

УДК 542.061

DOI: 10.17072/2223-1838-2020-4-338-347

С.А. Денисова¹, А.О. Хомутова¹, А.М. Елохов^{1,2}¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия² Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия

**КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ И ИХ КОМПЛЕКСОВ
С ИОНАМИ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМАХ
НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ АНИОННЫХ И КАТИОННЫХ ПАВ**

В работе исследовано распределение ряда органических комплексообразующих реагентов в системах бис(алкилполиоксиэтилен)фосфат калия (оксифос Б) – хлорид алкилбензилдиметиламмония (катамин АВ) – вода и оксифос Б – третичный оксиэтилированный амин кислот кокосового масла (ethomeen C/15) – вода, а также предложена методика экстракционно-спектрофотометрического определения тория с арсеназо III. Определен состав образующегося комплексного соединения и его устойчивость.

Ключевые слова: ионные поверхностно-активные вещества; арсеназо III; торий; жидкостная экстракция; спектрофотометрия

S.A. Denisova¹, A.O. Khomutva¹, A.M. Elokhov^{1,2}¹ Perm State University, Perm, Russia² Institute of Natural Science, Perm State University, Perm, Russia

**EXTRACTION OF ORGANIC COMPLEX-FORMING REAGENTS
AND THEIR COMPLEXES WITH METAL IONS IN SYSTEMS
BASED ON MIXTURES OF ANIONIC AND CATIONIC SURFACTANTS**

The work investigates the distribution patterns of organic complexing reagents in the potassium bis(alkylpolyoxyethylene)phosphate (oxyphos B) – alkylbenzyltrimethylammonium chloride (catamine AB) – water and oxyphos B – tertiary oxyethylated amine of coconut oil acids (ethomeen C / 15) – water systems, and also proposed a method for the extraction-spectrophotometric determination of thorium with arsenazo III. The composition of resulting complex compound and its stability have been determined.

Keywords: ionic surfactants; arsenazo III; thorium; liquid-liquid extraction; spectrophotometry

Поверхностно-активные вещества и водорастворимые полимеры нашли широкое применение в методах экстракционного концентрирования различных по природе веществ, в том числе и ионов металлов [1, 2]. Применение для экстракции ионных ПАВ имеет ряд преимуществ, среди которых следует отметить растворимость экстракта в воде, легкое сочетание экстракции с различными физико-химическими методами анализа вследствие отсутствия хромофорных групп в молекулах ПАВ и их низкого времени удерживания, расширение перечня извлекаемых ионов металлов и повышение селективности экстракции вследствие наличия функциональных групп, способных к комплексообразованию, с ионами металлов. Среди анионных ПАВ в экстракции нашли применение додецилсульфат [3] и додецилсульфонат натрия [4], алкилбензолсульфокислота [5, 6], бис(алкилполиоксиэтилен)-фосфат калия (оксифос Б) [7, 8], среди катионных – хлориды ацетилпиридиния [9], алкилтриметиламмония [10], алкилбензилдиметиламмония [11] и другие.

В последние годы распространение получила экстракция смесями катионных и анионных ПАВ, расслаивание которых осуществляется вследствие химического взаимодействия и не требует использования неорганических высаливателей или высоких температур [12, 13]. Ранее нами были исследованы фазовые равновесия и экстракционная способность смесей оксифоса Б с катамином АБ и показана возможность концентрирования ионов металлов в виде галогенидных и тиоцианатных ацидокомплексов, извлекающихся по катионообменному и анионообменному механизму в зависимости от кислотности среды [14, 15].

Помимо ионообменного механизма экстракции, концентрирование металлов в системах на основе ПАВ возможно по координационному механизму с применением органических комплексообразующих реагентов, которые в присутствии ионов металлов образуют окрашенные соединения, концентрирующиеся в фазу ПАВ. Системы на основе смесей катионных и анионных оксиэтилированных ПАВ сравнительно редко используются для данной цели, поэтому представляло интерес изучить распределение органических реагентов и их комплексов с ионами металлов в системах на основе смесей оксифоса Б и катионных ПАВ.

Объекты и методы исследования

В работе использованы:

1. Оксифос Б ($[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_6]_2\text{POOK}$, $n=8-10$, ТУ 2484-344-05763441-2001, основное вещество – 98 %).
2. Ethomeen C/15 ($\text{H}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_5\text{-RN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_5\text{H}$, содержание основного вещества – 100 %).
3. Катамин АБ ($[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5]\text{Cl}^-$, $n=10-18$, ТУ 9392-003-48482528-99, основное вещество – 49–51%).
4. Органические комплексообразующие реагенты: арсеназо I, арсеназо III, хромазурол S, эриохром черный Т, ализарин-комплексон, хромовый темно-синий, эриохромцианин R, ксиленоловый оранжевый, 4-(2-пиридалазо)-резорцин, 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол. Растворы с концентрацией 10^{-3} моль/л готовили растворением навески реагента в дистиллированной воде или этаноле. Раствор арсеназо III 10^{-4} моль/л готовили разбавлением раствора 10^{-3} моль/л.

5. Сульфат тория (IV) квалификации х.ч. Растворы с концентрацией 10^{-3} моль/л готовили растворением навески солей в воде. Раствор арсеназо III с концентрацией 10^{-4} моль/л готовили разбавлением раствора 10^{-3} моль/л.

Границы области расслаивания в системе eth-25 – вода определяли визуально-политермическим методом. Герметично закрытые пробирки, содержащие смеси исходных компонентов, помещали в термостат и нагревали при периодическом встряхивании со скоростью $1^\circ\text{C}/5$ мин, вблизи температуры расслаивания, которую определяли по появлению устойчивой опалесценции, скорость нагрева снижали.

Экстракцию органических комплексообразующих реагентов и тория в присутствии арсеназо III осуществляли следующим образом: в градуированные пробирки вносили 4,0 мл eth-25 или 1,0 г КО-67,5, необходимый объем раствора реагента и, в случае необходимости раствора соли тория, доводили объем дистиллированной водой до 20 мл. Полученную смесь перемешивали и выдерживали в термостате при 70°C для системы eth-25 – вода или 50°C для системы КО-67,5 – вода в течение 15–30 минут, после чего смесь охлаждали и отделяли водную фазу.

Спектры поглощения регистрировали на приборе СФ-2000 в стеклянных кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см, измерение оптической плотности при разработке спектрофотометрической методики осуществляли на приборе ЮНИКО-2100 в стеклянных кюветах.

Исследования состава комплексного соединения и его устойчивости осуществляли стандартными спектрофотометрическими методами, подробно описанными в литературе [16].

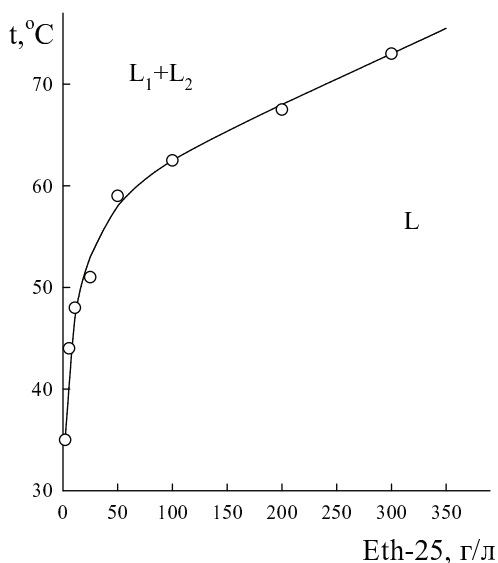
Результаты и их обсуждение

Выбор температурно-концентрационных параметров процесса традиционно осуществляется на основании фазовых диаграмм экстракционных систем. В случае систем, содержащих смеси катионных и анионных ПАВ, на первом этапе выбирается соотношение ПАВ, обеспечивающее образование расслаивание при минимальной температуре, (как правило, близкое к эквимолярному соотношению ПАВ), а затем на основании анализа псевдодвойной системы смесь ПАВ – вода устанавливаются приемлемые для работы температура и содержание воды в экстракционной системе. В работе [14] определено, что для смесей оксифоса Б и катамина АБ минимальную температуру расслоения имеют растворы смеси ПАВ, содержащей 67,5 мас. % оксифоса Б и 32,5 мас. % катамина АБ (далее КО-67,5).

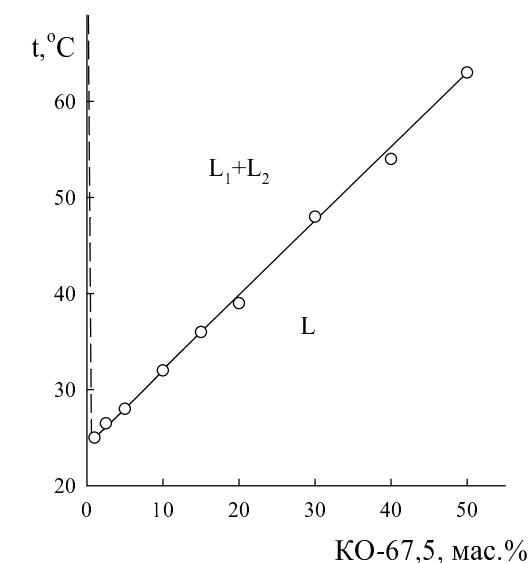
Так как природа катионного ПАВ оказывает влияние на температуру расслаивания, дополнительно исследована возможность экстракции в системе, образованной хлоридной солью псевдокатионного оксиэтилированного ПАВ ethomeen C/15 (далее ethomeen C/15·HCl), который получили нейтрализацией ethomeen C/15 эквивалентным количеством хлороводородной кислоты. В предварительных опытах установлено, что минимальные температуры расслоения имеют водные растворы, полученные из смеси, содержащей 25 мас. % ethomeen C/15·HCl и 75 мас. % оксифоса Б (далее eth-25).

Далее визуально-политермическим методом изучена фазовая диаграмма псевдодвойной системы eth-25 – вода (рис. 1, а). Данные о фазовых равновесиях в псевдодвойной системе КО-67,5 – вода (рис. 1, б) взяты из работы [14].

Обе фазовые диаграммы содержат одну линию, разграничивающую область расслаивания ($L_1 + L_2$) и гомогенную область (L). Область расслаивания расширяется с ростом тем-



а



б

Рис. 1. Фазовая диаграмма псевдодвойных систем eth-25 – вода (а) и КО-67,5 – вода (б)

На первом этапе исследовано распределение $1 \cdot 10^{-6}$ моль органических комплексообразующих реагентов в системах eth-25 – вода и КО-67,5 – вода. Максимум светопоглощения реагентов определяли на основании спектров светопоглощения. Степень излучения (R) и коэффициент распределения (D) рассчитывали по величине оптической плотности рафината, которую измеряли на спектрофотометре UN-ICO 2100 в стеклянных кюветах:

$$D = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \cdot \frac{V_{раф}}{V_э}, \quad R = \frac{D}{D + (V_{раф} / V_э)},$$

где A_1 и A_2 – оптические плотности рафината после экстракции и рафината с добавкой распределяемого реагента, соответственно; $V_э$ и $V_{раф}$ – равновесные объемы экстракта и рафината, мл.

пературы, поэтому осуществление реакции возможно при температуре более 60 °С в системе eth-25 – вода и более 40 °С в системе КО-67,5 – вода.

Представленные в табл. 1 значения степени извлечения и коэффициентов распределения являются средними по двум параллельным измерениям.

Установлено, что в системе eth-25 – вода с коэффициентами распределения выше 50 в фазу ПАВ концентрируются: арсенazo III, хромазуrol S, эриохром черный T, хромовый темно-синий, и 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол. Коэффициенты распределения всех исследованных реагентов в системе КО-67,5 – вода ниже, чем в системе eth-25 – вода, что свидетельствует о большей гидрофильности образующегося в системе экстракта. Низкие коэффициенты распределения большинства реагентов связаны, вероятно, помимо высокой гидрофильности экстрактов, с их высокой электропроводностью, что дополнительно препятствует концентрированию неионизированных молекул реагентов.

Распределение органических комплексообразующих реагентов в системах eth-25– вода и КО-67,5 – вода

Краситель	λ_{max} , нм	eth-25– вода		КО-67,5 – вода	
		R, %	D	R, %	D
Арсеназо I	505	24,5	6	44,6	15
Арсеназо III	560	65,7	36	49,0	18
Хромазуол S	464	78,3	68	35,3	10
Эриохром черный T	547	79,8	75	13,9	3
Ализарин-комплексон	560	59,3	27	28,7	7
Хромовый темно-синий	550	80,5	78	55,1	23
Эриохромцианин R	430	58,7	27	23,9	6
Ксиленоловый оранжевый	420	24,9	6	55,6	24
4-(2-пиридалазо)резорцин	420	60,3	29	-	-
1-(2-пиридилазо)-2-нафтол	420	74,6	56	-	-

Полученные данные являются основой для разработки экстракционно-фотометрических методик определения микроколичеств ионов металлов в виде комплексных соединений с указанными органическими реагентами. Арсеназо III является одним из наиболее активно применяемых органических реагентов для определения редкоземельных элементов, актинидов и лантанидов, поэтому представляло интерес исследовать возможность его использования при разработке экстракционно-фотометрической методики определения ионов металлов в водных растворах. Предварительными исследованиями установлено, что максимальную контрастность и интенсивность окраски при экстракции в системе eth-25– вода в присутствии арсеназо III дает торий (IV).

Сняты спектры светопоглощения экстрактов, содержащих арсеназо III и комплексное соединение арсеназо III с торием (IV) (рис. 2). Буферные растворы при изучении спектров не вводились. Спектр экстракта, содержащего арсеназо III, снятый на фоне воды (1, рис.2), имеет два максимума при 405 и 520 нм. На спектре экстракта, содержащего арсеназо III и Th(IV), снятого на фоне воды (2, рис. 2) помимо максимумов при 405 и 520 нм, отвечающих

поглощению реагента, присутствуют два неразрешенных максимума при 615 и 665 нм, отвечающих комплексному соединению тория с арсеназо III, что соответствует литературным данным [17]. Спектр экстракта, содержащего комплекс арсеназо III с Th(IV), снятый на фоне красителя (3, рис. 2), имеет максимум при 630 нм.

Дальнейшие исследования показали, что контрастность окраски и величина оптической плотности при длине волны, отвечающей максимуму светопоглощения комплексного соединения, максимальна при использовании буферного раствора с pH = 3,0 (глицин +HCl), развитие окраски наблюдается практически сразу и меняется во времени несущественно.

Для построения градуировочного графика в градуированные пробирки с притертой пробкой помещали 4,0 мл eth-25, от 0,5 до 6,0 мл $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л раствора Th(IV), перемешивали, вводили 0,5 мл $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л раствора арсеназо III, доводили объем до 20 мл, перемешивали и термостатировали при 70°C в течение 15–20 минут, после охлаждения до комнатной температуры экстракт отделяли, добавляли 2 мл буферного раствора (pH = 3,0), доводили объем дистиллированной водой до 5 мл и из-

меряли оптическую плотность при 630 нм в кюветах на 1 см на фоне холостой пробы, приготовленной аналогично.

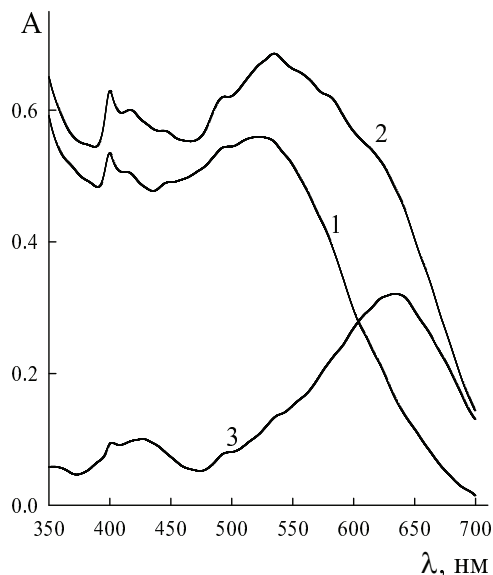


Рис. 2. Спектры светопоглощения экстрактов, содержащих арсеназо III и его комплекс с Th(IV) (СФ-2000, стеклянные кюветы, $l = 1$ см, C (арсеназо (III)) = $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C(\text{Th}) = 5 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Градуировочный график (рис. 3) линеен в интервале содержаний тория $1 \cdot 10^{-5}$ – $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л (2,3–11,6 мг/л). Рассчитанное значение коэффициента молярного поглощения составляет 8 042 ($\lambda_{\text{max}} = 630$ нм), что существенно меньше, чем для данных по комплексообразованию в водных растворах ($\epsilon = 130\,000$ по данным [17]). Наблюдаемое снижение коэффициента молярного поглощения, вероятно, связано с эффективной солюбилизацией комплексного соединения мицеллами ПАВ. Воспроизводи-

мость экстракционно-фотометрической методики определения Th(IV) с арсеназо III проверена методом введено-найдено (табл. 2) с использованием стандартного раствора тория (IV). Концентрацию Th(IV) в исходном растворе определяли гравиметрическим методом.

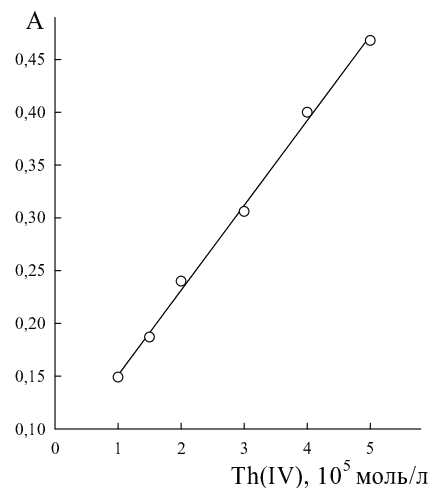


Рис. 3. Градуировочный график для экстракционно-фотометрического определения Th(IV) с арсеназо III в системе ethomeen C/15·HCl – оксифос Б – вода (C (арсеназо III) = $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\text{pH} = 3,0$; $\lambda = 630$ нм; $l = 1$ см; ЮНИКО-2100)

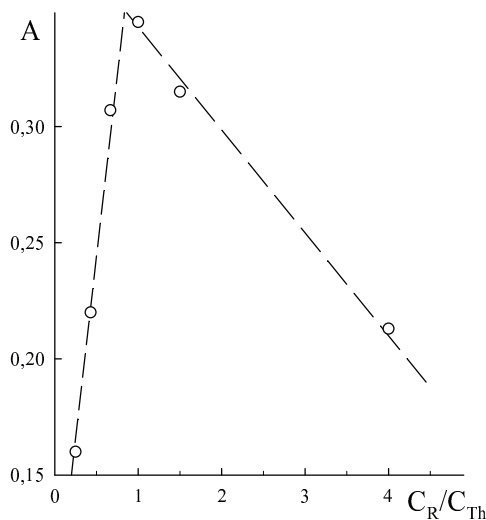
Состав комплексного соединения тория (IV) с арсеназо III определяли методом изолярных серий (рис. 4, а) и методом насыщения (рис. 4, б). Используя данные метода насыщения, состав комплексного соединения также определяли методами билогарифмических зависимостей и Асмуса. Результаты всех методов свидетельствуют об эквимольном взаимодействии арсеназо III с торием (IV), что соответствует литературным данным [17].

Таблица 2

Проверка воспроизводимости экстракционно-фотометрической методики определения Th(IV) с арсеназо III методом введено-найдено ($P=0,95$, $n=3$)

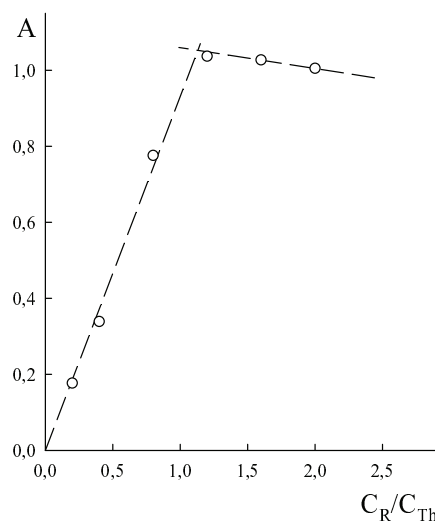
Введено Th(IV), мг/л	Найдено Th(IV), мг/л	$X_{\text{ср}}$	S_r	y
5,00	5,44	5,274	0,05	0,45
	5,15			
	5,24			

Методом разбавления Бабко определена константа устойчивости комплекса тория с



а

арсеназо III (β), значение которой составило $4,11 \cdot 10^6$ ($\log \beta = 6,55$).



б

Рис. 4. Определение состава комплекса Th(IV) с арсеназо III методом изомольярных серий (а) и методом насыщения (б) (C (арсеназоIII) = C (Th) = $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; pH = 3,0; λ = 630нм; l = 1 см)

Таким образом, системы на основе смесей катионных и анионных ПАВ могут использоваться для экстракционно-фотометрического определения ионов металлов с органическими реагентами. Разработанная методика определения тория (IV) с арсеназо III требует проведения дополнительных исследований в части установления мешающего влияния ионов металлов и апробации на модельных смесях, со-

держащих торий (IV). Однако в силу низкой избирательности арсеназо III она может быть пригодна лишь для группового определения лантанидов и актинидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АА-АА-А20-120081990070-9).

Библиографический список

1. Noorashikin M.D.S., Sohaimi N.M., Suda N., et al. The application of cloud point extraction in environmental analysis // Journal of Sustainability Science and Management 2017. Vol. 12. P. 79–95.
2. Arya S.S., Kaimal A.M., Chib M., et al. Novel, energy efficient and green cloud point extraction: technology and applications in food processing // Journal of food science and technology. 2019. Vol. 56, №. 2. P. 524–534.
3. Tagashira S, Ichimaru T., Nozaki K., et al. Surfactant gel extraction of metal ammine complexes using SDS and KCl at room temperature, and a small-angle x-ray diffraction study of the surfactant phase // Solvent Extraction Research and Development. 2013. Vol.30. P.39–52.
4. Ji G., Bi Ch., Wang Q., et al. Determination of Etofenprox in environmental samples by HPLC after anionic surfactant micelle-mediated extraction (coacervation extraction) // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2006. Vol. 384. P. 1423–1427.

5. Заболотных С.А., Желнина В.О., Денисова С.А., и др. Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензол-сульфокислота для экстракции ионов металлов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2017. Т. 10, № 4. С. 536–544.
6. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Гель-экстракция ионов металлов диантипирилалканами в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензол-сульфокислоты // Вода: химия и экология. 2017. № 1 (103). С. 73–79.
7. Денисова С.А., Останина Н.Н., Леснов А.Е., и др. Экстракционные возможности расслаивающейся системы вода – оксифос Б – сульфат натрия // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. № 5. С.475–478.
8. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Высаливание бис(алкилполиоксиэтилен) фосфата калия солями аммония как основа разработки процессов мицеллярной экстракции // Журнал общей химии. 2015. Т. 85, № 11. С. 1918–1923.
9. Murakami Y., Hiraiwa K., Sasaki Y., et al. Surfactant gel adsorption of platinum (II),(IV) and palladium (II) as chloro-complexes and kinetic separation of palladium from platinum using EDTA // Analytical sciences. 2007. Vol. 23, №. 9. P. 1147–1149.
10. Crick E.W., Conte E.D Alkyltrimethylammonium surfactant-mediated extractions: characterization of surfactant-rich and aqueous layers, and extraction performance // Journal of Chromatography A. 2000. Vol. 887. P.87–93.
11. Исаева Ю.И., Елохов А.М., Денисова С.А., и др. Растворимость и экстракция ионов металлов в системах неорганическая кислота – хлорид алкилбензилдиметиламмония – вода // Журнал физической химии. 2019. Т. 93, № 2. С. 220–224.
12. Xu J., Li X., Li C., et al. Hexafluoroisopropanol-induced salt-free cationic surfactant coacervate extraction method for determination of fluoroquinolones in milk samples // Food Chemistry. 2018. Vol. 242. P. 122–130.
13. Vichapong J., Santaladchaiyakit Y., Burakham R. Determination of benzimidazole anthelmintics using HPLC after vortex-assisted mixed anionic–cationic surfactant-enhanced emulsification microextraction with solidification of floating organic droplet procedure // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. Vol. 37. P. 30–37.
14. Елохов А.М., Богомолов Н.В., Денисова С.А., и др. Разработка экстракционных систем для концентрирования ионов металлов на основе синергетических смесей калий бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата и алкилбензилдиметил аммония хлорида // Известия Академии наук. Серия химическая. 2018. №2. С. 206–210.
15. Елохов А.М., Богомолов Н.В., Денисова С.А., и др. Закономерности высаливания и экстракция ионов металлов синергетическими смесями бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата калия и хлорида алкилбензилдиметил аммония в политермических условиях // Известия Академии наук. Серия Химическая. 2018. №9. С. 1612–1616.
16. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.
17. Саввин С.Б. АрсенazoIII. Методы фотометрического определения редких и актинидных элементов. М.: Атомиздат, 1966. 257 с.

References

1. Noorashikin, M.D.S., Sohaimi, N.M., Suda, N., Aziz, H.Z., Zaini, S.R.M., Kandasamy, S. and Suresh, K. (2017), “The application of cloud

- point extraction in environmental analysis”, *Journal of Sustainability Science and Management*, vol. 12, pp. 79–95.
2. Arya, S.S., Kaimal, A.M., Chib, M., Sonawane, S.K., and Show, P.L. (2019), “Novel, energy efficient and green cloud point extraction: technology and applications in food processing”, *Journal of food science and technology*, vol. 56, no. 2, pp. 524–534.
 3. Tagashira, S., Ichimaru, T., Nozaki, K., and Murakami, Y. (2013), “Surfactant gel extraction of metal ammine complexes using sds and kcl at room temperature, and a small-angle X-ray diffraction study of the surfactant phase”, *Solvent extraction research and development, Japan*, vol. 20, pp. 39–52.
 4. Jia, G., Bi, C., Wang, Q., Qiu, J., Zhou, W. and Zhou, Z. (2006), “Determination of Etofenprox in environmental samples by HPLC after anionic surfactant micelle-mediated extraction (coacervation extraction)”, *Analytical and bioanalytical chemistry*, vol. 384, no. 6, pp. 1423–1427.
 5. Zabolotnykh, S.A., Zhelnina, V.O., Denisova, S.A., Elokhov, A.M. and Lesnov, A.E. (2017), “The water–antipyrine–alkyl benzene sulfonic acid stratifying system to extract metal ions”, *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, vol. 10, no. 4, pp. 536–544.
 6. Zabolotnykh, S.A., Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2017), “Gel extraction of metal ions using dianthapyrylium alkanes in stratified water systems based on alkyl benzene sulfonic acid”, *Voda: khimiya i ekologiya*, no. 1, pp. 73–79.
 7. Denisova, S.A., Ostanina, N.N., Lesnov, A.E. and Kudryashova O.S. (2013), “Extraction possibilities of stratified system water – oxyphos B – sodium sulphate”, *Chemistry for Sustainable Development*, no. 5, pp. 475–478.
 8. Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova, O.S. (2015), “Salting out of potassium bis (alkylpolyoxyethylene) phosphate with ammonium salts as the base of micellar extraction processes development”, *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 85, no. 11, pp. 2657–2662.
 9. Murakami, Y., Hiraiwa, K., Sasaki, Y., Fujiwara, I., and Tagashira, S. (2007), “Surfactant gel adsorption of platinum (II),(IV) and palladium (II) as chloro-complexes and kinetic separation of palladium from platinum using EDTA”, *Analytical sciences*, vol. 23, no. 9, pp. 1147–1149.
 10. Crick, E.W. and Conte, E.D. (2000), “Alkyl-trimethylammonium surfactant-mediated extractions:: characterization of surfactant-rich and aqueous layers, and extraction performance”, *Journal of Chromatography A*, vol. 877, no. 1–2, pp. 87–93.
 11. Isaeva, Y.I., Elokhov, A.M., Denisova, S.A., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2019), “Solubility and Extraction of Metal Ions in Inorganic Acid–Alkylbenzyl-dimethylammonium Chloride–Water Systems”, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 93, no. 2, pp. 255–259.
 12. Xu, J., Li, X., Li, C., Chen, J. and Xiao, Y. (2018), “Hexafluoroisopropanol-induced salt-free cationic surfactant coacervate extraction method for determination of fluoroquinolones in milk samples”, *Food chemistry*, vol. 242, pp. 122–130.
 13. Vichapong, J., Santaladchaiyakit, Y., Burakham, R., Kanchanamayoon, W. and Srijaranai, S. (2015), “Determination of benzimidazole anthelmintics using HPLC after vortex-assisted mixed anionic–cationic surfactant-enhanced emulsification microextraction with solidification of floating organic droplet procedure”, *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 37, pp. 30–37.

14. Elokhov, A.M., Bogomolov, N.V., Denisova, S.A., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A. E. (2018), "Phase equilibria and extraction of metal cations in the systems based on synergistic mixtures of potassium bis (alkylpolyoxyethylene) phosphate and alkylbenzyltrimethylammonium chloride", *Russian chemical bulletin*, vol. 67, no. 2, pp. 206–210.
15. Elokhov, A.M., Bogomolov, N.V., Denisova, S.A., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2018), "Regularities of salting-out and metal ion extraction by synergistic mixtures of potassium bis (alkylpolyoxyethylene) phosphate and alkylbenzyltrimethylammonium chloride under polythermic conditions", *Russian Chemical Bulletin*, vol. 67, no. 9, pp. 1612–1616.
16. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986), *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance on photometric methods of analysis], Khimiya, Leningrad, Russia.
17. Savvin, S.B. (1966), *Arsenazo III. Metody fotometricheskogo opredeleniya redkikh i aktinidnykh elementov* [Arsenazo III. Methods of photometric determination of rare and actinide elements], Atomizdat, Moscow, Russia.

Об авторах

Денисова Светлана Александровна, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы Пермский государственный национальный исследовательский университет 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15. sw.denisova@yandex.ru

Хомутова Алина Олеговна студент, кафедра аналитической химии и экспертизы Пермский государственный национальный исследовательский университет 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

Елохов Александр Михайлович, кандидат химических наук, доцент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности Пермский государственный национальный исследовательский университет 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

About the authors

Denisova Svetlana Aleksandrovna, candidate of chemistry, associate professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University 614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia sw.denisova@yandex.ru

Khomutova Alina Olegovna, student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University 614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia

Elokhov Aleksandr Mikhailovich candidate of chemistry, associate professor, Department of inorganic chemistry, chemical technology and technosphere safety Perm State University 614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia elhalex@yandex.ru

Информация для цитирования:

Денисова С.А., Хомутова А.О., Елохов А.М. Концентрирование органических реагентов и их комплексов с ионами металлов в системах на основе смесей анионных и катионных ПАВ // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2020. Т. 10, вып. 4. С. 338–347. DOI: 10.17072/2223-1838-2020-4-338-347.

Denisova S.A., Khomutova A.O., Elokhov A.M. *Kontsentrirovanie organicheskikh reagentov i ikh kompleksov s ionami metallov v sistemakh na osnove smesei anionnykh i kationnykh PAV* [Extraction of organic complex-forming reagents and their complexes with metal ions in systems based on mixtures of anionic and cationic surfactants] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2020. Vol. 10. Issue 4. P. 338–347 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2020-4-338-347.