

УДК 547.673:547.233:543.4

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ЦЕРИЯ(III) И ЦИРКОНИЯ(IV) С ПРОИЗВОДНЫМИ ОКСИАНТРАХИНОНА

Дегтев М.И., Дудукалов Н.В.

ГОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
Пермь, e-mail: anchem@psu.ru

В работе приведены сведения о комплексообразовании и распределении комплексов церия(III) и циркония(IV) в бутанол-1 или его смесь с хлороформом с аминотетилированными производными 1,2-дигидроксиантрахинона. В качестве реагентов, кроме 1,2-дигидроксиантрахинона, использованы 3-*N,N*-диэтиламинометил-1,2-дигидроксиантрахинон и 3-*N,N*-пиперидилметил-1,2-дигидроксиантрахинон. Комплексообразование и экстракцию буферных растворов изучали при pH 2–8 или из смешанных растворов, содержащих неорганические (Cl^- , NO_3^- , SCN^- , ClO_4^- , SO_4^{2-}) или трихлорацетат-ионы. Найдены оптимальные условия комплексообразования и экстракции, определён состав комплексов, обсуждены ИК-спектры и предложена их структура. Комплекс церия(III) с 3-*N,N*-диэтиламинометил-1,2-дигидроксиантрахиноном получен препаративно. По экстракционной способности реагенты расположены в определённой последовательности, для церия – 3-*N,N*-диэтиламинометил-1,2-дигидроксиантрахинон > 3-*N,N*-пиперидилметил-1,2-дигидроксиантрахинон > 1,2-дигидроксиантрахинон; для циркония – 1,2-дигидроксиантрахинон > 3-*N,N*-пиперидилметил-1,2-дигидроксиантрахинон > 3-*N,N*-диэтиламинометил-1,2-дигидроксиантрахинон.

Ключевые слова: церий(III), цирконий(IV), комплексообразование, экстракция, 1,2-дигидроксиантрахинон, 3-*N,N*-диэтиламинометил-1,2-дигидроксиантрахинон, 3-*N,N*-пиперидилметил-1,2-дигидроксиантрахинон, бутанол-1, ацетатно-буферный раствор, перхлорат натрия, трихлорацетат натрия

COMPLEXATION AND DISTRIBUTION PATTERNS COMPLEXES OF CERIUM (III) AND ZIRCONIUM (IV) WITH DERIVATIVES HYDROXYANTHRAQUINONES

Degtev M.I., Dudukalov N.V.

GOU VPO «Perm state university», Perm, e-mail: anchem@psu.ru

The paper provides information about the complexation and distribution of the complexes of cerium (III) and zirconium (IV) in butanol-1 or a mixture of chloroform with aminotetilated derivatives of 1,2-dihydroxyanthraquinone. As reagents, except for 1,2-dihydroxyanthraquinone, used 3-*N,N*-diethylaminomethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone and 3-*N,N*-piperidylmethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone. Complexation and extraction is carried out in acetate buffer solution at pH 2–8, or from mixed solutions containing inorganic (Cl^- , NO_3^- , SCN^- , ClO_4^- , SO_4^{2-}) or trichloroacetate ions. The optimal extraction conditions, we determined the structure of complexes, discussed the infrared spectra of the complexes, their proposed structure. The complex of cerium (III) with 3-*N,N*-diethylaminomethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone preparative obtained. On the extraction ability of agents located in a certain sequence of cerium – 3-*N,N*-diethylaminomethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone > 3-*N,N*-piperidylmethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone > 1,2-dihydroxyanthraquinone; for zirconium – 1,2-dihydroxyanthraquinone > 3-*N,N*-piperidylmethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone > 3-*N,N*-diethylaminomethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone.

Keywords: cerium (III), zirconium (IV), complexation, extraction, 1,2-dihydroxyanthraquinone, 3-*N,N*-diethylaminomethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone, 3-*N,N*-piperidylmethyl-1,2-dihydroxyanthraquinone, butanol-1, acetate buffer solution, sodium perchlorate, sodium trichloroacetate

В практике неорганического анализа широкое применение нашли соединения, относящиеся к различным классам красителей. Это прежде всего трифенилметановые красители [1], антипириновые [2] и антрахиноновые [3]. В основе строения антрахиноновых красителей лежит молекула антрахинона, малая реакционная способность которой придаёт красителям особую прочность, а введение простейших заместителей существенно углубляет окраску. В качестве аналитического реагента из производных антрахинона наибольшее применение нашёл 1,2-дигидроксиантрахинон [4, 5]. Однако малая растворимость реагента, также его соединений с ионами металлов ограничивает его применение. Новые возможности в использовании производных антрахинона появились с введением амина-

диацилатной группировки в антрахиноновый цикл [6, 7].

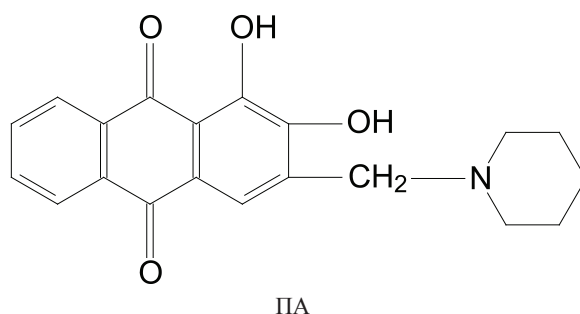
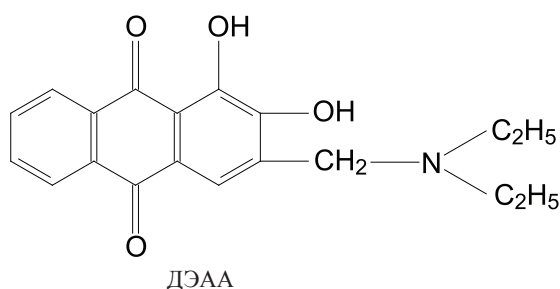
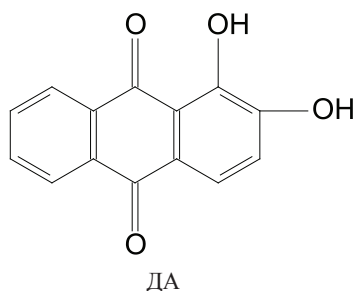
Целью данной работы явилось изучение экстракционной возможности продукта конденсации ализарина с диэтиламином или пиперидилом и формальдегидом для выделения и определения ионов церия(III) и циркония(IV).

Экспериментальная часть

Для исследования использовали серную, хлороводородную, азотную, хлорную и трихлоруксусные кислоты квалификации «чда», 0,1 стандартизовали комплексонометрически с индикатором ксиленовым оранжевым [8]. Перхлорат натрия применяли марки «ч», трихлорацетат натрия получали нейтрализацией трихлоруксусной кислоты раствором едкого натра соли NaCl , NaSCN , Na_2SO_4 – марки «чда». Ацетатно-буферные растворы готовили по методу [9]. В качестве реагентов использовали 1,2-дигидрокси-

антрахинон (ДА) марки «ч», который перекристаллизовывали из ледяной уксусной кислоты, 3-N,N-диэтиламинометил-1,2-дигидроксиантрахинон

(ДЭАА) и 3-N,N-пиперидилметил-1,2-дигидроксиантрахинон (ПА) синтезированы по методу [10]. Структурные формулы реагентов приведены ниже.



Растворы реагентов концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л готовили растворением их навесок в смеси бутанол-хлороформ (фармакопейный) в отношении 9:1.

Экстракцию проводили при равных объёмах фаз (20 мл), время контактирования – 10 мин, время расслаивания – 2–3 мин. Содержание церия и циркония в органической фазе определяли фотометрически, так как их комплексы с производными антрахинона интенсивно окрашены. Оптическую плотность измеряли на приборе Unico-139 или на приборе КФК-2МП со светофильтром № 7 ($\lambda_{\text{max}} = 590$ нм) в кювете с толщиной поглощающего слоя 1 см.

Определение нитрат- и трихлорацетат-ионов в комплексе проводили по методам [11, 12].

Для установления строения комплекса ДЭАА с церием(III) последний был выделен препаративно. Спектры снимали на приборе UR-20 в пасте с вазелиновым маслом, скорость записи 160 см⁻¹/мин, призма NaCl (диапазон 670–3700 см⁻¹).

Для препаративного выделения комплекса экстракцию осуществляли в условиях: [ДЭАА] = 10^{-2} моль/л; [Ce^{III}] = $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л = [CCl₃COONa] = 0,25 моль/л. Экстракцию проводили при равных объёмах фаз (100 мл), время контактирования – 10 мин. После расслаивания водную фазу сливали, к органической фазе приливали гексан (300 мл) и оставляли на сутки. После этого осадок отфильтровывали на воронке Шотта, промывали гексаном и высушивали на воздухе.

Результаты исследования и их обсуждение

При изучении экстракции церия(III) и циркония(IV) в зависимости от кислотности водной фазы установлено, что из растворов минеральных кислот (HCl, H₂SO₄, HClO₄) элементы не извлекаются ни одним из трёх реагентов. Экстракцию проводили в хлороформ, бутанол или четырёххлористый углерод.

С увеличением pH за счёт введения ацетатного буферного раствора церий и цирконий извлекаются в виде окрашенных соединений в смесь бутанол-хлороформ (9:1). При этом максимум извлечения Ce(III) ДЭАА и ПА находятся в области pH 2–7 для обоих реагентов; Zr(IV) – pH 3,5 и pH 2,7 соответственно.

Однако использование ацетатных буферных растворов для экстракционно-фотометрических определений неэффективно, так как расслаивание фаз длительно во времени (образование эмульсии на границе раздела фаз), а в некоторых случаях наблюдается выделение осадков.

Введение перхлорат-ионов к аналитическому буферному раствору не способствует увеличению коэффициента распределения церия, а наоборот, значительно уменьшает извлечение элемента и увеличивает количество выделяемых осадков (рис. 1 а, б).

В трихлорацетатных растворах в отличие от перхлоратных, при экстракции не наблюдается выделения осадков, а отмечается быстрое расслаивание для реагентов ДЭАА и ПА. В случае Zr(IV) введение перхлорат-или ацетат-ионов способствует повышению степени извлечения элемента для ДЭАА до 95%, ПА – 98% и, как следствие, увеличению оптической плотности экстрактов (рис. 2 а, б).

Следует указать, что при экстракции церия(III) в присутствии трихлорацетата натрия наблюдается уменьшение объёма водной фазы и увеличение объёма органической за счёт их смешивания. Коэффициент экстинкции при этом равен 2765.

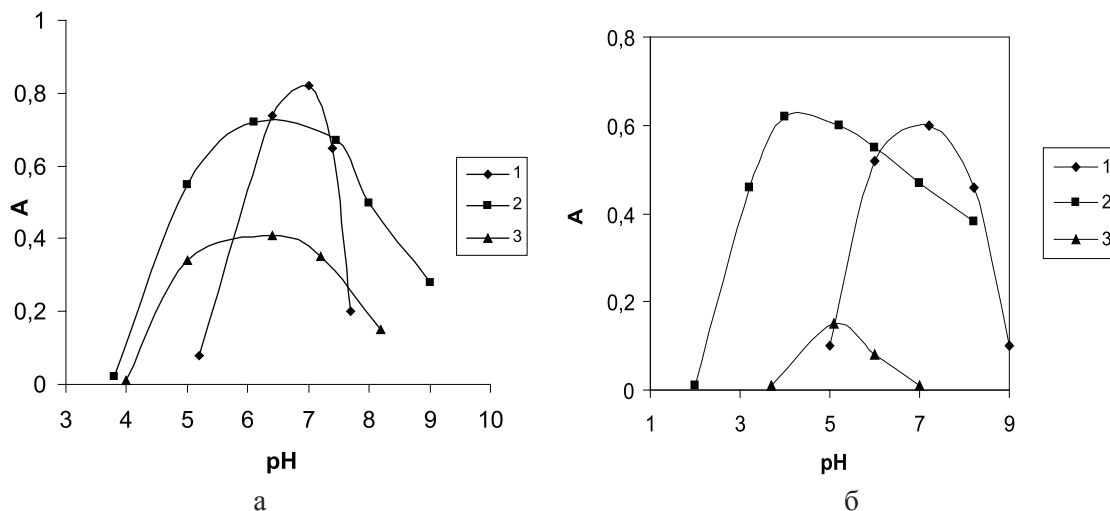


Рис. 1. Зависимость оптической плотности растворов комплексов Се-*R* от pH [*R* = ДЭАА (а). ПА – (б)]:
1 – ацетатно-буферный раствор; 2 – 0,25 моль/л CCl_3COONa ;
3 – ацетатно-буферный раствор и 1 моль/л NaClO_4

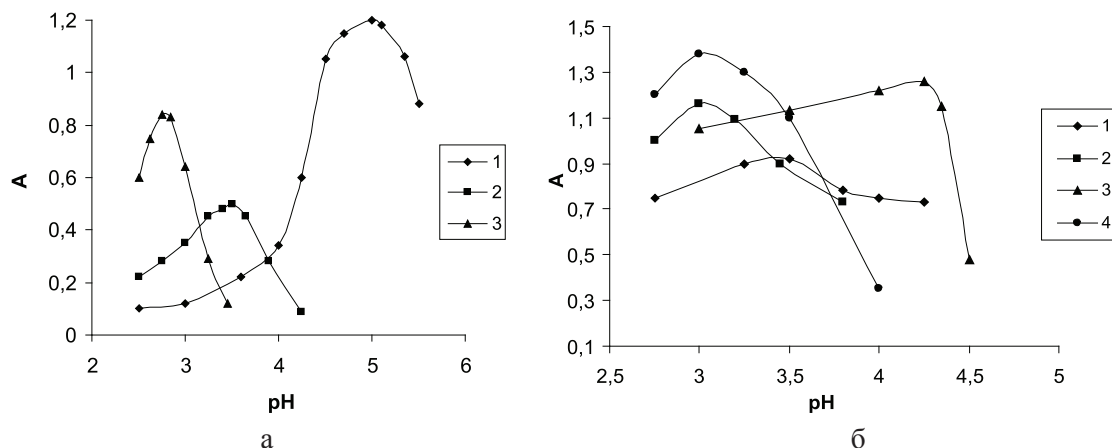


Рис. 2. Зависимость оптической плотности раствора комплекса *Zr-R* от pH ацетатно-буферного раствора (а) и смешанного ацетатно-буферного раствора (б):
n-бутанол, $\lambda = 540$ нм, $C_R = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, *Zr* – 245 мкг, *L* – 2 см; КФК – 2 МП, $V_o = V_g = 10$ мл.
а – 1 – ДА, 2 – ДЭАА, 3 – ПА; б – 1 моль/л NaClO_4 :
1 – ДЭАА; 2 – ПА; 0,1 моль/л CCl_3COONa : 3 – ДЭАА; 4 – ПА

Анализ полученных результатов показал, что для экстракции церия(III) и циркония(IV) целесообразно использовать соответственно 0,25 и 0,1 моль/л раствор трихлорацетата натрия. Оптимальным для извлечения церия(III) является pH 6 (ДЭАА) и pH 3,9 (ПА), а для циркония(IV) pH 3,5 (ДЭАА) и pH 2,7 (ПА). Использование реагента ДА для экстракционного извлечения церия(III) является нецелесообразным вследствие образования осадков во всех трёх системах и, напротив, из ацетатно-буферных растворов наблюдается извлечение *Zr*(IV) в бутанол и смесь бутанол: $\text{CHCl}_3 = 9:1$ в интервале pH 2–6 в виде комплекса, окрашенного в красный цвет. При этом максимум светопоглощения

бутанольных экстрактов комплекса *Zr* с ДА находится при pH 5 и длине волны $\lambda = 520$ нм, *L* = 2 см. Следует отметить, что экстракция циркония ДА из растворов с pH > 4 сопровождалась образованием плёнки красного цвета на границе раздела фаз. Во всех случаях отличалось увеличение $\text{pH}_{\text{равн}}$ по отношению к $\text{pH}_{\text{исх}}$ на одну и ту же величину 0,5–0,6 единиц pH.

Смещение максимума экстракции комплексов циркония с ДЭАА и ПА и церия с ПА в более кислую область, по-видимому, связано с увеличением основности реагентов за счёт введения в молекулу ДА *N,N*-диалкиламинотетильного радикала. При прочих равных условиях большая интенсивность экстрактов комплекса *Zr*(IV)

и степени извлечения достигается при использовании ДА, что позволило расположить экстрагенты по эффективности извлечения циркония в следующий ряд: ДА > ПА > ДЭАА. В случае церия(III) этот ряд меняется ДЭАА > ПА > ДА. Действительно, максимальная оптическая плотность комплекса Се – ДЭАА (0,82) выше оптической плотности комплекса Се – ПА (0,64). Приведённые данные свидетельствуют о том, что экстрагируемость комплексов зависит не только от природы реагента, но и от свойств центрального иона – комплексообразователя.

В оптимальных условиях экстракции рассмотрено влияние анионного фона на извлечение комплекса Се–ДЭАА (рис. 3) и Zr–ДЭАА (таблица). При введении различных

концентраций хлорид-, сульфат- и тиоцианат-ионов оптическая плотность комплексов Се – ДЭАА уменьшается. Особенно это характерно для тиоцианат-ионов, которые при концентрации, равной 0,1 моль/л, подавляют экстракцию иона металла. В присутствии нитрат-ионов оптическая плотность незначительно увеличивается, однако, в присутствии хлорид- и нитрат-ионов распределение комплексов сопровождается выделением осадков. Из приведённых данных следует, что только трихлорацетатные растворы эффективны для выделения ионов церия(III). Зависимость $A - C_R$ (где A – оптическая плотность, C_R – концентрация реагента) показала, что максимальная плотность (A) достигается при концентрации ДЭАА и ПА, равной $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Влияние анионного фона на извлечение циркония (245 мкг) из ацетатно-буферных растворов ($C_R = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; Zr – 245 мкг, ДЭАА – pH 3,2; ПА – pH 3,0, $\lambda = 540$ нм, $l = 3$ см, $V_o = V_v = 10$ мл)

Анион, 1 моль/л	ДЭАА		ПА	
	A	E, %	A	E, %
Ацетатно-буферный раствор	0,40	68,6	1,00	82,8
Cl ⁻	0,52	72,5	1,03	86,6
NO ₃ ⁻	0,66	89,2	1,10	92,8
SCN ⁻	0,88	96,6	1,05	88,8
SO ₄ ²⁻	0,12	31,0	< 0,01	~1,4
CClO ₄ ⁻	0,84	95,7	1,28	98,8
CCl ₃ COO ⁻ (0,1 моль/л)	0,84	95,7	1,36	99,9

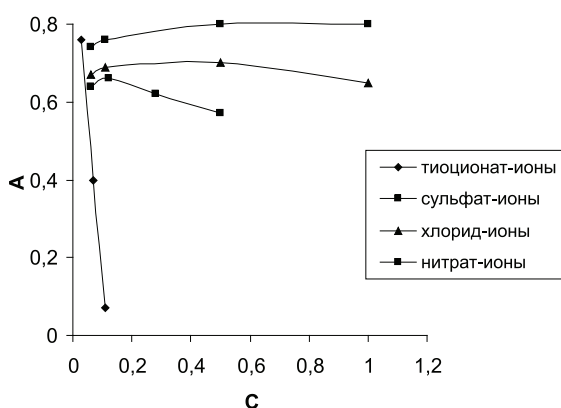


Рис. 3. Влияние анионного фона на оптическую плотность раствора комплекса Се–ДЭАА: $[Ce(III)] = 1,13 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $[ДЭАА] = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $[CCl_3COONa] = 0,25$ моль/л; $\lambda = 590$ нм, $l = 1$ см, pH 6,0

В отличие от церия(III) извлечение циркония(IV) при введении хлорид-, нитрат- и тиоцианат-ионов возрастает от 68 до 96%. Так, в присутствии хлорид-ионов $E_{Zr} = 72\%$, нитрат-ионов – 89% и ти-

оцианат-ионов – 96% и, напротив, введение сульфат-ионов уменьшает извлечение Zr(IV) реагентом ДЭАА до 30%, а в случае ПА E_{Zr} процент не превышает 1,4%.

Существенного отличия в экстракции циркония(IV) ДА из ацетатно-буферных растворов и растворов в присутствии $NaClO_4$ или CCl_3COONa не наблюдается. Изменение pH незначительное, так при извлечении комплекса Zn–ДА из ацетатно-буферного раствора pH 5,0, а в присутствии перхлората или трихлорацетата натрия pH 4,7. В случае смешанных трихлорацетатных растворов максимальное извлечение циркония ДА достигается при $= 0,2$ моль/л, а в присутствии $NaClO_4$ – 1 моль/л. Необходимо отметить, что при экстракции из смешанных растворов в присутствии перхлората и особенно трихлорацетата натрия возрастает смешиваемость бутанола и водной фазы. Так, при концентрации CCl_3COONa , равной 0,6 моль/л, возникает гомогенная система. Для устранения возможности смешивания фаз исследовано влияние добавок хлороформа к раствору

реагентов ДЭАА и ПАВ в бутаноле. Оказалось, что 10 %-я добавка хлороформа к бутанолу в случае 1 моль/л NaClO_4 практически подавляет смешиваемость растворов, при этом оптическая плотность раствора комплекса Zr-R возрастает на 0,07 ед. Большее содержание хлороформа неэффективно, так как наблюдается выделение осадка комплекса на границе раздела фаз.

При сопоставлении электронных спектров поглощения бутанольных экстрактов реагентов или смеси растворителей $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}:\text{CHCl}_3 = 9:10$ и их комплексов с цирконием оказалось, что максимум поглощения комплексов последних сдвинут на 60 нм в длинноволновую область, а для церия на 130 нм. Максимум светопоглощения реагентов находится при 460 нм, комплексов с цирконием при 540, а с церием – 590 нм.

Спектры поглощения комплексов имеют одинаковый характер при извлечении элемента из ацетатно-буферных растворов и из смешанных растворов в присутствии NaClO_4 или CCl_3COONa (Zr) и CCl_3COONa (Ce).

Изменение в широких пределах соотношения компонентов, времени и температуры не влечёт за собой смещения максимумов светопоглощения комплексов, что указывает на образование соединений постоянного состава.

Приведённые данные косвенно свидетельствуют о том, что в комплексообразовании с цирконием и церием участвуют одинаковые солеобразующие и координационные группы. Поэтому есть основание предположить, что атом азота в реагентах ДЭАА и ПА не принимает участия в образовании донорно-акцепторной связи с ионом циркония.

Для нахождения отношения $\text{Ce}:\text{R}$ в извлекаемых комплексах строили логарифмические зависимости $\lg D - \lg C_R$. Уравнения, рассчитанные по методу наименьших квадратов для ионов церия(III), имеют вид:

$$\text{Ce} - \text{ДЭАА } y = 1,89x + 7,83 \quad r = 0,9996;$$

$$\text{Ce} - \text{ПА } y = 1,69x + 6,17 \quad r = 0,9964,$$

т.е. в органическую фазу извлекаются комплексы с молярным соотношением $\text{R}:\text{Ce} = 2:1$.

Полученное соотношение подтверждено методом изомолярных серий (рис. 4), в котором суммарная концентрация реагента и церия(III) составляла $3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л (ПА). Положение максимумов на кривых показывает, что в обоих случаях отношение $\text{R}:\text{Ce} = 2:1$.

По данным изомолярной серии в соответствии с методом [13] рассчитаны константы нестойкости извлекаемых комплексов

$$\text{Ce} - \text{ДЭАА } 1/\beta_n = 1,06 \cdot 10^{-10},$$

$$\text{Ce} - \text{ПА } 1/\beta_n = 1,13 \cdot 10^{-11}.$$

Полноту экстракции ионов церия(III) с ДЭАА определяли по водной фазе (методика с арсеназо III). Оказалось, что после экстракции содержание церия не превышает следовых количеств. Следовательно, экстракция составляет более 99 %.

Для свежеприготовленного раствора циркония ZrOCl данные логарифмической зависимости (0,25 моль/л CCl_3COONa), а также изомолярной серии (рис. 4) тоже подтвердили отношение $\text{R}:\text{Zr}^{4+} = 2:1$ для реагентов ДЭАА и ПА, что указывает на одинаковый механизм и структуру извлекаемого комплекса. Свежеприготовленный раствор хлорида циркония не успевает перейти в условиях pH 2,7–5,0 в гидролизованную форму, например, $\text{Zr}(\text{OH})_2^{2+}$ и, по-видимому, в комплексообразовании с реагентами (ДА, ДЭАА, ПА) участвует форма ZrO^{2+} , а не гидролизованная форма.

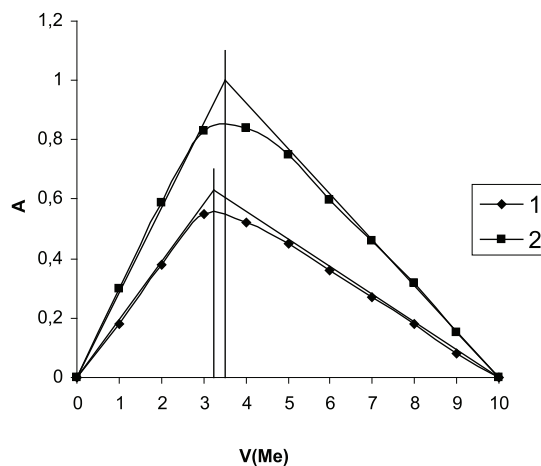
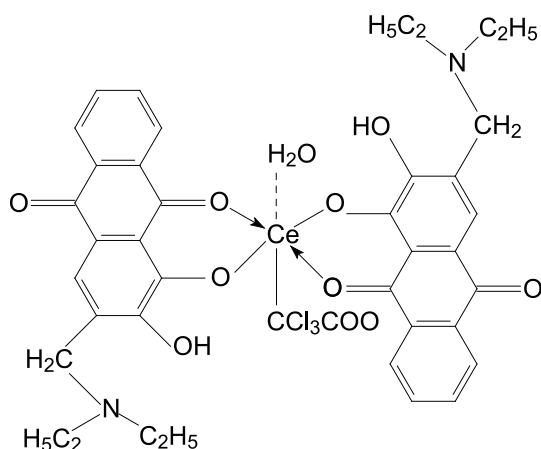
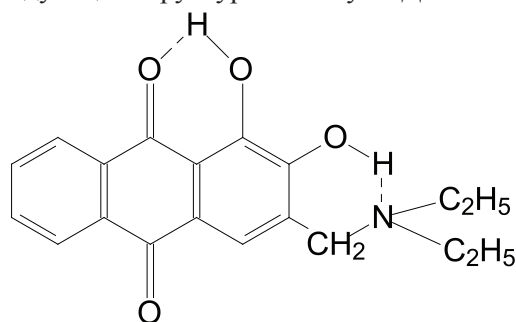


Рис. 4. Изомолярные серии комплексов церия с производными антрахинона: 1 – ДЭАА Се, $R = 3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 2 – ПА; ΣCe , $R = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $V_o = V_g = 20$ мл

Поскольку комплекс Ce(III) с ДЭАА выделен препаративно, то строение последнего устанавливали по данным ИК-спектроскопии. В ИК-спектре ДЭАА присутствуют полосы поглощения свободной $\text{C}=\text{O}$ группы ($\nu_{\text{C}=\text{O}} 1650 \text{ см}^{-1}$) и связанной водородной связью с OH -группой ($\nu_{\text{C}=\text{O}} 1625 \text{ см}^{-1}$) молекулы реагента в 1-ом положении. Полосы поглощения валентных колебаний OH -групп отсутствуют, так как они связаны водородными связями с группой $\text{C}=\text{O}$ и атомом азота диэтиламиногруппы. В спектре комплекса присутствует полоса поглощения свободной $\text{C}=\text{O}$ группы ($\nu_{\text{C}=\text{O}} 1680 \text{ см}^{-1}$), группы $\text{C}=\text{O}$, участвующей в образовании комплекса ($\nu_{\text{C}=\text{O}} 1624 \text{ см}^{-1}$) и группы OH ($\nu_{\text{OH}} 3343 \text{ см}^{-1}$), то есть в комплексе происходит разрыв водородной связи $-\text{OH} \cdots \text{N} =$.

Сравнение ИК-спектров реагента и его комплекса с Ce(III) позволяет сделать вывод об участии в комплексообразовании следующей структуры молекулы ДЭАА.



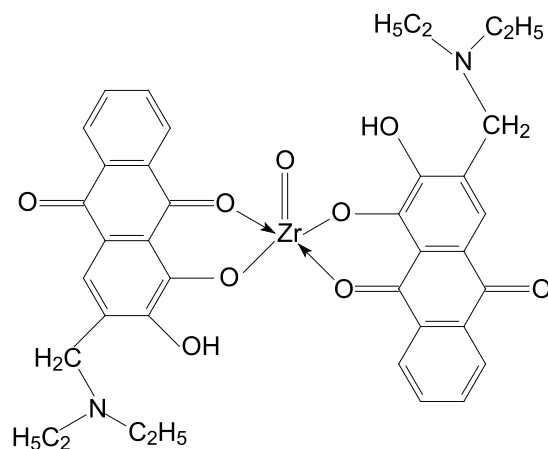
В оптимальных условиях извлечения церия(III) ДЭАА (рН 6; $[CCl_3COONa] = 0,25$ моль/л) построен градуировочный график, который подчиняется закону Бугера–Ламберта–Бера при содержании элемента 50–400 мкг.

Для разработки методики определения церия(III) с ДЭАА было изучено распределение других элементов. Вместе с церием извлекаются самарий, диспрозий, олово, марганец. Не мешают извлечению торий в отношении 3:1, барий – 9:1, медь, кадмий, кальций – 1:1, магний 2:1 и стронций 6:1.

Список литературы

1. Fisher E., Fisher O. // Ber. – 1979. – Vol. 12. – P. 798.
2. Живописцев В.П., Селезнева Е.А. Аналитическая химия цинка. – М., 1975. – 499 с.
3. Химия антрахинона / под ред. А.И. Королева и др. – М.: 1969. – 194 с.
4. Сендел Е. Калориметрические методы определения следов металлов. – М., 1964. – С. 172–173.
5. Йоу Дэк. Г. Фотометрический химический анализ. Калориметры. – М., 1935. – С. 141–142.
6. Beleher R., Leonard V.F., West T.S. // J. Chem. Soc. – 1958. – Vol. 6, № 4. – P. 2390–2393.

Наличие такого фрагмента молекулы реагента подтверждено данными ИК-спектра хлоридной соли реагента, для которой характерно поглощение свободной карбонильной группы $\nu_{C=O}$ 1650 см^{-1} , участвующей в образовании водородной связи, $C=O \cdots H-O$, смещается в область $\nu_{C=O}$ 1620 см^{-1} , при этом водородная связь $N \cdots H-O$ разрывается и по сравнению со спектром свободного реагента в спектре соли появляются две новые полосы: ν_{OH} 3440 см^{-1} , ν_{NH^+} 2500 см^{-1} . Таким образом структуру комплексов Ce(III) и Zr(IV) с реагентами ДЭАА или ПА можно представить в виде



7. Leonard V.F., West T.S. // J. Chem. Soc. – 1960. – Vol. 6, № 5. – P. 4477–4486.

8. Шварценбах Г., Флашка П. Комплексонометрическое титрование. – М.: Химия, 1970. – 360 с.

9. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1971. – 454 с.

10. Бабушкин В.А., Бармина Г.А., Сарана И.А., Дегтев М.И. // Органические реагенты в аналитической химии: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь, 1991. – С. 118–128.

11. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. – М.-Л.: Химия, 1965. – 975 с.

12. Петров Б.И., Живописцев В.П., Вилисов В.Н. и др. Органические реагенты в аналитической химии: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь, 1978. – С. 14–28.

13. Инцеди Я. Применение комплексов в аналитической химии. – М., 1979. – С. 122–123.

Рецензенты:

Абашев Г.Г., д.х.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института технической химии УрО РАН, г. Пермь;

Басов В.Н., д.х.н., директор по химической технологии ООО «Межрегиональный центр биологических и химических технологий», г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 19.07.2011.