

Подставляя (15) и (16) в выражение (12) и учитывая соотношение (7), получаем

$$\eta = \frac{L_Q}{L} \left(2 - \frac{L_Q}{L} \right). \quad (17)$$

Формула (17) характеризует эффективность использования ступени в данном месте каскада и может быть названа локальным к. п. д. Аналогичная формула для каскада, разделяющего двухкомпонентные смеси, приведена в монографии [4].

Для ПСК, состоящего из k секций, суммарный поток можно записать в виде

$$\sum_{\sigma=1}^k L^{\sigma} s^{\sigma} = \sum_{\sigma=1}^k L^{\sigma} \left(\int ds \right)^{\sigma} = \sum_{\sigma=1}^k L^{\sigma} \int_{R_{nI}^{\sigma}}^{R_{nII}^{\sigma}} \frac{dR_n}{ds}. \quad (18)$$

Определим оптимальное значение концентрации R_{nI}^{σ} на переходе от $\sigma - 1$ -й секции к σ -й секции, обеспечивающее минимальную величину суммарного потока.

Для нахождения оптимума продифференцируем соотношение (18) по R_{nI}^{σ} , учитывая, что R_{nI}^{σ} входит в (18) и как нижний предел для σ -й секции, и как верхний для $0 - 1$ -й ($R_{nI}^{\sigma} = R_{nII}^{\sigma-1}$):

$$\frac{\partial}{\partial R_{nI}^{\sigma}} \sum_{\sigma=1}^k L^{\sigma} s^{\sigma} = \frac{L^{\sigma-1}}{\frac{dR_n}{ds} \Big|_{R_n=R_{nII}^{\sigma-1}}} - \frac{L^{\sigma}}{\frac{dR_n}{ds} \Big|_{R_n=R_{nI}^{\sigma}}} = 0. \quad (19)$$

Используя (15), преобразуем уравнение (19) к виду

$$\begin{aligned} \frac{1}{L^{\sigma-1}} \left[2 - \frac{2P(R_{nP} - R_{nII}^{\sigma-1}) \sum_{j=1}^m R_{jII}^{\sigma-1}}{L^{\sigma-1} Q_n R_{nII}^{\sigma-1} \sum_{j=1}^m R_{jP}} \right] &= \\ = \frac{1}{L^{\sigma}} \left[2 - \frac{2P(R_{nP} - R_{nI}^{\sigma}) \sum_{j=1}^m R_{jI}^{\sigma}}{L^{\sigma} Q_n R_{nI}^{\sigma} \sum_{j=1}^m R_{jP}} \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Принимая во внимание соотношение (8) и учитывая, что в точке перехода все концентрации $R_j = \frac{c_j}{c_{n+1}}$ непрерывны, а также непрерывность потока L_Q Q -каскада, из выражения (20) непосредственно получаем

$$\eta^{\sigma-1} = \eta^{\sigma}. \quad (21)$$

Это соотношение, очевидно, применимо для всех переходов от секции к секции. Таким образом, условием оптимального соединения секций в ПСК является равенство локальных к. п. д. в точке перехода от предыдущей секции к последующей. Входящие в формулу (20) значения переходных концентраций R_n (и соответственно всех R_j) при заданных $L^{\sigma-1}$ и $L^{\sigma-1}/L^{\sigma}$ являются оптимальными.

Следует отметить, что в отличие от расчета разделения двухкомпонентной смеси [4], где число секций задается произвольно, в многокомпонентных смесях имеется ограничение, связанное с тем, что участок НПК можно заменить прямоугольным участком только одной заданной величины L . Это приводит к тому, что при переходе от одной секции к другой в многокомпонентном каскаде при условии равенства к. п. д. участков значение L в одной секции определяет единственное значение L в следующей секции. Поэтому число секций в оптимальном многокомпонентном каскаде определяется заданием потока (или конечных концентраций) в первой секции.

В заключение авторы выражают благодарность Р. Я. Кучерову за обсуждение постановки задачи, В. П. Миненко и С. А. Третьяку за ценные замечания при обсуждении результатов.

Поступило в Редакцию 10/IV 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Колокольников и др. «Атомная энергия», 29, 425 (1970).
2. Н. А. Колокольников, Г. А. Сулаберидзе. «Атомная энергия», 31, 223 (1971).
3. A. de la Garza et al. Chem. Engng. Progr. Simpos. Series, 61, No. 55, 27 (1965).
4. А. М. Розен. Теория разделения изотопов в колоннах. М., Атомиздат, 1960.

Инструментальное активационное определение микроколичеств элементов в горных породах и рудах с использованием суммирующих спектрометров

И. А. МИРАНСКИЙ, Р. Ш. РАМАЗАНОВ

Активационное определение микроколичеств элементов в горных породах и рудах без использования радиохимических методик не всегда возможно из-за высокого уровня фона мешающих излучений. Разработана методика определения кобальта, скандия и сурьмы в горных породах и рудах по их суммарным пикам, использующимся в качестве основного аналитического

пика. Такая методика в некоторых случаях дает положительные результаты ввиду того, что суммарный пик находится в более жесткой области спектра, где всегда меньше влияние мешающих излучений.

Для регистрации использован спектрометр (состоящий из системы двух датчиков с кристаллами NaI (Tl) размером 80×80 мм, фотоумножителя ФЭУ-52, сум-

УДК 543.53

матора, порогового дискриминатора и многоканального анализатора АИ-100), позволяющий увеличить эффективность регистрации суммарных пиков в 3—4 раза по сравнению с однокристалльным спектрометром.

Увеличение эффективности регистрации объясняется сложением суммарных пиков, образующихся в датчиках путем сложения каскадных γ -квантов, с суммарными пиками, образующимися путем линейного сложения по амплитуде импульсов и также соответствующими на сумматор с различных датчиков. Таким образом, в случае отсутствия временных сдвигов между импульсами, поступающими на вход сумматора, можно ожидать понижения числа импульсов в основных фотопиках и увеличения числа импульсов в области суммарного пика. На примере γ -спектра эталона Co^{60} , снятого в однокристалльном режиме и режиме суммирования, показано, что интенсивность основных фотопиков возросла менее чем в два раза, в то время как интенсивность суммарного пика возросла в 3,5 раза.

Увеличение эффективности регистрации суммарного пика позволило повысить чувствительность и экспрессность определения элементов, имеющих суммарные пики.

Методика определения заключалась в том, что образцы горных пород и руд, а также эталоны кобальта, скандия и сурьмы облучали в активной зоне реактора ВВР-6 потоком нейтронов $1,8 \cdot 10^{13} \text{ нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$ в течение 20 ч, затем выдерживали 20 дней и измеряли в течение 3 мин. Содержание кобальта колебалось в пределах $2 \cdot 10^{-3}$ — $5 \cdot 10^{-4}\%$, скандия — 10^{-3} — $10^{-4}\%$, сурьмы было до $10^{-3}\%$. Пороговая чувствительность определения кобальта равна $10^{-5}\%$, скандия — $10^{-6}\%$. Идентификация элементов проводилась по суммарным пикам γ -излучения изотопов Co^{60} , Sb^{124} , Sc^{46} (энергии соответственно 2,5; 2,3 и 2,01 Мэв).

Определение этих элементов однокристалльным спектрометром по основным фотопикам приведет к значительным погрешностям, что можно объяснить присутствием излучения мешающих изотопов в этой области спектра. Например, определение кобальта по пику 1,17 Мэв приводит к завышению содержания его на порядок, а по пику 1,33 Мэв — в 1,5 раза. Завышение результатов анализа при определении скандия в нескольких десятках образцов по пику 0,89 Мэв составило в среднем 30%, а иногда ошибка достигала 70%.

Однако проведение инструментального анализа по суммарным фотопикам возможно тогда, когда они лежат в высокоэнергетической области спектра, свободной от фона мешающего излучения. Например, чувствительность определения сурьмы по суммарному пику 2,3 Мэв ограничивается фоном комптоновского распре-

ления изотопа Co^{60} . Увеличения селективности анализа в этом случае можно добиться, зарегистрировав суммарные импульсы с помощью одноканального анализатора и проанализировав совпадения их по времени возникновения с импульсами всех амплитуд от одного из датчиков, как это делается в спектрометре суммарных совпадений.

Авторы использовали спектрометр суммарных быстрых совпадений для определения цезия и сурьмы в горных породах и рудах в тех случаях, когда другие методы неэффективны.

Идентификация цезия проводилась по изотопу Cs^{134} , имеющему период полураспада 2,1 года, и по каскадным γ -квантам с энергией 0,6 и 0,8 Мэв, которые образуют суммарный пик с энергией 1,4 Мэв. Методика определений была следующей. Образцы горных пород и руд весом 500 мг облучали в активной зоне реактора потоком $1,8 \cdot 10^{13} \text{ нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$ в кадмиевом экране в течение 20 ч, выдерживали 20 дней, затем измеряли 10 мин. Содержание цезия колебалось в пределах $(1 \div 5) \times 10^{-4}\%$. Определение цезия по основным фотопикам 0,6 и 0,8 Мэв приводит к значительным погрешностям из-за мешающего излучения изотопов $\text{Ag}^{110\text{m}}$, Co^{60} , Sc^{46} , Sb^{124} . Наиболее сильное мешающее действие при анализе образцов на цезий оказывает излучение изотопа $\text{Ag}^{110\text{m}}$. Поскольку содержание серебра в анализируемых образцах было на два порядка ниже содержания цезия (при этом учитывалось дополнительное ослабление его влияния спектрометром), мешающим эффектом изотопа $\text{Ag}^{110\text{m}}$ пренебрегли. Использование резонансной активации и ослабление мешающих излучений суммарным спектрометром позволяло избавиться от мешающего влияния изотопов Co^{60} , Sc^{46} .

При определении цезия однокристалльным спектрометром по пику 0,6 Мэв завышение результатов достигает 3,5 раза. Анализ по пику 0,8 Мэв дает завышенные результаты более чем в 15 раз.

Тем же методом определили сурьму в горных породах и рудах, где прямое определение по суммарному пику приводит к значительным погрешностям из-за мешающего влияния излучения кобальта. Идентификацию сурьмы проводили по излучению изотопа Sb^{124} . Энергия совпадающих γ -квантов равна 0,6 и 1,7 Мэв, энергия суммарного пика — 2,3 Мэв. Применение спектрометра совпадений и резонансной активации позволяет значительно снизить фоновое излучение изотопа Co^{60} и увеличить селективность определений сурьмы. Содержание сурьмы в образцах колебалось в пределах $10^{-3} \div 2 \cdot 10^{-4}\%$.

Поступило в Редакцию 23/IX 1971 г.
В окончательной редакции 6/III 1972 г.

Мощность экспозиционной дозы γ -излучения на границе полубесконечной и внутри бесконечной излучающей среды

М. Б. ВАСИЛЬЕВ,

УДК 550.35

Мощность экспозиционной дозы γ -излучения в бесконечной излучающей среде с учетом самопоглощения и многократного рассеяния можно получить с помощью аналитического представления дозового фактора накопления [1]:

$$B_d = 1 + \mu r + \frac{1,136}{ZE_0^3} (\mu r)^2, \quad (1)$$

где μ — линейный коэффициент ослабления γ -квантов, см^{-1} ; r — расстояние между источником и детектором, см; Z — атомный номер среды; E_0 — первичная энергия γ -квантов, Мэв.

Выражение для полной мощности экспозиционной дозы γ -излучения в бесконечной излучающей среде с равномерно распределенным радиоактивным веществом с концентрацией q_0 , полученное с использованием