

СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ С РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ АНАЛИТИЧЕСКИМ ОКОНЧАНИЕМ

Часть 2

В.А. Цымбал, О.В. Полевич¹, В.А. Бочаров, Н.Д. Масалитин, Д.Ю. Шахов
Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина

E-mail: bocharov@kipt.kharkov.ua;

¹Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

E-mail: Oleg.V.Polevich@univer.kharkov.ua

Рассмотрены концентрирование Cd, Sc, Sr на волокнистом анионите АН-31(В) как предварительная стадия для сверхкритической флюидной экстракции, а также все аспекты рентгенофлуоресцентного определения этих металлов с использованием тонких излучателей. Определены некоторые метрологические характеристики методики.

В настоящее время одной из актуальных технологических задач является извлечение из веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях, металлов, содержащихся в веществе в достаточно низких концентрациях. При этом могут решаться проблемы как утилизации токсичных (в том числе радиоактивных) отходов, так и извлечения ценных компонентов для их дальнейшей переработки. В [1] отмечалось преимущество сверхкритической флюидной экстракции (СКФЭ) для этих технологий. Тем не менее, при этих процессах возникает необходимость в дополнительном концентрировании исходных компонентов на стадии элюирования.

Как уже отмечалось в [1], в качестве аналитического окончания для определения степени извлечения металлов с использованием ионообменного концентрирования и определения некоторых параметров процесса СКФЭ нами использовался рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА).

РФА выделяется среди других методов своей универсальностью – позволяет определять микроколичества элементов в веществах, находящихся в различных агрегатных состояниях, в широком диапазоне концентраций с высокой точностью, экспрессностью и документальностью.

Точность и правильность РФА определяется в первую очередь надежностью методики подготовки исследуемого материала к анализу. В идеале наиболее совершенная подготовка пробы к анализу состоит в изготовлении излучателя, для которого интенсивность аналитической линии исследуемого элемента зависит только от концентрации этого элемента и не зависит от количественного элементного состава наполнителя (матрицы). Влияние остальных факторов должно быть исключено или стабилизировано и однозначно учтено.

РФА характеризуется малой аппаратной ошибкой измерения интенсивностей характеристических линий, которая для лучших спектрометров обычно не превосходит 0,2%. Это позволяет при правильно выбранном способе анализа и отработанных

методике проведения измерений определять концентрации элементов в образцах с достаточно высокой точностью.

В первой части нашей работы РФА подвергались образцы-излучатели на основе АН-31(В), представляющего собой мелкодисперсный слабоосновный полифункциональный анионит АН-31, нанесенный на полиакрилонитрильное волокно (основа). Он содержит алифатические вторичные аминогруппы и 10...15% алифатических третичных аминогрупп.

Наличие первичных, вторичных и третичных функциональных групп в сорбентах этого типа обуславливает их высокую сорбционную емкость по ряду металлов за счет комплексообразования в фазе сорбента. Следует ожидать, что измельчение АН-31 и нанесение его на волокно должно привести к некоторому уменьшению сорбционной емкости и к улучшению кинетических характеристик сорбента. Оценивая области применения ионообменных волокон, следует иметь в виду, что стремление к использованию материалов с наибольшей обменной емкостью не всегда является оправданным. С учетом величины сорбционной обменной емкости АН-31(В) оптимальным является использование данного сорбента для концентрирования микроэлементов.

Для улучшения кинетики сорбции ионов металлов на ионитах образцы-излучатели готовились прессованием анионита под давлением 9,6 МПа. Интенсивность характеристического излучения измеряли с двух сторон образца (диаметр 40 мм, толщина 0,5 мм) и выводили среднее значение. Растворы, содержащие по 100, 500, 1000 и 1500 мкг/л элементов Sc, Sr и Cd, готовили из исходных растворов концентрации 10 г/л.

Процесс сорбционного концентрирования из этих растворов осуществлялся в статическом и динамическом режимах.

При статических режимах варьировалось время взаимодействия растворов металлов (время перемешивания) с ионитами. Затем сорбент отфильтровывали на воронке Бюхнера, сушили на воздухе, прес-

совали. При динамическом режиме в колонку диаметром 9...10 мм помещали 0,5 г сорбента, пропускали 1000 мл исследуемого раствора со скоростью 1500 мл/ч. Сорбент извлекали из колонки, сушили на воздухе, прессовали.

Полноту сорбции (степень извлечения металлов) проверяли путем сравнения интенсивностей линий характеристического излучения исследуемых и стандартных образцов. В качестве стандартных образцов использовали сформированные прессованием таблетки из 0,5 г волокнистого сорбента АН-31, на которые, вращая образец, равномерно накапывали из микробюретки концентрированный раствор металла (табл. 1–3). Образец высушивали и снова прессовали.

Таблица 1

Приготовление стандартных образцов-излучателей для измерения содержания Sc

Количество Sc (III) на стандартном образце, мкг	Концентрация исходного раствора Sc (III), г/л	Количество раствора, нанесенного на таблетку, мл
50	0,1000	0,50
300	0,1000	3,00
600	0,2000	3,00
1000	0,2000	5,00

Таблица 2

Приготовление стандартных образцов-излучателей для измерения содержания Sr

Количество Sr (II) на стандартном образце, мкг	Концентрация исходного раствора Sr (II), г/л	Количество раствора, нанесенного на таблетку, мл
50	0,1000	0,50
250	0,1000	2,50
500	0,1000	5,00
800	0,2000	4,00

Таблица 3

Приготовление стандартных образцов-излучателей для измерения содержания Cd

Количество Cd (II) на стандартном образце, мкг	Концентрация исходного раствора Cd (II), г/л	Количество раствора, нанесенного на таблетку, мл
80	0,1000	0,40
400	0,1000	2,00
900	0,2000	4,50
1300	0,2000	6,50

При пробоподготовке образцов для РФА обычно уделяют внимание обеспечению наиболее равномерного распределения анализируемого объекта в образце [2]. Все методы гомогенизации пробы создают дополнительные трудности и затраты времени при изготовлении образцов-излучателей. Для выяснения необходимости процесса гомогенизации при подготовке пробы для РФА проведены только стадии сорбции, высушивания и прессования анионита. Образец анализировали с двух сторон и сравнивали разброс значений интенсивности характери-

стического излучения. Результаты по двум методам сорбции приведены в табл. 4, из которой видно, что при использовании динамического режима сорбции разброс значений интенсивностей больше, чем в случае образцов, полученных путем сорбции ионов в статике. Погрешность пробоподготовки в динамическом режиме значительно превышает аппаратурную.

Таблица 4

Погрешности пробоподготовки при рентгенофлуоресцентном определении исследуемых элементов, сорбировавшихся на АН-31(В) в статике и динамике ($C_{исх}=500$ мкг/л, $n=6$)*

Элемент	Статика				
	I , имп/с	S^n , имп/с	S_r^n	S^a , имп/с	S_r^a
Sc	4150	56	0,014	66	0,016
	4070	52	0,013	64	0,016
	4020	49	0,12	58	0,014
Sr	5660	74	0,013	79	0,014
	5590	78	0,014	82	0,015
	5630	81	0,014	72	0,013
Cd	3420	57	0,017	67	0,020
	3510	62	0,018	73	0,021
	3460	66	0,019	76	0,022
	Динамика				
Sc	4310	188	0,044	62	0,014
	4230	121	0,029	84	0,020
	4180	164	0,039	56	0,013
Sr	5720	263	0,046	83	0,015
	6020	278	0,046	85	0,014
	5970	271	0,045	91	0,015
Cd	3860	254	0,066	74	0,019
	3730	261	0,070	81	0,022
	3610	242	0,067	83	0,023

* S^n , S^a - стандартные отклонения, связанные с пробоподготовкой и аппаратурной погрешностями.

Приведенные в табл. 4 данные свидетельствуют о значительном снижении погрешности пробоподготовки в статическом режиме сорбции по сравнению с динамическим. Весьма незначительные различия в погрешностях аппаратурной и пробоподготовки полностью снимают вопрос о необходимости гомогенизации анионита перед прессованием и показывают возможность повышения точности РФА при использовании статического варианта сорбционного концентрирования.

Данные, характеризующие полноту извлечения ионов на АН-31(В) в зависимости от концентрации исходного раствора, приведены в табл. 5–6.

Видно, что при одинаковом времени сорбции в статическом и динамическом режимах степень извлечения в последнем несколько ниже. В статике оптимальное время сорбции равно 40 мин. Дальнейшее его увеличение (до 60 мин) практически не повышает степени извлечения. В то же время зависимость степени извлечения от концентрации исходного раствора оказалась немонотонной. Выяснение природы такой зависимости требует дальнейших исследований.

В реальных условиях при проведении сверхкритической экстракции приходится иметь дело, как правило, с соединениями ряда элементов, концентрация которых в лучшем случае известна приблизительно. При этом производится предварительный качественный анализ. С помощью измеренных интенсивностей I_i приблизительно определяется состав образца на основании зависимости

$$C_i = C_{i3} \frac{I_i}{I_{i3}}, \quad (1)$$

где C_{i3} , I_{i3} – соответственно концентрация и интенсивность характеристического излучения (ХИ) определяемого элемента в эталоне; C_i , I_i – в пробе.

Таблица 5

Сорбция ионов Sc (III), Sr (II) и Cd (II) из водных растворов в динамическом режиме ($\tau=40$ мин, $n=6$, $P=0,95$)

Элемент	Введено, мкг	Найдено, мкг	S , мкг	$\frac{t_p \cdot S}{\sqrt{n}}$, мкг	Степень извлечения, %
Sc	100	40,2	2,6	2,99	40,2
	500	249,0	11,8	13,57	49,8
	1000	465,0	19,6	22,50	46,5
	1500	632,0	25,3	29,10	42,1
Sr	100	38,4	1,6	1,84	38,4
	500	200,5	8,4	9,67	40,1
	1000	362,0	15,2	17,49	36,2
	1500	517,5	19,7	22,70	34,5
Cd	100	75,2	3,05	3,51	75,2
	500	389,0	16,2	18,63	77,8
	1000	735,0	29,4	33,80	73,5
	1500	1026,0	41,0	47,15	68,4

Таблица 6

Сорбция ионов Sc (III), Sr (II) и Cd (II) из водных растворов в статическом режиме ($\tau=40$ мин, $n=6$, $P=0,95$)

Элемент	Введено, мкг	Найдено, мкг	S , мкг	$\frac{t_p \cdot S}{\sqrt{n}}$, мкг	Степень извлечения, %
Sc	100	61,4	1,26	1,45	61,4
	500	341,0	7,42	8,53	68,2
	1000	638,0	13,76	15,82	63,8
	1500	937,5	20,75	23,86	62,5
Sr	100	49,2	1,48	1,70	49,2
	500	274,0	8,22	9,45	54,8
	1000	522,0	15,70	18,06	52,2
	1500	777,0	23,30	26,80	51,8
Cd	100	85,4	2,56	2,94	85,4
	500	451,0	13,50	15,53	90,2
	1000	863,1	23,90	27,49	86,3
	1500	1288,5	33,60	38,64	85,9

Качественный анализ позволяет для исследуемого образца подобрать стандартные эталоны, близкие по составу к этому образцу. В этом случае точность определения по формуле (1) возрастает. Однако

точный количественный анализ требует учета всех факторов в силу неоднозначности связи I_i и C_i .

Метод РФА по своей физической природе дает информацию о количественном элементном составе в некотором приповерхностном слое вещества, из которого изготовлен исследуемый образец. От величины этого слоя, как и от содержания определенного элемента и общего химического состава анализируемого материала (матрицы) зависит интенсивность вторичного излучения аналитической линии определяемого элемента. При этом интенсивность вторичного излучения не зависит от толщины образца, если она больше некоторой «критической». Обычно «критическая» толщина образцов при РФА тяжелых металлов в легких матрицах составляет порядка 4 мм. Так как нами изготавливались образцы-излучатели путем прессования под высоким давлением, полученные образцы имеют характерную толщину порядка 0,5 мм, т.е. существенно меньше критической, и их можно считать «тонкими» образцами. Последние характеризуются тем, что в них эффекты усиления и ослабления рентгеновского излучения практически отсутствуют, так как на коротком пути прохождения через образец первичное и вторичное рентгеновские излучения не претерпевают сколь-нибудь заметных изменений.

При РФА тонких образцов для характеристики возбуждающего действия первичного рентгеновского излучения обычно оперируют понятием «эффективной длины волны», что дает возможность при использовании монохроматического приближения значительно упростить выражение для интенсивности аналитической линии. Эффективную длину волны $\lambda_{\text{эф}}$ определяют, как правило, экспериментально для конкретной аппаратуры и определенных условий возбуждения рентгеновского спектра. От угла падения φ первичного излучения на образец и выхода ψ из него вторичного излучения эффективная длина волны практически не зависит.

При возбуждении первичным монохроматическим пучком выражение для интенсивности флуоресцентного излучения элементов пленки в отсутствие эффектов избирательного возбуждения можно записать в следующем виде:

$$I_{2,i}^A = I_1 \cdot F \frac{\lambda_1^A}{\lambda_i^A} \cdot \frac{S_q^A - 1}{S_q^A} \cdot \tau_{m1}^A \cdot w_q^A \cdot P_i^A \cdot S \times \\ C_A \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{\mu_{m1}}{\sin \varphi} + \frac{\mu_{mi}}{\sin \psi} \right)^m \right] \right\} \times \\ \frac{\mu_{m1}}{\sin \varphi} + \frac{\mu_{mi}}{\sin \psi}, \quad (2)$$

где m – поверхностная плотность пленки, толщина которой d , а плотность ρ . Остальные обозначения те же, что в [2].

Для достаточно тонких пленок из-за малости поверхностной плотности экспоненту в (2) можно представить первыми двумя членами ряда, и выражение (2) будет иметь вид:

$$I_{2,i}^A = I_1 \cdot k C_A m, \quad (3)$$

где k - коэффициент, включающий в себя параметры F , λ_i^A , S_q^A , λ_{m1}^A , w_q^A , P_i^A , S , λ_i .

Выражение (3) показывает, что интенсивность флуоресценции, излученной тонким образцом, не зависит от химического состава наполнителя пробы, т.е. основы матрицы.

Применение в качестве первичного не монохроматического, а полихроматического излучения существенно изменяет вид аналитической зависимости (2), но общий экспоненциальный характер связи интенсивности вторичного излучения с толщиной и поверхностной плотностью сохраняется.

Одной из наиболее острых проблем в РФА является проблема эталонирования, особенно при стандартизации многокомпонентных слоев. Поэтому наиболее перспективным можно считать создание безэталонных методов анализа пленок или методов, позволяющих значительно сократить число градуировочных образцов.

Одним из способов сокращения числа градуировочных образцов является применение метода теоретических поправок к РФА многокомпонентных пленочных образцов, содержания элементов в которых изменяются в достаточно широких пределах [3].

При фиксированных условиях возбуждения спектра рентгеновской флуоресценции интенсивность аналитической линии элемента i гомогенной насыщенной пробы [2] является функцией концентраций всех элементов и поверхностной плотности m пробы:

$$I_i = f_i(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n, m). \quad (4)$$

В идеализированном предположении, что с изменением C_i ослабляющие и другие физические характеристики, а также поверхностная плотность пробы остаются такими же, что и для некоторого стандартного образца, имеется взаимно-однозначное соответствие между величинами I_i и C_i :

$$I_i = g_i(C_i) = \frac{I_i^0}{C_i^0} C_i. \quad (5)$$

При незначительном отличии составов и поверхностных плотностей пробы и эталона интенсивность I_i можно представить в виде:

$$I_i = f_i(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n, m) = g_i(C_i) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f_i}{\partial C_j} \right)_{m=m_0} \cdot \Delta C_j + \left(\frac{\partial f_i}{\partial m} \right)_{C_j=C_j^0} \cdot \Delta m \quad (6)$$

Здесь $\Delta C_j = C_j - C_j^0$; $\Delta m = m - m_0$; m_0 - поверхностная плотность эталона,

$$g_i(C_i) = \frac{f}{1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \Delta C_j + \beta_i \Delta m}$$

где

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{g_i} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial C_j}, \quad \beta_i = \frac{1}{g_i} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial m}$$

Параметры α_{ij} и β_i называются коэффициентами влияния, f_i представляет собой экспериментально измеренную интенсивность, исправленную на величину фона и просчеты счетчика; g_i - интенсивность, исправленную на взаимные влияния элементов и на изменение поверхностной плотности.

Исправление измеренной интенсивности на взаимное влияние элементов и изменение поверхностной плотности по формуле

$$I_i^{испр} = I_i^{изм} / \left(1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \Delta C_j + \beta_i \Delta m \right) \quad (7)$$

позволяет по прямой зависимости (5), преобразованной к виду

$$C_i = \frac{C_i^0}{I_i^0} I_i^{испр}, \quad (8)$$

найти концентрацию определяемого элемента.

Применение метода теоретических поправок требует, в принципе, наличия одного стандартного образца.

Строгий учет фона вообще является одной из наиболее сложных задач РФА: измерение фона непосредственно под аналитической линией невозможно, и заключение о его величине производится косвенным путем, что в ряде случаев может привести к значительным погрешностям. Существенным этапом измерений является приготовление стандартных (контрольных) образцов.

На погрешность контрольных образцов влияют следующие факторы:

- погрешность взвешивания исходного вещества;
- погрешность взвешивания связующего вещества;
- потери связующего вещества при смешивании-истирании.

Следует отметить, что методика приготовления контрольных образцов разработана с таким расчетом, чтобы полностью исключить потери исходного (основного) вещества при смешивании-истирании со связующим.

Существуют также потери при расфасовке (взвешивании) готовой смеси, ее прессования. Но эти потери влияют на массу контрольного образца и не изменяют его состава (концентрации). Поэтому при расчете погрешности контрольного образца по концентрации указанные потери не учитываются.

Относительная погрешность взвешивания исходного вещества определяется выражением:

$$\delta_{исх} = \frac{\Delta_{абс.исх}}{n \cdot P_{исх}} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где $\Delta_{абс.исх}$ - абсолютное значение погрешности взвешивания исходного вещества, которое в зависимости от типа весов составляет: $\pm 0,1$ и $\pm 0,02$ мг; $P_{исх}$ - масса исходного вещества из расчета на 1 эк-

земляр контрольного образца; n – количество одновременно приготавливаемых образцов.

Относительная погрешность взвешивания связующего вещества определяется выражением:

$$\delta_{св} = \frac{\Delta_{абс.св.}}{n \cdot P_{св}} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где $\Delta_{абс.св.}$ – абсолютное значение погрешности взвешивания связующего вещества; $P_{св}$ – масса связующего вещества.

Потери связующего вещества при смешивании-истирании в фарфоровой ступке по данным экспериментальных исследований не превышают 0,2 г. Относительную погрешность смешивания (истирания) в этом случае можно определить с помощью выражения:

$$\delta_{см} = \frac{0,2}{n \cdot P_{св}} \cdot 100 \%. \quad (11)$$

Погрешность приготовления контрольных образцов (по концентрации) можно определить по формуле:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{исх}^2 + \delta_{св}^2 + \delta_{см}^2}. \quad (12)$$

Стандартные образцы, полученные методом прессования, характеризуются данными, приведенными в табл. 7.

В целях упрощения и удобства расчетов рабочие образцы для СКФЭ готовились разбавлением контрольных образцов в 100 раз. После проведения акта СКФЭ с использованием ионообменных смол в фазе элюента проводилось просушивание образцов при температурах 60...70 °С с последующей стандартной подготовкой к РФА. При этом степени извлечения определялись как отношения интенсивностей линий характеристического рентгеновского излучения от соответствующих элементов на контрольных и рабочих образцах.

В табл. 8 приведены расчетные значения погрешностей для каждого типа (экземпляра) контрольного образца.

Таблица 7

Параметры используемых стандартных образцов

Элемент	Исходное соединение	Масса исходного соединения, г	Масса связующего, г	Толщина, мм
Sc	ScF ₃	0,226	9,774	5 ± 2
Sc	ScF ₃	6,780	3,220	5 ± 2
Sc	ScF ₃	2,260	7,740	5 ± 2
Sr	SrO	0,45	8,55	8 ± 3
Sr	SrO	5,910	4,090	5 ± 2
Sr	SrO	0,118	9,882	5 ± 2
Cd	CdO	0,114	9,886	5 ± 2
Cd	CdO	5,700	4,300	5 ± 2

Данные, характеризующие полноту извлечения исследуемых ионов металлов (Sc III, Sr II и Cd II) в статике в зависимости от времени сорбции приведены на рисунке. Оптимальное время сорбции составило порядка 40 мин.

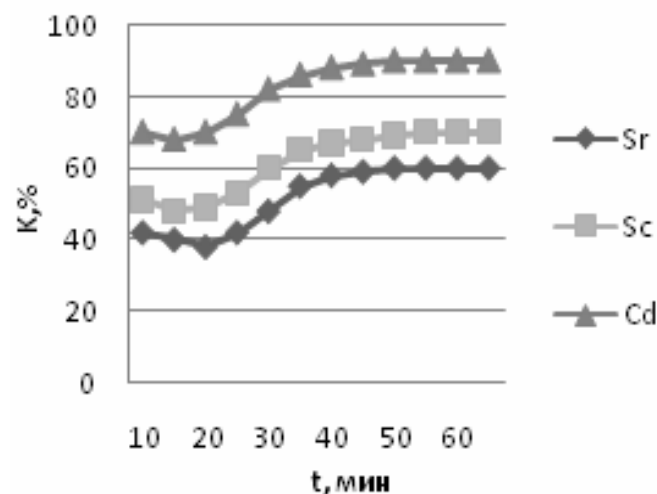
Полученные нами степени извлечения по сериям из 5 образцов составили: для Sc – (64±4)%; для Cd – (87±4)%; для Sr – (52±4)%.

Разброс показателей концентрирования как по степени извлечения, так и по измеренной интенсивности (ХИ) связан, по нашему мнению, как с неоптимизированной емкостью сорбента селективно по каждому элементу, так и с погрешностями пробоподготовки и измерений.

Таблица 8

Погрешности приготовления стандартных образцов

Элемент	Погрешность взвешивания вещества, %		Погрешность стандартн. обр. по концентрации, %
	исходного	связующего	
Sc	4,4·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁴	0,51
Sc	3,7·10 ⁻⁴	7,8·10 ⁻⁴	1,55
Sc	1,1·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁴	0,65
Sr	2,2·10 ⁻³	3,1·10 ⁻⁴	0,57
Sr	4,2·10 ⁻⁴	6,1·10 ⁻⁴	1,22
Sr	8,47·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁴	0,50
Cd	8,8·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁴	0,50
Cd	4,3·10 ⁻⁴	5,8·10 ⁻⁴	1,16



Зависимость степени извлечения (k) металлов от времени экстракции (t)

Полученные результаты позволяют утверждать, что предложенная методика использования сорбционного концентрирования на разных этапах СКФЭ (включая аналитические окончания) может быть достаточно уверенно реализована для данного перспективного метода извлечения необходимых элементов.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам фирмы «Сина» и лично ее директору Сироко Г.В. за предоставленную возможность проведения ряда альтернативных измерений на стендах сверхвысокого давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Цымбал, В.А. Бочаров, О.В. Полевич и др. Сорбционное концентрирование и сверхкритическая экстракция 3d-металлов для рентгенофлуоресцентного определения. Состояние проблемы. Часть 1 // *См. наст. номер*, с. 212-214.

2. Н.Ф. Лосев, А.Н. Смагунова. *Основы рентгеноспектрального анализа*. М.: «Химия», 1982, 207 с.

3. О.В. Полевич, А.В. Шперер, Т.И. Углова. Информационные технологии рентгенофлуоресцентного анализа состава жидкостей // *Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ»*, 2004, № 45, с. 158 – 165.

Статья поступила в редакцию 14.08.2009 г.

СОРБЦІЙНЕ КОНЦЕНТРУВАННЯ МЕТАЛІВ ДЛЯ НАДКРИТИЧНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ З РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНИМ АНАЛІТИЧНИМ ЗАКІНЧЕННЯМ Частина 2

В.О. Цимбал, О.В. Полевич, В.О. Бочаров, М.Д. Масалітін, Д.Ю. Шахов

Розглянуто концентрування Cd, Sc, Sr на волокнистому аніоніті АН-31(В) як попередню стадію для надкритичної флюїдної екстракції, а також усі аспекти рентгенофлуоресцентного визначення цих металів з використанням тонких випромінювачів. Визначені деякі метрологічні характеристики методики.

SORPTIONS STRENGTH OF METALS FOR SUPERCRITICAL EXTRACTION WITH X-RAY FLUORESCENCE ANALYTICAL COMPLETION Part 2

V.A. Tsymbal, O.V. Polevich, V.A. Bocharov, N.D. Masalitin, D. Yu. Shakhov

An analytical strength of Cd, Sc and Sr on fibrous anionite AN-31(F) as a preliminary stage for supercritical fluoride extraction is considered in this paper. We consider all aspects X-ray fluorescence determination of these metals using thin emitters. Some metrological characteristics of method are determined.