IAEA-SL-3		IAEA-Soil-7	
	Получено	Аттестовано	Получено	Аттестовано	Получено	Аттестовано
As, mg/kg	28.6 ± 0.6	27.6 ± 2.9	3.2 ± 0.3	3.2 ± 0.2	13.4 ± 0.3	13.4 ± 0.9
Ce, mg/kg	107 ± 3	117 ± 17	50 ± 3	45.5 ± 1.7	61 ± 3	61 ± 2
Cs, mg/kg	6.81 ± 0.15	7.0 ± 0.9	1.40 ± 0.07	1.38 ± 0.14	5.91 ± 0.13	5.4 ± 0.7
Eu, mg/kg	1.98 ± 0.02	1.6 ± 0.5	0.64 ± 0.01	0.66 ± 0.02	1.04 ± 0.01	1.0 ± 0.2
Fe, mg/g	67.5 ± 1.0	67.4 ± 1.7	11.5 ± 0.4	—	26.0 ± 0.5	25.7 ± 0.5
Hf, mg/kg	4.68 ± 0.10	4.2 ± 0.6	8.83 ± 0.12	9.1 ± 0.6	5.21 ± 0.09	5.1 ± 0.3
K, mg/g	12.8 ± 1.2	14.5 ± 2.1	10.1 ± 0.7	8.7 ± 0.8	12.9 ± 0.6	12.1 ± 0.7
La, mg/kg	47.1 ± 0.5	52.6 ± 3.1	22.9 ± 0.3	22.5 ± 1.0	26.9 ± 0.3	28.0 ± 1.0
Na, mg/g	1.75 ± 0.03	1.7 ± 0.1	6.61 ± 0.07	6.69 ± 0.33	2.33 ± 0.03	2.4 ± 0.1
Rb, mg/kg	108 ± 4	113 ± 9	38 ± 2	38.8 ± 1.9	54 ± 3	51 ± 4
Sb, mg/kg	1.33 ± 0.09	1.31 ± 0.12	0.76 ± 0.07	0.56 ± 0.10	2.27 ± 0.11	1.7 ± 0.2
Sc, mg/kg	17.2 ± 0.2	17.3 ± 1.1	3.90 ± 0.04	3.91 ± 0.27	8.88 ± 0.09	8.3 ± 1.0
Sm, mg/kg	8.60 ± 0.09	9.25 ± 0.51	4.04 ± 0.05	3.83 ± 0.30	5.11 ± 0.06	5.1 ± 0.3
Sr, mg/kg	78 ± 2	80 ± 43	528 ± 12	470 ± 20	111 ± 3	108 ± 5
Ta, mg/kg	1.17 ± 0.04	1.58 ± 0.58	0.62 ± 0.03	0.70 ± 0.05	0.80 ± 0.03	0.8 ± 0.2
Tb, mg/kg	1.14 ± 0.03	1.40 ± 0.46	0.49 ± 0.02	0.49 ± 0.05	0.74 ± 0.03	0.6 ± 0.2
Th, mg/kg	14.1 ± 0.2	14.0 ± 1.0	7.00 ± 0.11	7.0 ± 0.5	8.35 ± 0.12	8.2 ± 1.1
Yb, mg/kg	3.69 ± 0.45	3.42 ± 0.65	2.18 ± 0.27	1.89 ± 0.12	2.90 ± 0.33	2.4 ± 0.3
Zn, mg/kg	213 ± 5	223 ± 10	25 ± 2	—	101 ± 3	104 ± 6

анализа от вариаций теплового потока свидетельствует о надежности его расчета по внутреннему стандарту.

Выводы. Разработанный метод обладает необходимой для аналитических нужд точностью и воспроизводимостью, сохраняя присущие традиционному НАА чувствительность и независимость от матричного состава анализируемого материала. Разработанный метод открывает возможности для увеличения облучаемой массы анализируемого материала с целью увеличения чувствительности и представительности анализа без ограничений, связанных с мониторингом нейтронных потоков в объемных образцах.

Авторы выражают глубокое уважение и признательность профессору Технического Университета г. Копенгаген, Дания, д-ру Раймунду Гвоздю за выражение основной идеи этой работы, представленной им в материалах конференции МТАА-11 [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Leliaert G., Hoste J., Eeckhaut Z. // Nature, 182 (1958), 600.
2. Heurtebise M., Montoloy F., Lobkovitz J.A. // Anal. Chem., 45 (1973), 47.
3. Heurtebise M., Lobkovitz A. // Anal. Chem., 43 (1971), 1218.
4. Segebade C., Kuehl M., et al. // J. Radioanal. Chem., 72 (1982), 665.
5. Matsumoto K., Yagi U. // J. Radioanal. Nucl. Chem., 152 (1991), 55.
6. Willis J. // J. Wasson, Radiochimica Acta, 29 (1981), 45.
7. Zaghloul R. // J. Radioanal. Nucl. Chem., 100 (1986), 215.
8. Chappell B.W., Hergt J.M. // Chem. Geology, 78 (1989), 151.
9. Zeev B. Alfassi. Non-destructive Elemental Analysis. Blackwell Science Ltd, (2001).
10. Erdtmann G., Petri H. Neutron Activation Analysis: Fundamentals and Techniques. Treatise on Analytical Chemistry. V. 14, part I, Section K, Ch. 1; Kolthoff I.M., Elving P.J., eds.; John Wiley, New York (1986).
11. Handbook of X-Ray Spectrometry: Methods and Techniques / Ed. by Rene E. Van Grieken and Andrzej A. Markowicz. Marcel Dekker, (1993).
12. Gwozdz R., Knyazev B., Bayley J.C. Internal Standardization in Instrumental Neutron Activation Analysis. 11th International Conference 'Modern Trends in Activation Analysis. University of Surrey, Guildford, U.K. 21-25 June, 2004. Programme and Abstracts.

Резюме

Топырақ пен түптік шөгінділерді талдаған кезде талдаудың нейтрондық-активациялық (НАА) әдісімен дәстүрлі анықталатын кейбір элементтерді, сонымен қатар талдаудың рентгенфлуоресценттік (РФА) әдісімен де жеткілікті жақсы анықтауға болады. Fe, Zn, Sr, Rb, Ba, La және бірсыпыра басқа да осындай элементтер болып табылады. Осы элементтердің мөлшерін анықтап және осы мәндерді НАА-ға пайдалана отырып, жылулық нейтрондар ағыны мен жылулық және эпитеpmальдық нейтрондардың қатынасын сәулелендірілетін үлгілердің әрқайсысы үшін анықтауға болады. Осындай ішкі стандартты НАА-да пайдалану, талдауға жататын материалдық химиялық құрамы есебінен үлгінің көлемінде нейтрон ағынының құлдырауымен және вариациясымен байланысқан, матрицалық эффектіні едәуір дәрежеде есепке алуға мүмкіндік береді. Әралуан қаратпа-лар негізіндегі нейтрон ағынының кеңінен қолданылатын детекторларымен (мониторларымен) салыстырғанда, осындай тұрғы дәлдігі көбірек және тұрлаулы нәтижелер алуға мүмкіндік береді, өйткені үлгі материалына қосылған ішкі стандарттың элементтері жылулық және эпитеpmальдық нейтрондар ағынының бұрмалануы туралы іс жүзінде толық ақпаратты қамтиды. Ішкі стандарт ретінде РФА-ны қолдану активациялық талдауда дәстүрлі пайдаланылатын массаны әжептәуір асып түсетін (200–500 мг орнына 2–4 г және одан артық) массасы бар үлгілерді талдау үшін ең тиімді болып табылады.

Summary

At the analysis of soil and sediment samples some of elements, which traditionally are determined by the neutron activation analysis method (NAA), can be rather well determined with X-ray fluorescence analysis (XRF). These elements are Fe, Zn, Sr, Rb, Ba, La, Ce and some other. Determining the content of these elements and using these values at NAA carrying out it can be define the neutron flux and epithermal to thermal flux ratio for each of irradiated samples. The using of internal standard in NAA allows accounting for the matrix effects in a great degree, related with neutron flux degradation in the sample volume and its variation due to chemical composition material analyzed. Contrary to widely used flux neutron detectors (monitors) on basis of different alloys, such way allows to obtain the more accurate and stable analytical results, since the internal standard elements included in the sample material contain practically full information about thermal and epithermal fluxes distortion. The most effective using of XRF analysis as internal standard for NAA is for analysis of samples, which have masses significant exceeding the traditionally used in activation analysis (2-4 g and more instead 200-500 mg).

*Институт ядерной физики,
г. Алматы*

Поступила 31.03.08г.