

ЭКСТРАКЦИЯ АНИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ КАДМИЯ ОРГАНИЧЕСКИМИ РАСТВОРАМИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЕВЫХ СОЛЕЙ

Ю.И. Матюшкина, А.А. Шабарин

Юлия Ивановна Матюшкина *, Александр Александрович Шабарин

Кафедра неорганической и аналитической химии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, ул. Большевикская, 68, Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430005

E-mail: yusyaeva@mail.ru*, shab_aa@mail.ru

Изучена анионообменная экстракция роданидных, хлоридных и иодидных комплексов кадмия растворами хлоридов четвертичных аммониевых солей (ЧАС) в органических растворителях (толуоле, четыреххлористом углероде, этилацетате, изобутиловом спирте, нитробензоле). Экстракцию проводили растворами хлоридов алкилдиметилбензиламмония ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2C_6H_5-Cl$) и алкилдиметилэтилбензиламмония ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2-CH_2C_6H_5-Cl$), где R – прямая алкильная цепочка, в основном $C_{12}-C_{14}$. Состав анионных комплексов кадмия установлен на основе анализа градуировочных зависимостей $E = f(pCCd(II))$, построенных по растворам сульфата кадмия на фоне различных содержаний роданид-, хлорид- и иодид-ионов (индикаторный – ионоселективный электрод с мембраной на основе нитробензольного раствора бромиды тетрадециламмония). Количественно процесс экстракции оценен с использованием коэффициента распределения (D), величина которого рассчитана с учетом концентрации кадмия в водной фазе до и после экстракции. Показана зависимость величины коэффициента распределения от диэлектрической проницаемости органического растворителя, концентрации и устойчивости анионных комплексов кадмия. Так, для указанных ацидокомплексов кадмия минимальные значения D получены при использовании малополярных толуола и четыреххлористого углерода, максимальные значения – при использовании сильно полярных изобутилового спирта и нитробензола. При уменьшении концентрации кадмия(II) в 100 раз для роданидного и иодидного комплексов кадмия значение D снижается в 1,6-1,9 раза, для хлоридного комплекса – в 1,2 раза в случае полярных изобутилового спирта и нитробензола и в 2,9-3,5 раз в случае малополярных растворителей. Экспериментально установлено, в ряду $[Cd(SCN)_4]^{2-} - [CdI_4]^{2-} - [CdCl_4]^{2-}$ величина D убывает для всех изученных систем. Наблюдаемая закономерность связана как с устойчивостью соответствующих комплексов кадмия (II) в водных растворах, так и с их гидрофобностью.

Ключевые слова: экстракция, анионные комплексы кадмия, четвертичные аммониевые соли, коэффициент распределения

EXTRACTION OF ANIONIC CADMIUM COMPLEXES WITH ORGANIC SOLUTIONS OF QUATERNARY AMMONIUM SALTS

Yu.I. Matyushkina, A.A. Shabarin

Yulia I. Matyushkina*, Alexandr A. Shabarin

Department of Inorganic and Analytical Chemistry, N.P. Ogarev Mordovia State University, Bol'shevistskaya st., 68, Saransk, Resp. Mordovia, 430005, Russia

E-mail: yrusyaeva@mail.ru*, shab_aa@mail.ru

The anion-exchange extraction of thiocyanate, chloride and iodide cadmium complexes by solutions of quaternary ammonium salts chlorides in organic solvents (toluene, carbon tetrachloride, ethyl acetate, isobutyl alcohol, nitrobenzene) was studied. Extraction involves solutions of alkyl dimethylbenzylammonium chlorides ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2C_6H_5-Cl$) and alkyl dimethylethyl-

benzylammonium ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2-CH_2C_6H_5-Cl$), where R is a straight alkyl chain, mainly $C_{12}-C_{14}$. The composition of the cadmium anionic complexes was established by the analysis of the calibration curves $E = f(pCCd(II))$ constructed from cadmium sulfate solutions against the background of various contents of thiocyanate, chloride and iodide ions (indicator electrode - ion-selective electrode with a membrane, which based on a nitrobenzene solution of tetradecylammonium bromide). The extraction process is estimated quantitatively using a distribution coefficient (D). The value of D is calculated taking into account the cadmium concentration in the aqueous phase before and after extraction. The dependence of the distribution coefficient on the organic solvent dielectric constant, the concentration and stability of the anionic complexes of cadmium is shown. So, for the indicated cadmium acidocomplexes, the minimum D values were obtained using low-polar toluene and carbon tetrachloride, and the maximum values were obtained using highly polar isobutyl alcohol and nitrobenzene. If the concentration of cadmium (II) is reduced by a factor of 100 for the cadmium rhodanide and iodide complexes, the value of D decreases by 1.6-1.9 times, for the chloride complex, by 1.2 times in the case of polar isobutyl alcohol and nitrobenzene, and 2.9-3.5 times in the case of low-polar solvents. It was experimentally established that in the series $[Cd(SCN)_4]^{2-} - [CdI_4]^{2-} - [CdCl_4]^{2-}$ the value of D decreases for all the studied systems. The observed regularity is related both to the stability of the corresponding cadmium (II) complexes in aqueous solutions and to their hydrophobicity.

Key words: extraction, cadmium anionic complexes, quaternary ammonium salts, distribution coefficient

Для цитирования:

Матюшкина Ю.И., Шабарин А.А. Экстракция анионных комплексов кадмия органическими растворами четвертичных аммониевых солей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 10. С. 30–35

For citation:

Matyushkina Yu.I., Shabarin A.A. Extraction of anionic cadmium complexes with organic solutions of quaternary ammonium salts. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 10. P. 30–35

ВВЕДЕНИЕ

Для извлечения, концентрирования и экстракционно-фотометрического определения металлов, в том числе и кадмия, в виде их анионных комплексов широко используются жидкие анионообменники на основе растворов высших четвертичных аммониевых солей (ЧАС) в органических растворителях [1]. Кроме технологической направленности, высшие ЧАС могут быть использованы и в аналитической химии анионов – как электродно-активные вещества в ионоселективных электродах [2]. Нередко использование ЧАС ограничивается отсутствием в научной и справочной литературе значений экстракционных характеристик, что особенно важно при оценке селективности индикаторного электрода в присутствии посторонних веществ. Также следует учитывать, что экстракционные процессы и реакции, протекающие на границе раздела фаз жидкостная мембрана ионоселективного электрода – исследуемый раствор по многим аспектам идентичны [3].

Установлено, что на состав металлокомплексов существенно влияет строение четвертичной аммониевой соли [1, 4, 5], а также присут-

ствии различных добавок в экстракционных системах [6].

Экстракционное поведение тиоцианатных комплексов кадмия достаточно подробно освещено в научной литературе. Так, методом ИК-спектроскопии изучены водные растворы роданидов двухвалентных катионов кадмия, ртути, никеля и других металлов [7]. Исследована анионообменная экстракция тиоцианатных комплексов металлов группы цинка (Zn, Cd, Hg) растворами высших четвертичных аммониевых солей в различных органических растворителях. Установлено, что высшими ЧАС металлы экстрагируются в виде двухзарядных тиоцианатных комплексов $Me(SCN)_4^{2-}$ [8, 9]. Влияние природы органического растворителя пикрата тринилоктадециламмония на экстрагируемость двухзарядных тиоцианатных комплексов Cd(II) изучено в [10]. Обобщены результаты изучения распределения тиоцианатных комплексов многих металлов, в том числе и кадмия, в экстракционных системах на основе технических поверхностно-активных веществ (ПАВ) [11], диантипирилметанов [12], смеси антипириналкилбензолсульфокислота [13].

Целью данной работы является изучение анионообменной экстракции тиоцианатных, хлоридных и иодидных комплексов кадмия растворами хлоридов четвертичных аммониевых солей (ЧАС) в толуоле, четыреххлористом углероде, этилацетате, изобутиловом спирте, нитробензоле.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе применяли реактивы марок «х.ч.», «ч.д.а.», растворы которых готовили по точной навеске. В качестве источника ЧАС использовали раствор, содержащий хлорид алкилдиметилбензиламмония ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2C_6H_5-Cl^-$) и хлорид алкилдиметилэтилбензиламмония ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2-CH_2C_6H_5-Cl^-$), где R – прямая алкильная цепочка, в основном $C_{12}-C_{14}$.

Исходный раствор сульфата кадмия готовили по навеске с последующим установлением точной концентрации комплексонометрическим титрованием [14].

Потенциометрические измерения проводили с помощью микропроцессорного лабораторного потенциометра HI 2211 (HANNA, Германия) с электродной парой, состоящей из вспомогательного хлоридсеребряного и индикаторного электродов. В качестве электрода, обратимого к анионным комплексам кадмия, выступал ионоселективный электрод (ИСЭ) с жидкостной мембраной на основе $1 \cdot 10^{-2}$ М нитробензольного раствора бромида тетрадециламмония, изготовленный согласно [15]. Содержание катионов четвертично – аммониевых солей в водных растворах определяли потенциометрическим титрованием тетрафенилборатом натрия (ТФБН) с применением в качестве детектора ИСЭ на основе тетрафенилбората тетрабутиламмония (ТБАТФБ) [16]. Точную концентрацию ТФБН устанавливали потенциометрическим титрованием $1 \cdot 10^{-2}$ М раствором $AgNO_3$ с серебряным электродом. Для определения содержания хлорид – ионов в растворах применяли потенциометрическое титрование раствором $AgNO_3$ с использованием серебряного электрода.

Для осуществления анионообменной экстракции первоначально смешивали по 100 мл раствора, содержащего ЧАС, и соответствующего органического растворителя (толуола, четыреххлористого углерода, этилацетата, изобутилового спирта, нитробензола) и выдерживали смесь в течение суток. Далее отделяли органическую фазу, содержащую четвертично-аммониевые соли. Водные растворы анионных комплексов кадмия гото-

вили следующим образом: в мерную колбу вместимостью 50,0 мл добавляли 5,00 мл $1 \cdot 10^{-3}$ М раствора $CdSO_4$, затем необходимый для эффективного комплексообразования объем раствора лиганда (3,7 мл 1 М KSCN, 1,9 мл 3 М KI или 5,8 мл 3 М KCl) и доводили объем дистиллированной водой до метки.

Для проведения анионообменной экстракции смешивали 3,00 мл $1 \cdot 10^{-4}$ М раствора соответствующего комплекса кадмия с 3,00 мл органической фазы, содержащей ЧАС в определенном растворителе. Смесь выдерживали в течение 30 мин. Концентрацию кадмия (II) в водной фазе определяли спектрофотометрически [17] (при $\lambda = 540$ нм) и рассчитывали величину коэффициента распределения (D) по формуле:

$$D = C_o/C_w,$$

где C_o – концентрация Cd(II) в органической фазе, моль/л; C_w – концентрация Cd(II) в водном растворе после наступления равновесия, моль/л. Градуировочный график зависимости оптической плотности (A) растворов от концентрации кадмия (II) линеен в интервале $1,72 \cdot 10^{-2} - 43,05 \cdot 10^{-2}$ мг/л Cd^{2+} и подчиняется уравнению: $A = -0,0001 + 0,0943 \cdot C$, $R^2 = 0,997$. Измерения оптической плотности проводили с помощью однолучевого сканирующего спектрофотометра UNICO 2800 с кюветами с толщиной поглощающего слоя 10 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что ионы кадмия (II) являются эффективными комплексообразователями и образуют устойчивые комплексные соединения со многими лигандами [18]. В работе в качестве комплексообразующих веществ выбраны роданид, хлорид и иодид калия, концентрацию которых в исследуемых растворах варьировали в интервалах, соответственно, 0,01-0,17, 0,03-0,43, 0,03-0,50 моль/л. По градуировочным растворам кадмия (II) на фоне указанного количества лигандов получены зависимости $E = f(pCCd(II))$, свидетельствующие об анионной функции. Электрохимические характеристики электрода (линейный диапазон градуировочного графика (ЛДГ), предел обнаружения (ПО)) на фоне оптимальных концентраций комплексообразующих веществ (С, моль/л) представлены в табл. 1. Принимая во внимание значения крутизны (S) электродной функции $E = -f(pCCd(II))$, состав потенциалопределяющих ионов следующий: $[Cd(SCN)_4]^{2-}$ (I1), $[CdCl_4]^{2-}$ (I2), $[CdI_4]^{2-}$ (I3).

Таблица 1

Характеристики жидкостных ИСЭ
Table 1. Characteristics of liquid ISE

Характеристики ИСЭ	С, моль/л		
	KSCN:0,07	KCl:0,35	KI:0,12
S, мВ/рС	28±1	34±2	34±2
ЛДПГ, ед. рС	2-4	2-4	1-5
ПО, моль/л	5·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁶

Количественный и качественный состав раствора, содержащего четвертично-аммониевые соли аналогичен составу раствора, применяемому авторами в [19], поскольку настоящая работа является продолжением ранее проведенных исследований. Анализ раствора, содержащего хлориды алкилдиметилбензиламмония и алкилдиметилэтилбензиламмония, показал уменьшение концентрации ЧАС после контактирования раствора с органическими растворителями, что свидетельствует о переходе хлоридов ЧАС в органическую фазу (табл. 2). Так, исходная концентрация катионов ЧАС в растворе составляла $(1,96 \pm 0,03) \cdot 10^{-2}$ моль/л, хлорид-ионов – $(1,94 \pm 0,04) \cdot 10^{-2}$ моль/л. После экстракции во всех случаях наблюдается уменьшение содержания контролируемых ионов в водном растворе. Следует отметить, что практически полностью ЧАС проэкстрагировали в изобутиловый спирт и нитробензол.

Очевидно, что основной причиной увеличения экстрагируемости хлоридов ЧАС является возрастание диэлектрической проницаемости (ϵ) растворителя (табл. 2) [18]. Поэтому можно утверждать, что при контакте органической фазы, содержащей хлориды ЧАС, и водных растворов анионных комплексов кадмия (II), будет происходить анионообменная экстракция, химизм которой на примере $[\text{Cd}(\text{SCN})_4]^{2-}$ можно выразить следующими уравнениями:

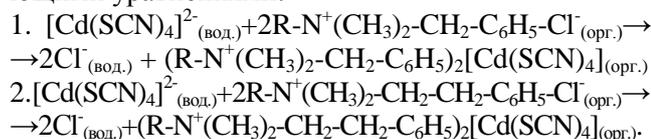


Таблица 2

Содержание катионов ЧАС и Cl⁻-ионов в водных растворах (n=3; P=0,95)

Table 2. The content of the cations of QAS and Cl⁻ ions in aqueous solutions (n = 3, P = 0.95)

Растворитель, (ϵ) [14]	С · 10 ⁻³ , моль/л	
	катионов ЧАС	Cl ⁻ -ионов
ТЛ (2,0-2,4)	18,0 ± 0,2	18,2 ± 0,2
ЧХУ (2,23)	17,3 ± 0,4	17,6 ± 0,6
ЭА (6,02)	13,7 ± 0,4	13,8 ± 0,3
ИБС (17,7)	4,80 ± 0,18	5,0 ± 0,12
НБ (35,7)	3,30 ± 0,10	3,40 ± 0,13

Количественно процесс экстракции оценивали расчетом коэффициента распределения (D), определяя концентрацию кадмия (II) в водной фазе до и после экстракции (табл. 3). Так, при использовании в качестве органического растворителя толуола и четыреххлористого углерода, диэлектрические проницаемости которых примерно равны, значения D также близки (0,33-0,37 – при экстракции роданидного; 0,11-0,12 – при экстракции хлоридного; 0,25-0,28 – при экстракции иодидного комплексов кадмия (II)). В случае более полярного этилацетата коэффициент распределения увеличивается в 1,2-1,4 раза, а при использовании изобутилового спирта и нитробензола возрастает примерно в 3-5 раз (табл. 3). Следует отметить, что при уменьшении концентрации кадмия (II) в 100 раз для роданидного и иодидного комплексов кадмия значение D снижается в 1,6-1,9 раза, для хлоридного комплекса – в 1,2 раза в случае полярных изобутилового спирта и нитробензола и в 2,9-3,5 раз в случае малополярных растворителей.

Таблица 3

Коэффициенты распределения анионных комплексов кадмия (II) (n=3; P=0,95; CCd(II)_{исх.} = 1,0·10⁻⁴ моль/л)
Table 3. The distribution coefficients of anionic complexes of cadmium (II) (n = 3; P = 0.95; CCd(II)_{out} = 1.0 · 10⁻⁴ mol/l)

Комплекс кадмия	Растворитель	D
I ₁	ТЛ	0,33 ± 0,01; 0,58 ± 0,03*
	ЧХУ	0,37 ± 0,02; 0,63 ± 0,05*
	ЭА	0,47 ± 0,03; 0,81 ± 0,03*
	ИБС	1,08 ± 0,04; 1,99 ± 0,03*
	НБ	0,96 ± 0,07; 1,76 ± 0,03*
I ₂	ТЛ	0,11 ± 0,06; 0,32 ± 0,01*
	ЧХУ	0,12 ± 0,04; 0,39 ± 0,04*
	ЭА	0,13 ± 0,01; 0,45 ± 0,03*
	ИБС	0,58 ± 0,03; 0,72 ± 0,04*
	НБ	0,53 ± 0,03; 0,65 ± 0,05*
I ₃	ТЛ	0,25 ± 0,04; 0,39 ± 0,03*
	ЧХУ	0,28 ± 0,02; 0,49 ± 0,03*
	ЭА	0,35 ± 0,04; 0,67 ± 0,03*
	ИБС	1,03 ± 0,01; 1,77 ± 0,07*
	НБ	0,87 ± 0,05; 1,48 ± 0,08*

Примечание: * исходная концентрация Cd (II) равна 1,0·10⁻² моль/л

Note: * the initial concentration of Cd (II) is 1.0 · 10⁻² mol/l

Экспериментально установлено, в ряду $[\text{Cd}(\text{SCN})_4]^{2-} - [\text{CdI}_4]^{2-} - [\text{CdCl}_4]^{2-}$ величина D убывает для всех изученных систем. Так, для изобутилового спирта при переходе от роданидного комплекса к иодидному и далее к хлоридному значению D уменьшается соответственно в 1,1 и в

2,7 раза ($C_{Cd(II)исх.} = 1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л). В случае толуола уменьшение D составляет 1,5 и 1,8 раза.

Наблюдаемая закономерность может быть связана как с устойчивостью соответствующих комплексов кадмия (II) в водных растворах ($K_{уст.}[CdCl_4]^{2-} = 7,9 \cdot 10^2$, $K_{уст.}[CdI_4]^{2-} = 1,3 \cdot 10^6$, $K_{уст.}[Cd(SCN)_4]^{2-} = 1,0 \cdot 10^3$ [18]), так и с их гидрофобностью. Для хлоридного и иодидного комплексов кадмия (II) определенные корреляции прослеживаются: чем устойчивее соответствующий анионный комплекс, тем выше его склонность к экстракции, и тем больше значение D . В случае же роданидного комплекса подобная корреляция отсутствует, что может быть обусловлено характером распределения электронной плотности на роданид-ионе. Являясь типичной мягкой кислотой, кадмий

(II) координируют роданид-ионы по тиоцианатному типу, т.е. только через серу [20]. Гидрофобность роданидного комплекса кадмия гораздо выше, чем галогенидных комплексов, вследствие чего склонность к экстракции $[Cd(SCN)_4]^{2-}$ значительнее.

ВЫВОДЫ

Таким образом, изучена анионообменная экстракция роданидных, хлоридных и иодидных комплексов кадмия (II) органическими растворами четвертично-аммониевых солей. Показана зависимость величин коэффициентов распределения от состава, устойчивости и концентрации комплексов кадмия (II), а также от значения диэлектрической проницаемости органического растворителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманько Е.М., Качанович И.В., Таразевич М.Я. Анионообменная экстракция роданидных комплексов цинка четвертичными аммониевыми солями различного строения. *Журн. неорг. химии*. 2006. Т. 51. № 10. С. 1777-1781.
2. Гулевич А.Л., Кийко Т.Н., Кулак А.А., Рахманько Е.М., Булак Т.В. Анионообменная экстракция галоацетат-анионов высшими четвертичными аммониевыми солями. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2003. Т. 46. Вып. 5. С. 55-57.
3. Шипуло Е.В., Костицына М.В., Дунаева А.А., Владимирова Е.В. От экстракции к ионометрии. *Рос. хим. журнал*. 2008. Т. 52. № 2. С. 52-59.
4. Богданович Ю.В., Рахманько Е. М., Цвирко Г.А., Кособуцкая Н.В. Исследование состава экстрагируемых форм галогенидных комплексов цинка при анионообменной экстракции высшими четвертичными аммониевыми солями несимметричного строения. *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География*. 2006. № 2. С. 25-27.
5. Богданович Ю.В., Рахманько Е. М., Цвирко Г.А., Кособуцкая Н.В. Влияние длины радикала высшей четвертичной аммониевой соли на анионообменную экстракцию бромидного комплекса цинка. *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География*. 2007. № 1. С. 26-31.
6. Помеленок Е.В., Егоров В.В., Рахманько Е.М., Окаев Е.Б. Влияние гексилового эфира N-трифторацетилбензойной кислоты на селективность анионообменной экстракции высшими четвертичными аммониевыми солями. *Изв. НАН Белоруси. Сер. хим. наук*. 2005. № 4. С. 5-9.
7. Матвейчук Ю.В., Рахманько Е.М., Ясинецкий В.В. Роданидные комплексы d-металлов: изучение водных растворов методами УФ-, видимой и ИК-спектроскопии. *Журн. неорг. химии*. 2015. Т. 60. № 1. С. 106-111. DOI: 10.7868/S0044457X15010079.
8. Гулевич А.Л., Горбачевич Г.И., Трофименко Е.Е. Анионообменная экстракция тиоцианатных комплексов металлов подгруппы цинка высшими ЧАС. *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География*. 2013. № 3. С. 8-11.
9. Гулевич А.Л., Трофименко Е.Е. Расчет равновесий в экстракционных анионообменных системах с участием металлокомплексных анионов. *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География*. 2013. № 1. С. 40-43.

REFERENCES

1. Rakhmanko E.M., Kachanovich I.V., Tarazevich M.Ya. Anion-exchange extraction of rhodanide zinc complexes by quaternary ammonium salts with different structure. *Zhurn. Neorg. Khim.* 2006. V. 51. N 10. P. 1777-1781 (in Russian).
2. Gulevich A.L., Kiyko T.N., Kulak A.A., Rakhmanko E.M., Bulak T.V. Anion exchange extraction of haloacetate anions with higher quaternary ammonium salts. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2003. V. 46. N 5. P. 55-57 (in Russian).
3. Shipulo E.V., Kostitsyna M.V., Dunaeva A.A., Vladimirova E.V. From extraction to ionometry. *Ros. Khim. Zhurn.* 2008. V. 52. N 2. P. 52-59 (in Russian).
4. Bogdanovich Yu.V., Rakhmanko E.M., Tsvirko G.A., Kosobutskaya N.V. The investigation of the composition of the extracted forms halogenide zinc complexes with anion-exchange extraction of higher quaternary ammonium salts with asymmetric structure. *Vestn. Belorus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2006. N 2. P. 25-27 (in Russian).
5. Bogdanovich Yu.V., Rakhmanko E.M., Tsvirko G.A., Kosobutskaya N.V. The investigation of the length of the radical of the higher quaternary ammonium salts on anion exchange extraction of zinc bromide complex. *Vestn. Belorus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2007. N 1. P. 26-31 (in Russian).
6. Pomelenok E.V., Egorov V.V., Rakhmanko E.M., Okaev E.B. Influence of hexyl ester N-trifluoroacetylbenzoic on the selectivity of anion-exchange extraction of higher quaternary ammonium salts. *Izv. NAN Belarusi. Ser. Khim. Nauk*. 2005. N 4. P. 5-9 (in Russian).
7. Matveichuk Yu.V., Rakhmanko E.M., Yasinetsky V.V. Rodanide complexes of d-metals: study of aqueous solutions by UV, visible and IR spectrometry. *Zhurn. Neorg. Khim.* 2015. V. 60. N 1. P. 106-111 (in Russian). DOI: 10.7868/S0044457X15010079.
8. Gulevich A.L., Gorbachevich G.I., Trofimenko E.E. Anion-exchange extraction of thiocyanate metal complexes of the zinc subgroup by higher QAS. *Vestn. Belorus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2013. N 3. P. 8-11 (in Russian).
9. Gulevich A.L., Trofimenko E.E. Calculation of equilibria in extraction anion-exchange systems involving metal complex anions. *Vestn. Belorus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2013. N 1. P. 40-43 (in Russian).

10. Гулевич А.Л., Трофименко Е.Е. Анионообменная экстракция тиоцианатных комплексов Co(II) и Cd(II) высшими четвертичными аммониевыми солями. *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География*. 2013. № 3. С. 36-40.
11. Денисова С.А., Исаева Ю.И., Елохов А.М., Леснов А.Е. Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в системах на основе бис(алкилполиоксиэтилен) фосфата калия и хлорида алкилбензилдиметиламмония. *Химия в интересах устойчив. развития*. 2019. Т. 27. № 4. С.353-357. DOI: 10.15372/KhUR2019145.
12. Денисова С.А., Леснов А.Е., Петров Б.И. Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающейся системе вода-диантипирилметан-нафталин-2-сульфокислота. *Изв. Алтай. гос. ун-та*. 2013. № 3-1 (79). С.151-156.
13. Заболотных С.А., Желнина В.О., Денисова С.А., Елохов А.М., Леснов А.Е. Использование расслаивающейся системы вода-антипиридин-алкилбензолсульфокислота для экстракции ионов металлов. *Журн. Сибир. федерал. ун-та. Сер.: Химия*. 2017. Т. 10. № 4. С. 536-544. DOI: 10.17516/1998-2836-0047.
14. Комплексонометрия. Теоретические свойства и практическое применение. М.: Госуд. научно-техн. изд. хим. литер. 1958. 248 с.
15. Русяева Ю.И., Шабарин А.А., Лазарева О.П. Ионметрическое определение молибдена (VI). *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2010. Т. 53. Вып. 12. С. 20-23.
16. Гурьев И.А., Зюзина Л.Ф., Шабарин А.А. Проточное определение некоторых азотсодержащих лекарственных препаратов. *Журн. аналит. химии*. 1998. Т. 53. № 10. С. 1098-1102.
17. ПНД Ф 14.1:2.195-03 ФР 1.31.2007.03804. Методика выполнения измерений концентрации ионов цинка в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом и сульфуразеном.
18. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: «Альяс». 2007. 448 с.
19. Матюшкина Ю.И., Шабарин А.А. Изучение анионообменной экстракции некоторых анионных комплексов железа (III) органическими растворами четвертичных аммониевых солей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 2. С. 25-30. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5782.
20. Матвейчук Ю.В., Рахманько Е.М. Роданидные комплексы d-металлов: изучение влияния концентрации KNCS и NH₄Cl на способ координации ионов SCN⁻ методом ИК-Фурье-спектрометрии. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2017. Т. 60. Вып. 7. С. 34-41. DOI: 10.6060/tcct.2017607.5553.
10. Gulevich A.L., Trofimenko E.E. Anion exchange extraction of thiocyanate complexes Co (II) and Cd(II) with higher quaternary ammonium salts. *Vestn. Belorus. gos. un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2013. N 3. P. 36-40 (in Russian).
11. Denisova S.A., Isaeva Yu.I., Elokhov A.M., Lesnov A.E. Extraction of thiocyanate complexes of metals in the systems based on potassium bis(alkylpolyoxyethylene) phosphate and alkylbenzyltrimethylammonium chloride. *Khim. Interesakh Ustoych. Razv.* 2019. V. 27. N 4. P. 353-357 (in Russian). DOI: 10.15372/KhUR2019145.
12. Denisova S.A., Lesnov A.E., Petrov B.I. Extraction of thiocyanate complexes of metals in stratified system water - diantipyrylmethane - 2-naphthalenesulfonic acid. *Izv. Altay. Gos. Un-ta*. 2013. N 3-1 (79). P. 151-156 (in Russian).
13. Zabolotnykh S.A., Zhelnina V.O., Denisova S.A., Elokhov A.M., Lesnov A.E. The water - antipyrine - alkyl benzene sulfonic acid stratifying system to extract metal ions. *Zhurn. Sibir. Federal Un-ta. Ser.: Khimiya*. 2017. V. 10. N 4. P. 536-444 (in Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-0047.
14. Complexometry. Theoretical properties and practical application. M.: Gosud. nauchno-tekhn. izd. khim. liter. 1958. 248 p. (in Russian).
15. Rusyaeva Yu.I., Shabarin A.A., Lazareva O.P. The ionometric determination of molybdenum (VI). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2010. V. 53. N 12. P. 20-23 (in Russian).
16. Guriev I.A., Zyuzina L.F., Shabarin A.A. Flow-injection determination of some nitrogen-containing medicines. *Zhurn. Analit. Khim.* 1998. V. 53. N 10. P. 1098-1102 (in Russian).
17. PND F 14.1: 2.195-03 FR 1.31.2007.03804. Method of measuring the concentration of zinc ions in samples of natural and treated wastewater using the photometric method and sulfarsazene (in Russian).
18. Lurie Yu.Yu. Handbook of Analytical Chemistry. M.: "Alyans". 2007. 448 p. (in Russian).
19. Matyushkina Yu.I., Shabarin A.A. Study of anion exchange of some anionic complexes of iron (III) by organic solutions of quaternary ammonium salts. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 2. P. 25-30 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5782.
20. Matveichuk Yu.V., Rakhmanko E.M. Thiocyanate complexes of d-metals: influence of concentration of KNCS and NH₄Cl on a type of coordination of SCN⁻ ions by FTIR spectrometry. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 7. P. 34-41. DOI: 10.6060/tcct.2017607.5553.

Поступила в редакцию 21.02.2020
Принята к опубликованию 13.08.2020

Received 21.02.2020
Accepted 13.08.2020