

ИЗУЧЕНИЕ АНИОНООБМЕННОЙ ЭКСТРАКЦИИ НЕКОТОРЫХ АНИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА (III) 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 имени Н.П. Огарева, ул. Большевикская, 68, Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430005

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

Изучена анионообменная экстракция салицилатных, тиосульфатных и роданидных комплексов железа (III) растворами хлоридов четвертичных аммониевых солей (ЧАС) в органических растворителях (толуоле, четыреххлористом углероде, этилацетате, изобутиловом спирте, нитробензоле). Состав анионных комплексов железа (III) установлен на основе анализа градуировочных зависимостей $E = f(pCFe(III))$, построенных по растворам железа (III) на фоне различных содержаний роданид-, тиосульфат- и салицилат-ионов, и значения крутизны электродной функции. Индикаторным служил ионоселективный электрод с мембраной на основе нитробензольного раствора бромида тетрадециламмония. Раствор, содержащий хлориды алкилдиметилбензиламмония и алкилдиметилэтилбензиламмония, и соответствующий органический растворитель, смешивались в соотношении 1:1. Далее отбирался органический слой, содержащий ЧАС. При его контакте с водными растворами анионных комплексов железа (III) осуществлялась анионообменная экстракция. Количественно процесс экстракции оценен с использованием коэффициента распределения (D), величина которого рассчитана с учетом концентрации железа (III) в водной фазе до и после экстракции. Содержание железа (III) в растворах определено спектрофотометрически ($\lambda = 440$ нм). Установлено, что значение коэффициента распределения зависит от величины диэлектрической проницаемости (ϵ) органического растворителя. В ряду толуол - четыреххлористый углерод - этилацетат - изобутиловый спирт - нитробензол диэлектрическая проницаемость увеличивается. В такой же последовательности возрастает и D для всех изученных комплексных ионов железа (III). Причем уменьшение концентрации экстрагируемой частицы приводит к незначительному снижению величины коэффициента распределения. Существенное влияние на экстракционную способность оказывают состав и устойчивость комплексного иона железа (III).

Ключевые слова: экстракция, анионные комплексы железа (III), четвертичные аммониевые соли, коэффициент распределения

STUDY OF ANION EXCHANGE EXTRACTION OF SOME ANIONIC COMPLEXES OF IRON (III) BY ORGANIC SOLUTIONS OF QUARTERLY 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, Respublika Mordovia, 430005, Russia

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

The anion-exchange extraction of salicylate, thiosulphate and thiocyanate iron (III) complexes by solutions of chlorides of quaternary ammonium salts (QAS) in organic solvents (toluene, carbon tetrachloride, ethyl acetate, isobutyl alcohol, nitrobenzene) was studied. The composition of the iron (III) anionic complexes was established by the analysis of the calibration curves $E = f(pCFe(III))$

constructed from iron (III) solutions against the background of various contents of thiocyanate, thiosulphate and salicylate ions and the steepness of the electrode function. As an indicator electrode the ion-selective electrode was used with a membrane, which based on a nitrobenzene solution of tetradecylammonium bromide. The solution containing of alkyldimethylbenzylammonium chloride and alkyldimethylethylbenzylammonium chloride and the corresponding organic solvent were mixed in a ratio of 1:1. An organic layer containing the QAS was selected. The anion-exchange extraction was provided in contact with aqueous solutions of Fe(III) anionic complexes. The extraction process is estimated quantitatively using a distribution coefficient (D). The value of D is calculated taking into account the iron (III) concentration in the aqueous phase before and after extraction. The content of iron (III) in solutions is determined spectrophotometrically ($\lambda = 440 \text{ nm}$). It is established that the value of the distribution coefficient depends on the permittivity (ϵ) of the organic solvent. In the row toluene - carbon tetrachloride - ethyl acetate - isobutyl alcohol - nitrobenzene, the permittivity increases. In the same sequence, D increases for all studied complex iron(III) ions. Moreover, a decrease in the concentration of the extracted particle leads to an insignificant decrease in the value of the distribution coefficient. The composition and stability of the complex iron (III) ion have a significant effect on the extraction activity.

Key words: extraction, anionic complexes of iron (III), quaternary ammonium salts, distribution coefficient

Для цитирования:

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

For citation:

Matyushkina Yu.I., Shabarin A.A. Study of anion exchange extraction 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

ВВЕДЕНИЕ

Высшие четвертичные аммониевые соли (ЧАС) являются эффективными анионообменными экстрагентами [1], используются в качестве электродноактивных веществ в ионоселективных электродах [2]. Причем общие закономерности поведения и классификация ионометрических и экстракционных систем идентичны [3].

Так, исследован процесс анионообменной экстракции хлорид-, бромид-, перхлорат-, роданид-, нитрат- ионов [4-6], двухзарядных анионов [7-8], антибиотиков [9] высшими ЧАС.

Системы, в которых одна из фаз представляет собой раствор высшей ЧАС в органическом растворителе, а вторая – водный раствор соли металла на фоне лиганда, являются сложными с точки зрения описания экстракционных равновесий. В [10-12] показано, что в зависимости от природы металла и лиганда могут экстрагироваться одно- или двухзарядные анионные комплексы. На состав металлокомплексов существенно влияет строение четвертичной аммониевой соли [13-15], а также присутствие различных добавок в экстракционных системах [16].

Целью работы явилось изучение экстракции некоторых анионных комплексов железа (III)

органическими растворами хлоридов четвертичных аммониевых солей, а также расчет коэффициентов распределения комплексов железа (III).

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 ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2C_6H_5-Cl$, где R – прямая алкильная цепочка, в основном $C_{12}-C_{14}$) и хлорид алкилдиметилэтилбензиламмония ($R-N^+(CH_3)_2-CH_2-CH_2C_6H_5-Cl$).

Исходный раствор железо - аммонийных квасцов готовили по методике [17], с последующим установлением точной концентрации комплексометрическим титрованием.

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 железа (III), выступал ионоселективный электрод (ИСЭ) с жидкостной мембраной на основе 10^{-2} М нитробензольного раствора бромид-тетрадециламмония, изготовленный согласно [18].

Содержание катионов четвертично – аммониевых солей в водных растворах определяли потенциометрическим титрованием тетрафенилборатом натрия с применением в качестве детектора ИСЭ на основе тетрафенилбората тетрабутиламмония (ТБАТФБ) [19]. Точную концентрацию ТФБН устанавливали потенциометрическим титрованием 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 (ТЛ), четыреххлористого углерода (ЧХУ), этилацетата (ЭА), изобутилового спирта (ИБС), нитробензола (НБ)) и выдерживали смесь в течение 1 сут. Далее отделяли органическую фазу, содержащую четвертичные аммониевые соли. Водные растворы анионных комплексов железа (III) готовили следующим образом: в мерную колбу вместимостью 50,0 мл добавляли 5,00 мл $8,3 \cdot 10^{-3}$ М раствора железо – аммонийных квасцов, затем необходимый для эффективного комплексообразования объем раствора лиганда (2,00 мл 3 М NH_4SCN ; 0,650 мл 1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ или 4,150 мл 0,1 М $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$) и доводили объем дистиллированной водой до метки.

Для проведения анионообменной экстракции смешивали 5,00 мл $8,3 \cdot 10^{-4}$ М раствора соответствующего комплекса железа (III) с 5,00 мл органической фазы, содержащей ЧАС в определенном растворителе. Смесь выдерживали в течение 30 мин. Концентрацию железа (III) в водной фазе определяли спектрофотометрически (при $\lambda = 440$ нм), и рассчитывали величину коэффициента распределения по формуле:

$$D = C_o/C_v,$$

где C_o – концентрация Fe (III) в органической фазе, моль/л; C_v – концентрация Fe (III) в водном растворе после наступления равновесия, моль/л. Градуировочный график зависимости оптической плотности (А) растворов от концентрации железа (III) линеен в интервале 1-10 мкг Fe (III) и подчиняется уравнению: $A = -0,16 + 0,92 \cdot C$, $r = 0,999$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что ионы железа (III) с роданид-, тиосульфат- и салицилат- ионами образуют комплексные ионы различного состава [20]. В качестве комплексообразующих веществ выбраны роданид-аммония, тиосульфат и салицилат натрия, концен-

трацию которых в исследуемых растворах варьировали в интервалах, соответственно, 0,03 – 0,60, 0,01 – 0,29, $2 \cdot 10^{-3}$ – $3,9 \cdot 10^{-2}$ моль/л. По градуировочным растворам железа (III) на фоне указанного количества лигандов получены зависимости $E = f(p\text{CFe(III)})$, свидетельствующие об анионной функции. Электрохимические характеристики электрода (линейный диапазон градуировочного графика (ЛДГТ), предел обнаружения (ПО)) на фоне оптимальных концентраций комплексообразующих веществ (С, моль/л) представлены в табл. 1. Принимая во внимание значения крутизны (S) электродной функции $E = f(p\text{CFe(III)})$, состав потенциалопределяющих ионов следующий: $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})(\text{SCN})_5]^{2-}$ (I_1), $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^-$ (I_2), $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Sal})_2]^-$ (I_3).

Таблица 1

Характеристики жидкостных ИСЭ

Table 1. Characteristics of liquid ISE

Характеристики ИСЭ	С, моль/л		
	NH_4SCN : 0,12	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 0,06	NaSal: $2,9 \cdot 10^{-2}$
S, мВ/рС	32±2	55±2	60±2
ЛДГТ, ед. рС	2÷4	2,4÷5,4	2,4÷4,4
ПО, моль/л	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$

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.

Таблица 2

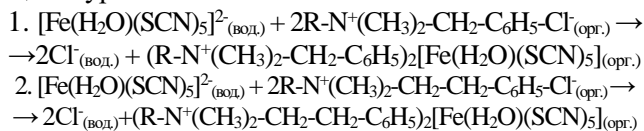
Содержание катионов ЧАС и Cl^- – ионов в водных растворах (n=3; P=0,95)

Table 2. The content of the cations of QAS and Cl^- ion in aqueous solutions (n = 3; P = 0.95)

Р-ль, (ε) [20]	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

Очевидно, что основной причиной увеличения экстрагируемости хлоридов ЧАС является

возрастание диэлектрической проницаемости (ϵ) растворителя (табл. 2). Поэтому можно утверждать, что при контакте органической фазы, содержащей хлориды ЧАС, и водных растворов анионных комплексов железа (III) будет происходить анионообменная экстракция. Ее химизм на примере $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})(\text{SCN})_5]^{2-}$ можно выразить следующими уравнениями:



Количественно процесс экстракции оценивали расчетом коэффициента распределения (D), определяя концентрацию железа (III) 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 (0,43 – 0,55 – при экстракции роданидного; 0,21 – 0,3 – при экстракции тиосульфатного; 0,63 – 0,79 – при экстракции салицилатного комплексов железа (III)). В случае более полярного этилацетата коэффициент распределения увеличивается в 10 – 20 раз, а при использовании изобутилового спирта и нитробензола возрастает примерно в 10 – 30 раз (табл. 3). Следует отметить, что при уменьшении концентрации железа (III) в 20 раз значение D незначительно снижается: для четыреххлористого углерода – примерно в 1,6 раза, для нитробензола – примерно в 1,1 раза.

Экспериментально установлено, в ряду $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Sal})_2]^-$ - $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})(\text{SCN})_5]^{2-}$ - $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^-$ величина D убывает для всех изученных систем. Так, для изобутилового спирта при переходе от салицилатного комплекса к роданидному и далее к тиосульфатному значение D уменьшается соответственно в 1,1 и в 1,5 раза. В случае толуола уменьшение D составляет 1,4 и 1,9 раза.

Наблюдаемая закономерность может быть связана как с устойчивостью соответствующих

ЛИТЕРАТУРА

1. **Межов Э.А.** Экстракция аминами и четвертичными аммониевыми основаниями: Справочник. М.: Энергоиздат. 1999. 376 с.
2. **Рахманько Е.М., Матвейчук Ю.В., Качанович И.В.** Роданидные комплексы металлов в экстракции и ионометрии. Минск: БГУ. 2017. 171 с.
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. **Ковалевич В.А., Рахманько Е.М., Гулевич А.Л.** Анионообменная экстракция неорганических анионов выс-

Таблица 3

Коэффициенты распределения анионных комплексов железа (III) ($n=3$; $P=0,95$; $C_{\text{Fe(III)исх.}} = 8,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л)
Table 3. The distribution coefficients of anionic complexes of iron (III) ($n = 3$; $P = 0,95$; $C_{\text{Fe(III) out}} = 8,3 \cdot 10^{-4}$ mol/l)

Комплекс железа	Р-ль	D	S_r
I ₃	ТЛ	0,63 ± 0,06	0,04
	ЧХУ	0,790 ± 0,023	0,013
	ЭА	6,14 ± 0,13	0,009
	ИБС	8,05 ± 0,12	0,006
	НБ	12,8 ± 0,3	0,010
I ₁	ТЛ	0,43 ± 0,02	0,02
	ЧХУ	0,55 ± 0,04	0,03
	ЭА	4,57 ± 0,14	0,013
	ИБС	7,2 ± 0,4	0,02
	НБ	8,2 ± 0,5	0,02
I ₂	ТЛ	0,21 ± 0,04	0,08
	ЧХУ	0,30 ± 0,01	0,010
		0,21 ± 0,02*	0,03
	ЭА	4,3 ± 0,4	0,04
	ИБС	5,0 ± 0,9	0,07
	НБ	6,14 ± 0,13	0,009
5,57 ± 0,14*		0,010	

Примечание: * исходная концентрация Fe (III) равна $4,15 \cdot 10^{-5}$ моль/л

Note: * the initial concentration of Fe (III) is equal to $4.15 \cdot 10^{-5}$ mol/l

комплексов железа (III) в водных растворах, так и с их гидрофобностью. Так, $K_{\text{уст.}}[\text{Fe}(\text{Sal})_2]^- = 1,58 \cdot 10^{27}$, $K_{\text{уст.}}[\text{Fe}(\text{SCN})_5]^{2-} = 1,7 \cdot 10^4$ [10], значение $K_{\text{уст.}}[\text{Fe}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^-$ в литературе не найдено. Для салицилатного и роданидного комплексов железа (III) определенные корреляции прослеживаются: чем устойчивее соответствующий анионный комплекс, тем выше его склонность к экстракции, и тем больше значение D. Но объяснять рост величины D за счет только увеличения устойчивости комплекса неправомерно. Вероятно, в ряду $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Sal})_2]^-$ - $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})(\text{SCN})_5]^{2-}$ - $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^-$ уменьшается гидрофобность ионов, что и является основной причиной уменьшения склонности к экстракции.

REFERENCES

1. **Mezhov E.A.** Extraction of amines and quaternary ammonium bases: Handbook. M.: Energoizdat. 1999. 376 p. (in Russian).
2. **Rakhmanko E.M., Matveychuk Yu.V., Kachanovich I.V.** Rhodanide complexes of metals in the extraction and ionometry. Minsk: BSU. 2017. 171 p. (in Russian).
3. **Shipulo E.V., Kostitsyna M.V., Dunaeva A.A., Vladimirova E.V.** From extraction to ionometry. *Rus. Khim. Zhurn.* 2008. V. 52. N 2. P. 52-59 (in Russian).

- шими четвертичными аммониевыми солями в присутствии гептилвого эфира N-трифторацетилбензойной кислоты. *Изв. Нац. Акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук.* 2006. № 3. С. 25-29.
5. **Рахманько Е.М., Марковская М.С., Станишевский Л.С., Зубенко Ю.С., Цыганов А.Р.** Анионообменная экстракция нитрат-анионов высшими четвертичными аммониевыми солями различного строения. *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География.* 2008. № 3. С. 18-23.
 6. **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.
 7. **Егоров В.В., Рахманько Е.М., Помеленок Е.В., Окаев Е.Б.** Влияние стерической доступности обменного центра высших четвертичных аммониевых солей на анионообменную экстракцию двухзарядных анионов. *Журн. физ. химии.* 2006. Т. 80. № 6. С. 1104-1109.
 8. **Рахманько Е.М., Матвейчук Ю.В.** Влияние стерической доступности обменного центра высших четвертичных аммониевых солей и природы пластификатора на характеристики электродов, обратимых к двухзарядным анионам. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 1. С. 9-13.
 9. **Гулевич А.Л., Кукса О.И., Рахманько Е.М.** Анионообменная экстракция некоторых β-лактамных антибиотиков высшими четвертичными аммониевыми солями. *Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук.* 2010. № 2. С. 44-48.
 10. **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.
 11. **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.
 12. **Гулевич А.Л., Трофименко Е.Е.** Анионообменная экстракция тиоцианатных комплексов Co(II) и Cd(II) высшими четвертичными аммониевыми солями. *Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук.* 2013. № 3. С. 36-40.
 13. **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.
 14. **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.
 4. **Kovalevich V.A., Rakhmanko E.M., Gul'evich A.L.** Anion-exchange extraction of inorganic anions by higher quaternary ammonium salts in the presence of heptyl ester of N-trifluoroacetylbenzoic acid. *Izv. Nats. Acad. Nauk Belarusi. Ser. Khim. Nauk.* 2006. N 3. P. 25-29 (in Russian).
 5. **Rakhmanko E.M., Markovskaya M.S., Stanishevsky L.S., Zubenko Yu.S., Tsyganov A.R.** Anion-exchange extraction of nitrate anions by higher quaternary ammonium salts of various structures. *Vestn. Belarus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya.* 2008. N 3. P. 18-23 (in Russian).
 6. **Gulevich A.L., Kiyko T.N., Kulak A.A., Rakhmanko E.M., Bulak T.V.** Anion-exchange extraction of haloacetate anions by higher quaternary ammonium salts. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2003. V. 46. N 5. P. 55-57 (in Russian).
 7. **Egorov V.V., Rakhmanko E.M., Pomeline E.V., Okaev E.B.** The influence of the steric availability of the exchange center of higher quaternary ammonium salts on the anion-exchange extraction of divalent anions. *Zhurn. Fiz. Khim.* 2006. V. 80. N 6. P. 1104-1109 (in Russian).
 8. **Rakhmanko E.M., Matveychuk Yu.V.** Effect of the steric availability of the exchange center of higher quaternary ammonium salts and the nature of the plasticizer on the characteristics of electrodes two-charge anions reversible. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 1. P. 9-13 (in Russian).
 9. **Gulevich A.L., Kukso O.I., Rakhmanko E.M.** Anion exchange extraction of some β-lactam antibiotics by higher quaternary ammonium salts. *Izv. Nats. Acad. Nauk Belarusi. Ser. Khim. Nauk.* 2010. N 2. P. 44-48 (in Russian).
 10. **Gulevich A.L., Trofimenko E.E.** Calculation of equilibria in extraction anion-exchange systems involving metal complex anions. *Vestn. Belarus. gos. un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya.* 2013. N 1. P. 40-43 (in Russian).
 11. **Gulevich A.L., Gorbachevich G.I., Trofimenko E.E.** Anion-exchange extraction of thiocyanate metal complexes of the zinc subgroup by higher QAS. *Vestn. Belarus. gos. un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya.* 2013. N 3. P. 8-11 (in Russian).
 12. **Gulevich A.L., Trofimenko E.E.** Anion exchange extraction of thiocyanate complexes of Co(II) and Cd (II) by higher quaternary ammonium salts. *Izv. Nats. Acad. Nauk Belarusi. Ser. Khim. Nauk.* 2013. N 3. P. 36-40 (in Russian).
 13. **Bogdanovich J.V., Rakhmanko E.M., Tsvirko G.A., Kosobutskaya N.V.** The investigation of the composition of the extracted forms of halogenide zinc complexes with anion-exchange extraction of higher quaternary ammonium salts with asymmetric structure. *Vestn. Belarus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya.* 2006. N 2. P. 25-27 (in Russian).
 14. **Bogdanovich J.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. Belarus. Gos. Un-ta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya.* 2007. N 1. P. 26-31 (in Russian).

15. **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.
16. **Помеленок Е.В., Егоров В.В., Рахманько Е.М., Окаев Е.Б.** Влияние гексилового эфира N-трифторацетилбензойной кислоты на селективность анионообменной экстракция высшими четвертичными аммониевыми солями. *Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук*. 2005. № 4. С. 5-9.
17. **Коростелев П.П.** Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М.: Наука. 1964. 399 с.
18. **Русяева Ю.И., Шабарин А.А., Лазарева О.П.** ИонOMETрическое определение молибдена (VI). *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2010. Т. 53. Вып. 12. С. 20-23.
19. **Гурьев И.А., Зюзина Л.Ф., Шабарин А.А.** Проточно-инжекционное определение некоторых азотсодержащих лекарственных препаратов. *Журн. аналит. химии*. 1998. Т. 53. № 10. С. 1098-1102.
20. **Лурье Ю.Ю.** Справочник по аналитической химии. М.: «Альянс». 2007. 448 с.
15. **Rakhmanko E.M., Kachanovich I.V., Tarasevich M.J.** Anion-exchange extraction of rhodanide zinc complexes of by quaternary ammonium salts with different structure. *Zhurn. Neorg. Khim.* 2006. V. 51. N 10. P. 1777-1781 (in Russian).
16. **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. Nats. Acad. Nauk Belarusi. Ser. Khim. Nauk.* 2005. N 4. P. 5-9 (in Russian).
17. **Korostelev P.P.** Preparation of solutions for chemical analytical work. М.: Nauka. 1964. 399 p. (in Russian).
18. **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).
19. **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).
20. **Lurie Yu.Yu.** Handbook on Analytical Chemistry. М.: "Alliance". 2007. 448 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 13.03.2018
Принята к опубликованию 26.12.2018*

*Received 13.03.2018
Accepted 26.12.2018*