

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ТОРИЯ (IV) В ВОДНОЙ РАССЛАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ АНТИПИРИНА И СУЛЬФОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

М.И. Дегтев, А.А. Юминова

Михаил Иванович Дегтев, Александра Александровна Юминова *

Кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: anchem@psu.ru, aleks3004@list.ru *

Изучены возможности водной расслаивающейся системы, содержащей антипирин (АП) и сульфосалициловую кислоту (ССК) для извлечения макро- и микроколичеств тория (IV). Предлагаемая экстракционная система исключает применение токсичных органических растворителей. Определены зависимости распределения металла из нитратных растворов между фазами от концентрации реагентов, кислотности среды, количества неорганического высаливателя (NaNO_3 , NH_4NO_3 , Na_2SO_4) и объема водной фазы, найдены оптимальные условия извлечения. Показано, что в органическую фазу объемом 1,6 мл при комнатной температуре макроколичества и микроколичества тория (IV) извлекаются на 88 и 90% соответственно. Максимальное извлечение катиона достигается при соотношении АП : ССК = 2,0 : 1,0 и их концентрации, моль/л: 0,6 : 0,3, при этом кислотность среды, создаваемая азотной кислотой, должна быть равной 0,015 моль/л ($\text{pH}_{\text{равн.}} = 1,8-1,9$). Экстракция тория (IV) становится количественной, если в систему АП – ССК – 0,015 моль/л HNO_3 – H_2O вводит неорганические соли (сульфат натрия, нитрат натрия), которые, снижая активность воды, увеличивают концентрацию реагентов в водной фазе. Концентрация высаливателей должна соответствовать 1,0 и 2,5 моль/л. Предложен механизм распределения смешанного комплекса тория (IV), содержащего АП, ССК, нитрат-ионы, сольватированного солью сульфосалицилата антипириния. Экстракт смешивается в любых отношениях с дистиллированной водой, обеспечивая применение различных инструментальных методов анализа. Разработан способ экстракционно-фотометрического определения тория (IV) с индикатором тороном. Установлен предел выполнения закона Бугера – Ламберта – Бера, рассчитан кажущийся коэффициент светопоглощения ($\epsilon = 1,7 \cdot 10^4$).

Ключевые слова: антипирин, сульфосалициловая кислота, неорганический высаливатель, торий (IV)

DISTRIBUTION OF THORIUM (IV) IONS IN AQUEOUS EXFOLIATING SYSTEM CONTAINING ANTIPYRINE AND SULFOSALICYLIC ACID

M.I. Degtev, A.A. Yuminova

Mikhail I. Degtev, Aleksandra A. Yuminova *

Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State National Research University, Bukirev st., 15, Perm, 614990, Russia

E-mail: anchem@psu.ru, aleks3004@list.ru *

The possibilities of an aqueous delaminating system containing antipyrine (AP) and sulfosalicylic acid (SSA) for extracting macro- and microamounts of thorium (IV) were studied. The proposed extraction system eliminates the use of toxic organic solvents. The dependences of the distribution of metal from nitrate solutions between phases on the concentration of reagents, acidity of the medium, the amount of inorganic salting-out agent (NaNO_3 , NH_4NO_3 , Na_2SO_4) and the volume of the aqueous phase are determined, and optimal conditions for extraction are found. It is shown that in the organic phase with a volume of 1.6 ml at room temperature, macro- and microamounts of thorium (IV) are extracted by 88 and 90%, respectively. The maximum extraction of

the cation is achieved at the ratio of AP: SSA = 2.0 : 1.0 and their concentration, mol/l: 0.6: 0.3, while the acidity of the medium created by nitric acid should be equal to 0.015 mol/l ($pH_{equ.} = 1.8-1.9$). The extraction of thorium (IV) becomes quantitative if inorganic salts (sodium sulfate, sodium nitrate) are introduced into the AP – SSA – 0,015 mol/l $HNO_3 - H_2O$ system, which, by reducing the activity of water, increase the concentration of reagents in the aqueous phase. The concentration of salting-out agents should correspond to 1.0 and 2.5 mol/l. A mechanism for the distribution of a mixed thorium (IV) complex containing AP, SSA, nitrate ions, solvated with a salt of antipyrinium sulfosalicylate is proposed. The extract is mixed in any relationship with distilled water, providing the use of various instrumental methods of analysis. A method for extraction-photometric determination of thorium (IV) with a toron indicator has been developed. The limit for the fulfillment of the Bouguer-Lambert-Beer law is established. The apparent coefficient of light absorption is calculated ($\epsilon = 1.7 \cdot 10^4$).

Key words: antipyrine, sulfosalicylic acid, salting-out agent, thorium (IV)

Для цитирования:

Дегтев М.И., Юминова А.А. Распределение ионов тория (IV) в водной расслаивающейся системе антипирина и сульфосалициловой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 5. С. 19–23

For citation:

Degtev M.I., Yuminova A.A. Distribution of thorium (IV) ions in aqueous exfoliating system containing antipyrine and sulfosalicylic acid. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 5. P. 19–23

ВВЕДЕНИЕ

Очистка стоков от тория, широко применяемого в ядерной энергетике, как и получение его в чистом или особо чистом виде являются чрезвычайно важными [1-3]. Основной способ решения этих задач – жидкостная экстракция органическим растворителем с различными экстрагентами. Известно [4], что карбоновые кислоты легко образуют соли со щелочными и щелочноземельными элементами, извлекаемые в органические растворители. Нафтеновые и версатовые кислоты нашли применение в гидрометаллургии для разделения Ni (II), Co (II), In (III) и РЗЭ [5], а лауриновая, пальмитиновая и олеиновая нашли применение для экстракции Th (IV) из нитратных растворов в хлороформ [6]. В работе [7] исследована экстракция Th из сернокислых растворов с N-n-гептиланилином в бензол и другие растворители. Заслуживают внимания работы авторов [8-11] по извлечению Th (IV) в органические растворители в присутствии трибутилфосфата (ТБФ), Суанех272 и их смеси, и установлению состава комплекса. В работах [12, 13] приведена информация по извлечению ионов Th из нитратных, иодидных и тиоцианатных растворов в $CHCl_3$. В качестве реагентов использованы производные антипирина (АП) – диантипирилалканы: метил-, пропил- изобутилдиантипирилметан (МДАМ, ПДАМ, ИБДАМ). Максимальное извлечение тория (87%) МДАМ достигается из 6 моль/л HNO_3 при $C(R) = 0,25$ моль/л в $CHCl_3$. Авторами установлено, что в хлороформ извлекается ацидокомплекс состава $(RH)_2[Th(NO_3)_6]$. В работе Рула Босс и

др. [14] исследована экстракция Th (IV) из растворов, содержащих различные анионы, с АП в нитробензол, бензин и толуол. Предложен состав извлекаемых комплексов: $[Th(ClO_4)_4 \cdot (AP)_2]$; $[Th(AP)_2 \cdot (CCl_3COO)_4]$; $[Th(AP)(H_2O) \cdot (CHCl_2COO)_4]$. Количественное извлечение тория наблюдается при высокой концентрации АП (2,0-3,0 моль/л).

В данной работе исследована экстракция макро- и микроколичеств тория (IV) из азотнокислых растворов в системе АП – сульфосалициловая кислота (ССК) – H_2O . Преимущество данной системы – в отсутствии токсичного растворителя, а также невысоком содержании в системе АП. Кроме того, небольшая по объему органическая фаза (ОФ) растворяется в дистиллированной воде, что расширяет возможности применения инструментальных методов анализа. АП как слабое основание ($-pK_H^+(АП) = 1,50$) обеспечивает расслаивание водной фазы в присутствии ССК и образует с ионами металлов комплексы внедрения [15, 16]; ССК – внутрикислотные соединения [17]. На основании данных, полученных в работах по исследованию сходных систем, состав смешанных комплексов был установлен методом насыщения органической фазы ионами металла и на основе анализа изотерм экстракции [17, 18].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экстракцию ионов Th (IV) осуществляли в делительных воронках. Объем водной фазы был постоянным – 10,0 мл. В воронку помещали раствор соли металла до достижения концентрации 0,01 моль/л, 3,00 мл раствора АП (2,0 моль/л), 1,50 мл

раствора ССК (2,0 моль/л), навеску высаливателя и необходимый объем дистиллированной воды. Делительные воронки встряхивали на шейкере и оставляли до полного расслоения и просветления фаз на 30 мин. Дополнительно вводили в воронки 1М раствор HNO_3 или NaOH для создания определенного pH среды. Концентрацию макроколичеств Th (IV) определяли комплексонометрически [19]. Распределение микроколичеств ионов металла исследовали по схеме, приведенной выше. Содержание микроколичеств элементов в ОФ после двукратной экстракции проводилось на приборе iCAP 6500. Для этого, после отделения водной и органической фаз, к водной фазе в системе АП – ССК – H_2O добавляли 1,50 мл 2,0 моль/л раствора АП и 0,75 мл 2,0 моль/л ССК. Содержимое воронок встряхивали 3 мин, а полученные экстракты количественно переносили в мерную колбу на 100,0 мл, растворяли в воде и анализировали.

Экстракционно-фотометрическое определение: вводили 2 моль/л растворы АП (3 мл), ССК – 1,5 мл, раствор соли $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, растворы других ионов металлов в 50-ти кратном и более избытке по отношению к Th и NaNO_3 до концентрации 2,5 моль/л, объем доводили до 10 мл дистиллированной водой и встряхивали содержимое воронки. После отстаивания ОФ сливали в мерную колбу на 50 мл. К оставшейся водной фазе приливали снова 1,5 мл АП и 0,75 мл ССК. В колбу с объединенным экстрактом добавляли 4 мл 0,1%-раствора торона, 2 мл 6 моль/л HCl и доводили объем до метки. Оптическую плотность замеряли на спектрофотометре UNICO-1201 при $\lambda = 540$ нм в кювете $l = 2$ см относительно холостого опыта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Извлечение макроколичеств (0,01 моль/л) ионов тория в ОФ расслаивающейся системы АП – ССК – H_2O не превышает 88,2%, что связано с присутствием в растворе HNO_3 , использованной в приготовлении раствора $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$. Повышение $C(\text{HNO}_3) \geq 0,04$ моль/л приводит к понижению $E(\text{Th})$, %, а при $C(\text{HNO}_3)$, равной 0,42 моль/л, наблюдается гомогенизация системы. Введение в систему щелочи также уменьшает извлечение тория (IV) (рис. 1) $\lg D(\text{Th})$ практически не меняется в интервале $\text{pH} = 1,7-2,0$. При дальнейшем увеличении pH до 3,0 логарифм коэффициента распределения Th уменьшается до 0,5, что связано, с одной стороны – с гидролизом тория, а с другой – с нейтрализацией ССК.

Кривая экстракции может свидетельствовать об извлечении смешанного комплекса Th (IV),

содержащего в составе АП, ССК, NO_3^- и воду. Резкое падение извлечения тория с увеличением $C(\text{HNO}_3)$ отрицает возможность образования ионных ассоциатов, например $(\text{АП} \cdot \text{H})_2[\text{Th}(\text{NO}_3)_6]$. Извлечение $1 \cdot 10^{-4}$ моль ионов тория при $\text{pH} = 1,8$ в присутствии неорганических высаливателей NaNO_3 , NH_4NO_3 и Na_2SO_4 представлено на рис. 2. По полученным данным Na_2SO_4 наиболее эффективен.

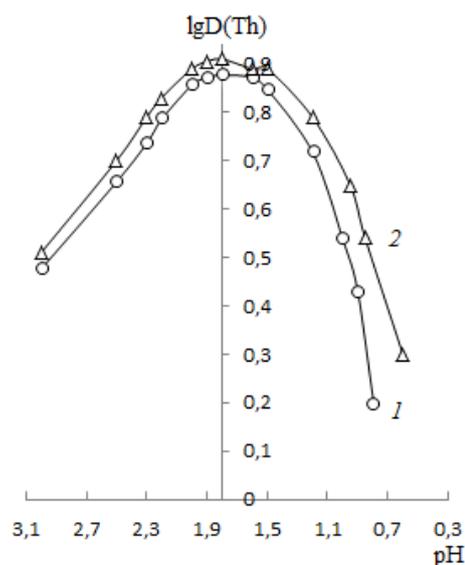


Рис. 1. Влияние $\text{pH}_{\text{равн}}$ на $\lg D(\text{Th})$ в системе АП – ССК – H_2O .
1 – Th (23,0 мкг), 2 – Th (50,0 мкг)
Fig. 1. The effect of pH on $\lg D(\text{Th})$ in the system AP – SSA – H_2O .
1 – Th (23.0 µg), 2 – Th (50.0 µg)

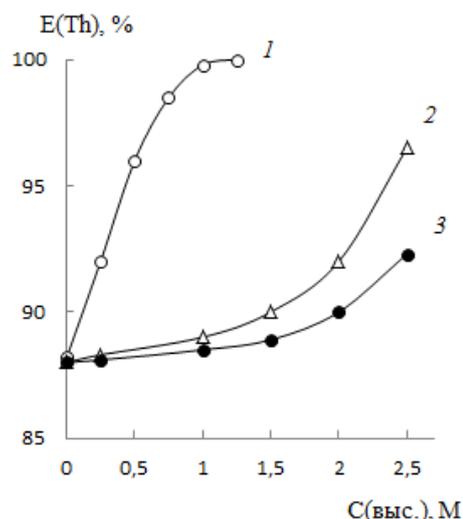


Рис. 2. Влияние концентрации высаливателей на $E(\text{Th})$, %;
1 – Na_2SO_4 , 2 – NaNO_3 , 3 – NH_4NO_3
Fig. 2. The effect of the salting out agents concentration on the $E(\text{Th})$, %; 1 – Na_2SO_4 , 2 – NaNO_3 , 3 – NH_4NO_3

Кривая экстракции микроколичеств тория совпадает с данными по извлечению макроколи-

ществ элемента, что подтверждает единый механизм их извлечения (рис. 1).

Для фотометрического определения тория чаще всего используют торон и арсеназо III [20]. В качестве реагента выбран более селективный торон. В оптимальных условиях извлечения и фотометрирования Th (IV) был построен градуировочный график в диапазоне концентраций для ионов Th, равном от 4 до 42 мкг. График линеен в указанном диапазоне, коэффициент корреляции составляет $R^2 = 0,9984$. По данным графика рассчитан кажущийся коэффициент светопоглощения $\epsilon = 1,7 \cdot 10^4$. Извлечению элемента не мешают 50-ти кратные

избытки Ca, Mg, Ba, Sr, Mn(II), Cr(III), Co(II), Ni(II), Al, Ce, La, Sm, Y, Pr; мешающее влияние железа (III) устраняли восстановлением аскорбиновой кислотой.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили установить, что водная расслаивающаяся система АП – ССК – H₂O обеспечивает количественное извлечение макро- и микроколичеств тория (IV) в присутствии HNO₃ и высаливателей. Такой прием прост, безопасен и удобен для извлечения тория и его последующего определения любым инструментальным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Heidenreich W.F.** Heterogeneity of cancer risk due to stochastic effects: emphasis on radiation-induced effects. *Radiat. Environ. Biophys.* 2006. V. 45. N 1. P. 33-37. DOI: 10.1007/s00411-006-0042-7.
2. **Takekawa S., Ueda Y., Hiramatsu Y., Komiyama K., Munechika H.** Erratum to: History note: tragedy of Thorotrast. *Jap. J. Radiol.* 2015. V. 33. P. 718-722. DOI: 10.1007/s11604-015-0479-1.
3. **Zimmermann A.** Tumors and Tumor-Like Lesions of the Hepatobiliary Tract. Springer International Publishing AG. 2017. 3559 p. DOI: 10.1007/978-3-319-26956-6_54.
4. **Yoneyama T., Sadamatsu H., Kuwata S., Kawakita H., Ohto K.** Allosteric coextraction of sodium and metal ions with calix[4]arene derivatives 2: first numerical evaluation for the allosteric effect on alkali metal extraction with crossed carboxylic acid type calix[4]arenes. *Talanta.* 2012. V. 88. P. 330-337. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.10.018.
5. **Gotfryd L., Pietec G.** Contaminants of post-leaching copper solutions and their behavior during extraction with industrial extractants. *Physicochem. Probl. Mineral Proc.* 2013. V. 49. N 1. P. 133-143. DOI: 10.5277/ppmp130113.
6. **Didi M.A., Villemin D., Abderrahim O., Azzouz A.** Liquid-liquid extraction of thorium(IV) by fatty acids: a comparative study. *J Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2014. V. 299. N 3. P. 1191-1198. DOI: 10.1007/s10967-013-2855-6.
7. **Pawar R.R., Suryavanshi V.J., Salunkhe S.T., Patil S.S., Mulik G.N.** Liquid-liquid extraction of thorium(IV) with N-n-heptylaniline from acid media. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2017. V. 311. N 1. P. 419-426. DOI: 10.1007/s10967-016-5039-3.
8. **Maiorov V.G., Nikolaev A.I., Adkina O.P., Mazunina G.B.** Extraction of thorium with tributyl phosphate from chloride solutions. *Radiochemistry.* 2006. V. 48. N 6. P. 576-579. DOI: 10.1134/S1066362206060063.
9. **Nasab M.E., Sam A., Milani S.A.** Determination of optimum process conditions for the separation of thorium and rare earth elements by solvent extraction. *Hydrometallurgy.* 2011. V. 106. N 3. P. 141-147. DOI: 10.1016/j.hydromet.2010.12.014.
10. **Eskandari Nasab M.** Synergistic extraction of uranium(VI) and thorium(IV) with mixtures of Cyanex272 and other organophosphorus ligands. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2013. V. 298. N 3. P. 1739-1747. DOI: 10.1007/s10967-013-2528-5.

REFERENCES

1. **Heidenreich W.F.** Heterogeneity of cancer risk due to stochastic effects: emphasis on radiation-induced effects. *Radiat. Environ. Biophys.* 2006. V. 45. N 1. P. 33-37. DOI: 10.1007/s00411-006-0042-7.
2. **Takekawa S., Ueda Y., Hiramatsu Y., Komiyama K., Munechika H.** Erratum to: History note: tragedy of Thorotrast. *Jap. J. Radiol.* 2015. V. 33. P. 718-722. DOI: 10.1007/s11604-015-0479-1.
3. **Zimmermann A.** Tumors and Tumor-Like Lesions of the Hepatobiliary Tract. Springer International Publishing AG. 2017. 3559 p. DOI: 10.1007/978-3-319-26956-6_54.
4. **Yoneyama T., Sadamatsu H., Kuwata S., Kawakita H., Ohto K.** Allosteric coextraction of sodium and metal ions with calix[4]arene derivatives 2: first numerical evaluation for the allosteric effect on alkali metal extraction with crossed carboxylic acid type calix[4]arenes. *Talanta.* 2012. V. 88. P. 330-337. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.10.018.
5. **Gotfryd L., Pietec G.** Contaminants of post-leaching copper solutions and their behavior during extraction with industrial extractants. *Physicochem. Probl. Mineral Proc.* 2013. V. 49. N 1. P. 133-143. DOI: 10.5277/ppmp130113.
6. **Didi M.A., Villemin D., Abderrahim O., Azzouz A.** Liquid-liquid extraction of thorium(IV) by fatty acids: a comparative study. *J Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2014. V. 299. N 3. P. 1191-1198. DOI: 10.1007/s10967-013-2855-6.
7. **Pawar R.R., Suryavanshi V.J., Salunkhe S.T., Patil S.S., Mulik G.N.** Liquid-liquid extraction of thorium(IV) with N-n-heptylaniline from acid media. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2017. V. 311. N 1. P. 419-426. DOI: 10.1007/s10967-016-5039-3.
8. **Maiorov V.G., Nikolaev A.I., Adkina O.P., Mazunina G.B.** Extraction of thorium with tributyl phosphate from chloride solutions. *Radiochemistry.* 2006. V. 48. N 6. P. 576-579. DOI: 10.1134/S1066362206060063.
9. **Nasab M.E., Sam A., Milani S.A.** Determination of optimum process conditions for the separation of thorium and rare earth elements by solvent extraction. *Hydrometallurgy.* 2011. V. 106. N 3. P. 141-147. DOI: 10.1016/j.hydromet.2010.12.014.
10. **Eskandari Nasab M.** Synergistic extraction of uranium(VI) and thorium(IV) with mixtures of Cyanex272 and other organophosphorus ligands. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2013. V. 298. N 3. P. 1739-1747. DOI: 10.1007/s10967-013-2528-5.

11. **Shaeri M., Torab-Mostaedi M., Rahbar Kelishami A.** Solvent extraction of thorium from nitrate medium by TBP, Cyanex272 and their mixture. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2015. V. 303. N 3. P. 2093-2099. DOI: 10.1007/s10967-014-3718-5.
12. **Живопистцев В.П., Пятосин Л.П., Анфалова Г.Л.** Изобутилдиантипирилметан как реагент на торий. *Учен. запис. Перм. ун-та.* 1970. Вып. 229 «Химия». С. 180-185.
13. **Дегтев М.И., Попова О.Н.** Экстракция ионов металлов диантипирилметаном и его аналогами. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. 2012. 237 с.
14. **Bose R., Murty D., Chakrapani G.** Extraction of thorium(IV) as perchlorate and chloroacetate complexes with 1-phenyl-2,3-dimethyl-5-pyrazolone (antipyrine). *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2005. V. 265. N 1. P. 115-122. DOI: 10.1007/s10967-005-0795-5.
15. **Дегтев М.И., Аликина Е.Н.** Физико-химические свойства антипирина и его производные. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. 2009. 174 с.
16. **Дегтев М.И. Попова О.Н., Юминова А.А.** Расслаивающиеся системы без органического растворителя – эффективный и безопасный тип экстракции ионов металлов. *Журн. приклад. химии.* 2013. Вып. 8. С. 1174-1182. DOI: 10.1134/S1070427213080028.
17. **Дегтев М.И., Юминова А.А., Аликина Е.Н.** Расслаивающаяся система антипирин – сульфосалициловая кислота – вода для извлечения и определения макроколичеств ионов индия (III). *Вода: Химия и экология.* 2014. Вып. 1 (66). С. 86-91.
18. **Юминова А.А., Дегтев М.И., Максимов А.С., Медведев А.П.** Способ селективного отделения скандия (III) от иттрия и ряда редкоземельных элементов для его последующего определения. *Завод. лаборатория. Диагн. Мат-лов.* 2018. Вып. 11(84). С. 23-27. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-11-23-27.
19. **Лурье Ю.Ю.** Справочник по аналитической химии. СПб: ПрофиКС. 2010. 448 с.
20. **Марченко З.Д.** Фотометрическое определение элементов. М.: МИР. 1971. 501 с.
11. **Shaeri M., Torab-Mostaedi M., Rahbar Kelishami A.** Solvent extraction of thorium from nitrate medium by TBP, Cyanex272 and their mixture. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2015. V. 303. N 3. P. 2093-2099. DOI: 10.1007/s10967-014-3718-5.
12. **Zhivopistsev V.P., Pyatosin L.P., Anfalova G.L.** Isobutyldiantipyrylmethane as a reagent for thorium. *Uchen. zapis. Perm. Un-ta.* 1970. N 229 "Khimiya". P. 180-185 (in Russian).
13. **Degtev M.I., Popova O.N.** Extraction of metal ions with diantipyrylmethane and its analogues. Perm: Permsk. Gos. Nats. Issl. Un-t. 2012. 237 p. (in Russian).
14. **Bose R., Murty D., Chakrapani G.** Extraction of thorium(IV) as perchlorate and chloroacetate complexes with 1-phenyl-2,3-dimethyl-5-pyrazolone (antipyrine). *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* 2005. V. 265. N 1. P. 115-122. DOI: 10.1007/s10967-005-0795-5.
15. **Degtev M.I., Alikina E.N.** Physico-chemical properties of antipyrine and its derivatives. Perm: Permsk. Gos. Nats. Issl. Un-t. 2009. 174 p. (in Russian).
16. **Degtev M. I., Popova O.N., Yuminova A.A.** Organic-solvent-free systems with phase separation as efficient and safe systems for extraction of metal ions. *Zhurn. Priklad. Khim.* 2013. V. 86. N 8. P. 1152-1160 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070427213080028.
17. **Degtev M.I., Yuminova A.A., Alikina E.N.** The exfoliating system of antipyrine - sulfosalicylic acid - water for the extraction and determination of trace amounts of indium (III) ions. *Voda: Khim. Ekolog.* 2014. N 1 (66). P. 86-91 (in Russian).
18. **Yuminova A.A., Degtev M.I., Maksimov A.S., Medvedev A.P.** The method for the selective separation of scandium (III) from yttrium and a number of rare earth elements for its subsequent determination. *Zavod. Laboratoriya. Diagn. Mat-lov.* 2018. N 11 (84). P. 23-27 (in Russian). DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-11-23-27.
19. **Lurie Yu.Yu.** A Handbook on Analytical Chemistry. SPb: ProfiKS. 2010. 448 p. (in Russian).
20. **Marchenko Z.D.** Photometric determination of elements. M.: Mir. 1971. 501 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 02.11.2020
Принята к опубликованию 05.04.2021

Received 02.11.2020
Accepted 05.04.2021