

— ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЯ —

Научная статья

УДК 542.61

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>

**Экстракция кадмия в расслаивающейся системе
дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода**

Жанна Юрьевна Куимова, Екатерина Николаевна Аликина

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. Исследована расслаивающаяся система с дифенилгуанидином и бензойной кислотой без органического растворителя с целью оценки ее эффективности в отношении экстракции ионов кадмия. Экстракцию изучали в присутствии неорганической (хлороводородной) кислоты или неорганических оснований (гидроксида натрия или аммония), а также неорганических комплексообразователей (иодид калия и тиоцианат аммония). Определены оптимальные условия для извлечения кадмия. Показано, что наиболее эффективная экстракция кадмия наблюдается при введении в расслаивающуюся систему гидроксида натрия. Установлено, что с ростом концентраций и дифенилгуанидина, и бензойной кислоты извлечение кадмия увеличивается. Обнаружено, что количественная экстракция кадмия наблюдается только в присутствии неорганического комплексообразователя – иодида калия.

Ключевые слова: расслаивание; извлечение; кадмий; дифенилгуанидин

Для цитирования: Куимова Ж.Ю., Аликина Е.Н. Экстракция кадмия в расслаивающейся системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 4. С. 213–223. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>

**Cadmium extraction in the delaminating system
diphenylguanidine – benzoic acid – water**

Zhanna Yu. Kuimova, Ekaterina N. Alikina

Perm State University, Perm, Russia

Abstract. An delaminating system with diphenylguanidine and benzoic acid without an organic solvent was studied in order to evaluate its effectiveness in relation to the cadmium ions extraction. Extraction was studied in the presence of an inorganic (hydrochloric) acid or inorganic bases (sodium or ammonium hydroxide), as well as inorganic complexing agents (KI, NH₄SCN). The optimal conditions for the cadmium extraction have been determined. It is shown that the most efficient cadmium extraction was observed when sodium hydroxide was introduced into the delaminating system. It has been established that with an increase in the concentrations of both diphenylguanidine and benzoic acid, the cadmium extraction increases. It was found that the quantitative extraction of cadmium was observed only in the presence of an inorganic complexing agent – potassium iodide.

Key words: delamination; extraction; cadmium; diphenylguanidine

For citation: Kuimova, Zh.Yu. and Alikina, E.N. (2023) “Cadmium extraction in the delaminating system diphenylguanidine – benzoic acid – water”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 213–223. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>.



XX век – это век бурного развития экстракции. В это время при помощи экстракции были решены важные научно-технические задачи атомной энергетики, в частности: вопросы переработки ядерного топлива, очистки и выделения многих радиоактивных элементов. Эти достижения вызвали значительный рост исследований по теории и практике применения экстракционных процессов.

В настоящее время широкое применение находят экстракционные системы, в которых расслаивание происходит в отсутствие органических растворителей. Одним из примеров таких систем являются системы с кислотно-основным взаимодействием органических реагентов. Зная кислотно-основные свойства используемых органических реагентов, можно оптимизировать состав экстракционных систем, делать их более избирательными или, наоборот, использовать для группового концентрирования, подбирать системы, расслаивающиеся при разной температуре, разном значении pH среды.

Расслаивающиеся системы без органического растворителя являются простыми и сравнительно недорогими, но при этом эффективными для разделения и концентрирования веществ, и самое главное, они являются безопасными для человека. В качестве органических оснований часто изучаются производные пиразолона [1–14], в качестве органических кислот – галогенуксусные кислоты [9], бензойная кислота и ее производные [1, 4–9, 11–14], нафталин-2-сульфо кислота [2, 3, 9, 10].

В работе [15] исследована экстракция кадмия из кислых тиоцианатных растворов в расслаивающейся системе диантипирилалкан – бензойная кислота – вода. При нагревании до 80°C в исследуемой системе происходит рас-

слаивание водной системы при кислотности среды 0,01–4,0 моль/л (HCl, H₂SO₄, H₃PO₄). Органическая фаза, представляющая собой смесь тиоцианатной и бензоатной солей диантипирилметана как жидкий ионит способна взаимодействовать с металлокомплексными анионами и экстрагировать их. Исследовано влияние концентрации минеральной кислоты на степень извлечения кадмия. Обнаружено, что кадмий экстрагируется более, чем на 90% в интервале 0,1–0,6 моль/л H₂SO₄. В присутствии фосфорной кислоты интервал расширяется до 1,0 моль/л H₃PO₄. В присутствии HCl кадмий максимально извлекается на 92% при ее концентрации 0,2 моль/л. Введение тиоцианат-ионов эффективно влияет на экстракцию кадмия, которая становится количественной при 20-кратном избытке NH₄SCN. Однако при более высоких концентрациях тиоцианат-ионов начинается сверхстехиометрическая экстракция HSCN, при этом извлечение кадмия снижается до 70–80%, а органическая фаза начинает кристаллизоваться. Соотношение компонентов в извлекающемся комплексе кадмия установлено билогарифмическим методом, а затем подтверждено данными химического анализа экстракта, полученного в условиях насыщения. Состав комплекса выражается формулой (R·H)₂[Cd(SCN)₄], где R – молекула диантипирилметана.

Денисова с соавт. исследовали экстракцию кадмия в расслаивающейся системе вода – диантипирилметан – нафталин-2-сульфо кислота – тиоцианат аммония [2]. Максимальное извлечение кадмия составило 71% при концентрации тиоцианат-ионов, равной 0,5 моль/л. При введении минеральной кислоты удалось повысить извлечение кадмия до 82% при концентрации

H_2SO_4 2,0 моль/л. Из солянокислых растворов кадмий максимально извлекается в условиях 1,0 моль/л HCl .

Авторами работы [16] исследована экстракция макроколичеств ионов кадмия из солянокислых растворов. Ионы кадмия извлекаются количественно гексилдиантипирилметаном в присутствии бензойной кислоты в интервале концентраций HCl 0,5–4,0 моль/л. Замена гексилдиантипирилметана на его аналог пропилдиантипирилметан не приводит к заметным изменениям интервала концентраций HCl , а вот замена бензойной кислоты на салициловую сужает интервал C_{HCl} количественной экстракции кадмия: в случае с пропилдиантипирилметаном он составляет 0,5–1,5 моль/л. Методом химического анализа насыщенного металлом экстракта определен состав извлекающегося комплекса кадмия – $(\text{ГД}\cdot\text{Н})_2[\text{CdCl}_4]$, где ГД – гексилдиантипирилметан.

В работе [17] предложено для экстрагирования кадмия и некоторых других металлов из талой снеговой и речной воды использовать эквимольный расплав салицилата тиопириния с температурой плавления 145°C . Полученные экстракты и кислотные минерализаты анализировали методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Степень извлечения ионных форм кадмия из речной воды составила $(90\pm 3)\%$ после однократной экстракции.

Еще одной интересной заменой классическим органическим растворителям становятся ионные жидкости [18–21]. С. В. Смирнова с соавт. [18] исследовали экстракцию кадмия в ионные жидкости N-лауроилсаркозинат тетраоктиламмония (TOALS) и салицилат триоктилметиламмония (TOMAS), которые содержат

координационно-активные анионы N-лауроилсаркозинат и салицилат, что делает их не просто инертными разбавителями, но и комплексообразующими реагентами. Обнаружено, что количественная экстракция кадмия в TOALS осуществляется как из нейтральных и слабощелочных (при $\text{pH} \geq 6$), так и из сильноокислых ($\text{pH} \leq 2$) растворов в отсутствие дополнительных комплексообразующих реагентов. Установлено влияние хлорид-ионов на извлечение кадмия из нейтральных растворов: наблюдается рост степени извлечения Cd при увеличении концентрации хлорида, причем тангенс угла наклона соответствующей билогарифмической зависимости близок к 1. Также обнаружено влияние концентрации N-лауроилсаркозината на экстракцию кадмия. Методом элементного анализа насыщенного металлом экстракта подтверждено соотношение $\text{TOA}^+:\text{LS}^-:\text{Cd}:\text{Cl} = 1:1:1:1$. Зависимость экстракции кадмия в ионную жидкость TOMAS от pH схожа с аналогичной зависимостью для TOALS.

Экспериментальная часть

В работе использовали бензойную кислоту (БК), дифенилгуанидин (ДФГ) квалификации ч.д.а. Раствор Cd^{2+} с концентрацией 0,10 моль/л готовили, растворяя навеску хлорида кадмия $\text{CdCl}_2\cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ квалификации х.ч. в дистиллированной воде. Концентрацию полученного раствора устанавливали комплексонометрически [22].

Раствор хлороводородной кислоты с концентрацией 0,50 моль/л готовили разбавлением концентрированного раствора HCl ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$) квалификации х.ч. Раствор стандартизировали по буре с индикатором метиловый оранжевый. Раствор гидроксида натрия с концентрацией 0,25 моль/л готовили растворением

навески NaOH в дистиллированной воде. Раствор стандартизировали по 0,10 моль/л фиксанальному раствору азотной кислоты с индикатором бромкрезоловый зеленый. Раствор гидроксида аммония готовили разбавлением концентрированного раствора аммиака в дистиллированной воде. Раствор стандартизировали по 0,10 моль/л фиксанальному раствору азотной кислоты с индикатором метиловый оранжевый.

Растворы иодида калия и тиоцианата аммония с концентрацией 0,5 моль/л готовили растворением навесок KI (квалификации х.ч.) и NH_4SCN (свежеперекристаллизованного) в дистиллированной воде. Растворы стандартизировали по 0,050 моль/л стандартному раствору нитрата серебра методом потенциометрического титрования с серебряным и хлоридсеребряным электродами.

Экстракцию кадмия проводили в градуированных пробирках на 20 мл при нагревании на водяной бане до 353 К. Для этого в пробирки помещали соответствующие навески дифенилгуанидина и бензойной кислоты, создавали кислотность среды введением растворов HCl, NaOH или NH_4OH , вводили 1 мл 0,10 моль/л исходного раствора кадмия, необходимое количество 0,5 моль/л растворов KI или NH_4SCN , содержимое пробирок доводили до 10 мл дистиллированной водой. Пробирки нагревали на водяной бане в течение 15–20 мин до образования второй органической фазы, периодически перемешивая содержимое пробирок. Далее пробирки охлаждали до полного расслоения и просветления фаз.

После расслоения водную фазу сливали через фильтр с белой или красной лентой в коническую колбу на 250 мл, разбавляли дистилли-

рованной водой до 50 мл, а органическую фазу растворяли в 3–4 мл ацетона и количественно переносили в коническую колбу на 250 мл, разбавляли дистиллированной водой до 50 мл для определения ионов кадмия комплексометрически в обеих фазах по отдельности [22].

Обсуждение результатов

Изучено распределение ионов кадмия в расслаивающейся системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода в присутствии HCl, NaOH или NH_4OH , а также неорганических комплексообразователей – KI или NH_4SCN . В данной системе бензойная кислота играет роль органической кислоты, роль органического основания играет дифенилгуанидин.

Дифенилгуанидин имеет иминную группу с кратной связью и две аминогруппы, поэтому в силу своего строения обладает двойственной реакционной способностью [23].

Группа $\text{C}=\text{N}$ является протонакцепторной, а две аминогруппы потенциально способны к отщеплению протонов. Таким образом, дифенилгуанидин способен вступать в межмолекулярные взаимодействия по электронодонорному или электронакцепторному механизму, в зависимости от условий реакции. Катионная форма реагента может взаимодействовать с комплексными однозарядными анионами благородных и цветных металлов, например, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$, с образованием гидрофобных ассоциатов.

Исследовано распределение 0,01 моль/л кадмия (II) в системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода в зависимости от концентрации хлороводородной кислоты или гидроксида натрия (рис. 1). Степень извлечения кадмия незначительно увеличивается при концентрациях хлороводородной кислоты от 0,01

моль/л до 0,05 моль/л, далее с увеличением концентрации кислоты экстрагируемость резко уменьшается, при этом максимальное извлечение кадмия не превышает 50%.

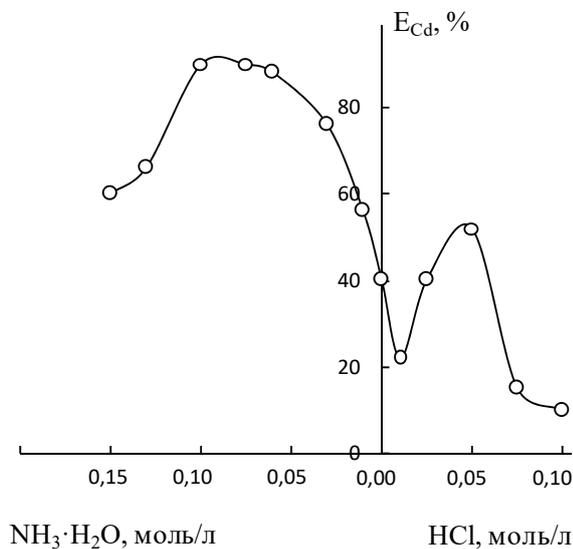


Рис. 1. Влияние концентраций HCl или NaOH на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – вода: $C_{ДФГ} = C_{БК} = 0,2$ моль/л,

$C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

При замене хлороводородной кислоты на гидроксид натрия степень извлечения кадмия возрастает в пределах концентраций гидроксида натрия от 0,01 моль/л до 0,1 моль/л, с дальнейшим ее увеличением экстрагируемость постепенно снижается (рис. 1). Максимальная степень извлечения кадмия в присутствии щелочи составляет 89 %. Таким образом, в присутствии щелочи извлечение кадмия в расслаивающейся системе происходит более эффективно.

Заменяв хлороводородную кислоту на раствор аммиака, также удалось повысить степень извлечения кадмия. В интервале содержаний аммиака от 0,01 моль/л до 0,05 моль/л наблюдается повышение степени извлечения кадмия, с дальнейшим ростом концентрации аммиака экстрагируемость уменьшается. Максимальная

степень извлечения кадмия составляет 85% (рис. 2). Однако количественного извлечения кадмия в присутствии аммиака добиться не удалось.

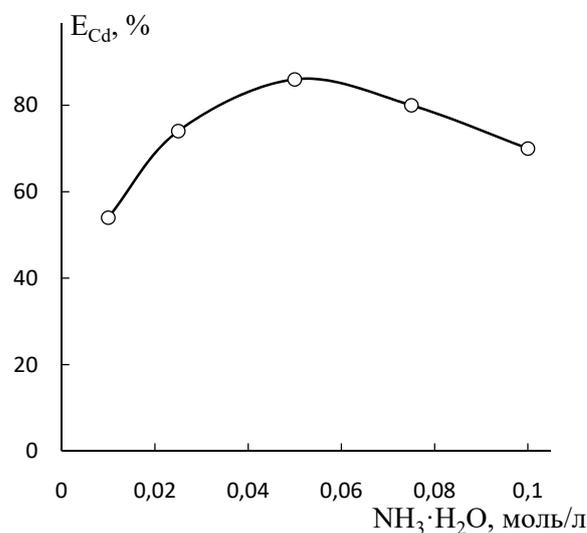


Рис. 2. Влияние концентрации аммиака на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – вода: $C_{ДФГ} = C_{БК} = 0,2$ моль/л,

$C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

Так как степень извлечения кадмия в системе с гидроксидом натрия была максимальной, далее исследовали извлечение кадмия в системе ДФГ – БК – NaOH – вода. При изменении концентрации БК обнаружено, что с ростом концентрации последней степень извлечения кадмия увеличивается в интервале 0,1–0,45 моль/л БК (рис. 3). Максимальная степень извлечения кадмия в данной системе составляет 89% (рис. 3) при концентрации БК, равной 0,45 моль/л. При дальнейшем увеличении концентрации БК на кривой экстракции кадмия наблюдается небольшой «провал», а затем степень извлечения снова начинает увеличиваться. Однако при высоких концентрациях БК ее избыток начинает кристаллизоваться в системе в твердом виде, поэтому дальнейшие исследования проводили при $C_{БК} 0,45$ моль/л.

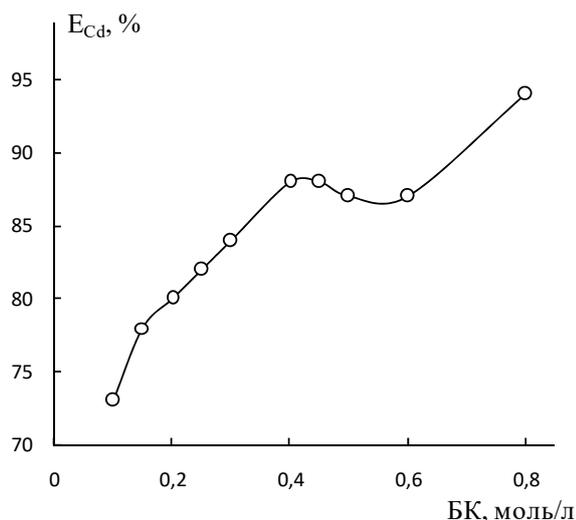


Рис. 3. Влияние концентрации бензойной кислоты на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – вода: $C_{ДФГ} = 0,2$ моль/л,
 $C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $C_{NaOH} = 0,1$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

При изучении влияния концентрации дифенилгуанидина на экстракцию кадмия обнаружено, что максимальная экстрагируемость кадмия наблюдается при концентрации последнего 0,3 моль/л и составляет 91% (рис. 4).

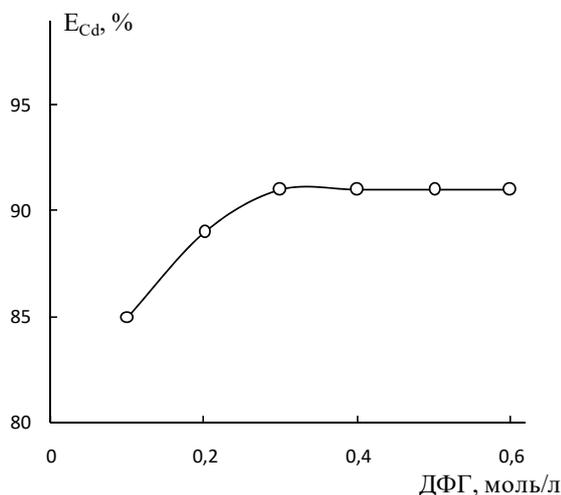


Рис. 4. Влияние концентрации дифенилгуанидина на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – вода: $C_{БК} = 0,45$ моль/л,
 $C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $C_{NaOH} = 0,1$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

В интервале концентраций дифенилгуанидина 0,1–0,3 моль/л степень извлечения кадмия

увеличивается, далее с увеличением концентрации реагента степень извлечения перестает изменяться.

В оптимальных условиях извлечения кадмия была построена изотерма экстракции (рис. 5). По данным изотермы наблюдается линейная зависимость при концентрациях кадмия от 0,01 до 0,06 моль/л. Вследствие того, что происходит насыщение фазы, извлечение кадмия резко снижается при концентрациях раствора кадмия выше 0,06 моль/л (рис. 5). Тангенс угла наклона прямой близок к 1, что свидетельствует о вхождении одного иона кадмия в состав извлекающегося комплексного соединения. По изотерме экстракции была рассчитана емкость органической фазы относительно ионов кадмия. Она составила 76 мг Cd/1 г ДФГ и 87 мг/1 г БК.

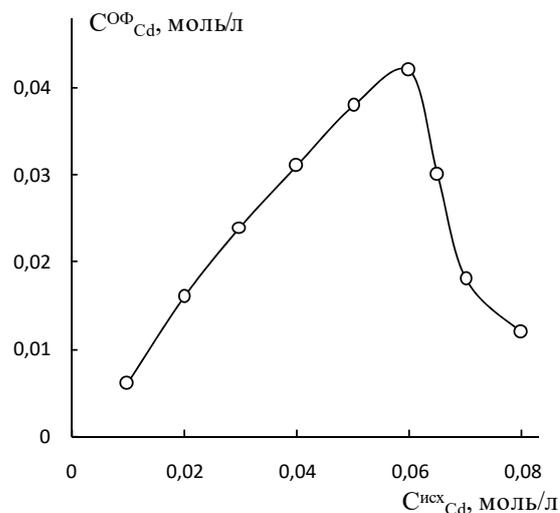


Рис. 5. Изотерма экстракции кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – вода при температуре 353 К:
 $C_{БК} = 0,45$ моль/л, $C_{ДФГ} = 0,3$ моль/л,
 $C_{NaOH} = 0,1$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

Как было упомянуто выше, в системе ДФГ – БК – NaOH – вода не удалось добиться количественного извлечения кадмия, поэтому дополнительно исследовали экстракцию Cd в присут-

ствии активных комплексообразователей: KI или NH₄SCN.

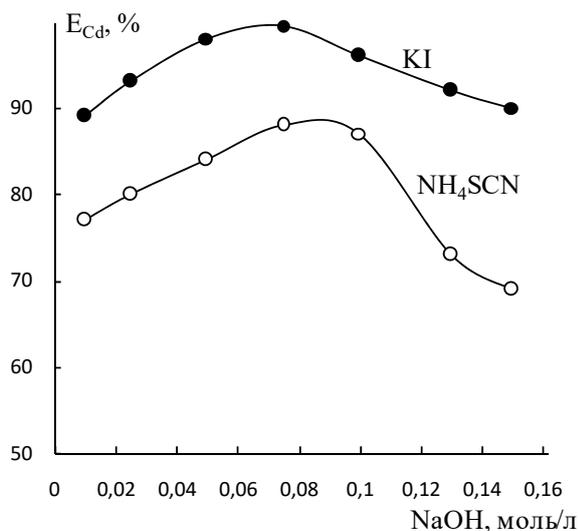


Рис. 6. Влияние концентрации NaOH на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – KI (NH₄SCN) – вода:

$C_{ДФГ} = C_{БК} = 0,2$ моль/л, $C_{Cd} = 0,01$ моль/л,

$C(KI) = C(NH_4SCN) = 0,2$ моль/л $V_{общ} = 10$ мл

При концентрациях гидроксида натрия от 0,01 до 0,075 моль/л в присутствии KI степень извлечения кадмия растет и становится количе-

ственной, что говорит об эффективности внесения данной добавки. При дальнейшем увеличении концентрации основания степень извлечения уменьшается (рис. 9). При замене добавки KI на NH₄SCN характер кривой экстракции не меняется, но экстракция проходит менее эффективно (рис. 9). Максимальная степень извлечения в присутствии NH₄SCN составляет 88 %. Экстракцию кадмия в присутствии KI и NH₄SCN исследовали при разных концентрациях органических реагентов, но оказалось, что даже при низких концентрациях (0,2 моль/л ДФГ и БК) обеспечивается количественная экстракция в присутствии KI.

Таким образом, условиями количественной экстракции кадмия следует считать $C_{БК} = C_{ДФГ} = 0,2$ моль/л, $C_{NaOH} = 0,075 - 0,1$ моль/л, $C_{KI} = 0,2$ моль/л. Отметим, что экстракция кадмия эффективнее протекает в присутствии неорганического комплексообразователя – KI, образующего прочный ацидокомплекс с ионами кадмия.

Список источников

1. Петров Б.И., Калиткин К.В., Наземцева К.А. Экстракционная система без органического растворителя вода – антипирин – сульфосалициловая кислота // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–2 (79). С. 198–208.
2. Денисова С.А., Леснов А.Е., Петров Б.И. Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающейся системе вода – диантипирилметан – нафталин-2-сульфоукислота // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–1 (79). С. 151–156.
3. Денисова С.А., Леснов А.Е. Экстракция таллия (III) с использованием расслаивающихся систем вода – антипирин или диантипирилгептан – нафталин-2-сульфоукислота // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т. 79, № 12. С. 20–23.
4. 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. № 1 (66). С. 86–91.
5. Дегтев М.И., Юминова А.А., Амнджанов А.А., и др. Расслаивающиеся системы антипирин, сульфосалициловой кислоты, сульфата натрия и воды для извлечения макроколичеств ионов металлов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2014. Т. 57, № 4. С. 315–320.

6. Аминджанов А.А., Дегтев М.И., Юминова А.А. и др. Диантипирилалканы – эффективные реагенты в расслаивающихся системах с бензойной и салициловой кислотами // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2014. № 1 (154). С. 76–83.
7. Дегтев М.И., Попова О.Н., Юминова А.А. Фазовые равновесия и константы распределения ионов металлов в системах диантипирилалкан – органическая кислота – хлороводородная кислота – вода // Журнал физической химии. 2014. Т. 88, № 7–8. С. 1239–1242.
8. Дегтев М.И., Юминова А.А., Максимов А.С. Способ концентрирования микроколичеств галлия, индия, железа (III), скандия и таллия (III) без применения органического растворителя // Вода: химия и экология. 2015. № 10 (88). С. 75–81.
9. Петров Б.И., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в водных расслаивающихся системах с протолитическим взаимодействием // Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70, № 6. С. 563–576.
10. Денисова С.А., Головкина А.В., Леснов А.Е. Извлечение скандия диантипирилалканами из нафталин-2-сульфонатных растворов в экстракционных системах различного типа // Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70, № 2. С. 115–120.
11. Темерев С.В., Петров Б.И., Савакова Ю.П. Групповое концентрирование ионов из кислых водных растворов легкоплавким экстрагентом // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72, № 8. С. 727–732.
12. Алексеева А.А., Бородулина Н.Д., Дегтев М.И. Об экстракции макроколичеств железа (III) в расслаивающихся системах антипирин – бензойная (салициловая) кислоты – вода // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2017. Т. 7, № 1. С. 28–38.
13. Дегтев М.И., Юминова А.А. Распределение ионов тория (IV) в водной расслаивающейся системе антипирина и сульфосалициловой кислоты // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, № 5. С. 19–23.
14. Кузалбаева В.П., Юминова А.А. Разработка метода прямого экстракционно-спектрофотометрического определения молибдат-ионов в системе антипирин – сульфосалициловая кислота – вода // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2022. Т. 12, № 1. С. 17–24.
15. Дегтев М.И., Аликина Е.Н. Экстракция ионов Zn и Cd из тиоцианатных растворов расплавами смесей диантипирилметана и бензойной кислоты // Physical, mathematical and chemical sciences: theoretical trends and applied studies / education as the basis of the humanity evolution in conditions of the information environment of the society domination: materials digest of the LI International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in physical, mathematical and chemical sciences. London, 2013. С. 11–14.
16. Дегтев М.И., Станкова А.В. и др. Оценка экстракционной способности водных расслаивающихся систем на примере извлечения ионов кадмия (II) и цинка (II) из солянокислых растворов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62, № 11. С. 57–62.

17. *Темерев С.В., Петухов В.А.* Определение ионов меди (II), кадмия (II), свинца (II), цинка (II) в образцах снега и воды после извлечения салицилатом тиопириния // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27, № 4. С. 403 – 411.

18. *Смирнова С.В., Торочешникова И.И., Плетнев И.В. и др.* Экстракция ионов кадмия, свинца, кобальта, меди и цинка из водных растворов в гидрофильно-гидрофобные ионные жидкости // *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*. 2016. Т. 57, № 1. С. 11–17.

19. *Смирнова С.В., Плетнев И.В.* Новые ионные жидкости для экстракционного концентрирования // *Журнал аналитической химии*. 2019. Т. 74, № 1. С. 3–14.

20. *Плетнев И.В., Смирнова С.В., Шведене Н.В.* Новые направления применения ионных жидкостей в аналитической химии. 1. Жидкостная экстракция // *Журнал аналитической химии*. 2019. Т. 74, № 7. С. 483–526.

21. *Белова В.В., Холькин А.И.* Использование ионных жидкостей и бинарных экстрагентов в экстракции // *Химическая технология*. 2022. Т. 23, № 10. С. 430–437.

22. *Шварценбах Г., Флашка Г.* Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.

23. *Медяник Н.Л., Леонтьева Е.В.* Дифенилгуанидин-перспективный реагент для извлечения золота, серебра при переработке техногенных отходов // *Национальная ассоциация ученых*. 2015. № 8–3. С. 117–118.

Информация об авторах

Жанна Юрьевна Куимова, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15).

Екатерина Николаевна Аликина, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), alikina-en@yandex.ru.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 16 октября 2023 г.; принята к публикации 27 октября 2023 г.

References

1. Petrov, B.I., Kalitkin, K.V. and Nazemtseva, K.A. (2013), “Extraction system without an organic solvent water – antipyrine – sulfosalicylic acid”, *News of Altai State University*, no. 3-2 (79), pp. 198–208. (in Russ.).

2. Denisova, S.A., Lesnov, A.E. and Petrov, B.I. (2013), “Extraction of thiocyanate complexes of metals in stratified system water – diantipyrylmethane – 2-naphthalenesulfonic acid”, *News of Altai State University*, no. 3-1 (79), pp. 151–156. (in Russ.).

3. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2013), “Extraction of thallium (III) using a stratified water systems – antipyrine or diantipyrylheptane – naphthalene-2-sulfonic acid”, *Factory laboratory. Material diagnostics*, vol. 79, no. 12, pp. 20–23. (in Russ.).

4. Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Alikina, E.N. (2014), “The segregating system containing antipyrine, sulphosalicylic acid, and water for extraction and determination of macro-quantities of indium (III) ions”, *Water: chemistry and ecology*, no. 1 (66), pp. 86–91. (in Russ.).

5. Degtev, M.I., Yuminova, A.A., Aminjanov, A.A. and Maksimov, A.S. (2014), “Organic-solvent-free extraction systems with phase separation based on antipyrine, sulfosalicylic acid, sodium sulphate and water for extraction of metal ions macroamounts”, *Reports of the Academy of Sciences of the Tajikistan Republic*, vol. 57, no. 4, pp. 315–320. (in Russ.).

6. Aminjanov, A.A., Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Popova, O.N. (2014), “Diantipyrilalkanes as effective reagents in the segregating systems containing benzoic acid and salicylic acid”, *News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Physical and Mathematical, Chemical, Geological and Technical Sciences*, no. 1 (154), pp. 76–83. (in Russ.).

7. Degtev, M.I., Popova, O.N. and Yuminova, A.A. (2014), “Phase equilibria and distribution constants of metal ions in diantipyrilalkane – organic acid – hydrochloric acid – water systems”, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 88, no. 8, pp. 1419–1422. (in Russ.).

8. Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Maksimov, A.S. (2015), “Concentration method of microamounts gallium, indium, ferrum (III), scandium and thallium (III) without organic solvent”, *Water: chemistry and ecology*, no. 10 (88), pp. 75–81. (in Russ.).

9. Petrov, B.I., Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2015), “Phase and extraction equilibria in aqueous segregable systems with protolytic interaction”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 70, no. 6, pp. 647–660. (in Russ.).

10. Denisova, S.A., Golovkina, A.V. and Lesnov A.E. (2015), “Extraction of scandium by diantipyrilalkanes from naphthalene-2-sulfonate solutions in the extraction systems of different types”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 70, no. 2, pp. 107–112. (in Russ.).

11. Temerev, S.V., Petrov, B.I. and Savakova, Y.P. (2017), “Group preconcentration of ions from acid aqueous solutions with a low-melting extractant”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 72, no. 8, pp. 849–853. (in Russ.).

12. Alekseeva, A.A., Borodulina, N.D. and Degtev, M.I. (2017), “Extraction of iron (III) macroamounts in stratifying systems antipyrine – benzoic (salicylic) acids – water”, *Bulletin of the Perm University. Series: chemistry*, vol. 7, no. 1, pp. 28–38. (in Russ.).

13. Degtev, M.I. and Yuminova, A.A. (2021), “Distribution of thorium (IV) ions in aqueous exfoliating system containing antipyrine and sulfosalicylic acid”, *News of higher educational institutions. Series: chemistry and chemical technology*, vol. 64, no. 5, pp. 19–23. (in Russ.).

14. Kuzalbaeva, V.P. and Yuminova, A.A. (2022), “Development of extraction-spectrophotometric method of molybdate ions determination of in the antipyrine – sulfosalicylic acid – water system”, *Bulletin of the Perm University. Series: chemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24. (in Russ.).

15. Degtev, M.I. and Alikina, E.N. (2013), “Ekstrakciya ionov Zn i Cd iz tiocianatnih rastvorov rasplavami smesei diantipirilmetana i benzoinoi kisloti”, In *Physical, mathematical and chemical sciences: theoretical trends and applied studies / education as the basis of the humanity evolution in conditions of the in-*

formation environment of the society domination: materials digest of the LI International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in physical, mathematical and chemical sciences, London, 2013, pp. 11–14. (in Russ.).

16. Degtev, M.I., Stankova, A.V., Knutov, D.S., Medvedev, A.P. and Russkikh, M.Y. (2019), “Extraction ability estimation of aqueous stratified systems on example of cadmium and zinc extraction from hydrochloric acid solutions”, *News of higher educational institutions. Series: chemistry and chemical technology*, vol. 62, no. 11, pp. 57–62. (in Russ.).

17. Temerev, S.V. and Petukhov, V.A. (2019), “Determination of the ions of copper (II), cadmium (II), lead (II), zinc (II) in snow and water samples after extraction with thiopyrinium salicylate”, *Chemistry for Sustainable Development*, vol. 27, no. 4, pp. 403–411. (in Russ.).

18. Smirnova, S.V., Torocheshnikova, I.I., Pletnev, I.V. and Baulin, V.E. (2016), “Extraction of cadmium, lead, cobalt, copper, and zinc ions from aqueous solutions into hydrophilic–hydrophobic ionic liquids”, *Moscow University Chemistry Bulletin*, vol. 71, no. 1, pp. 81–86. (in Russ.).

19. Smirnova, S.V. and Pletnev, I.V. (2019), “New ionic liquids for extraction preconcentration”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 1, pp. 3–14. (in Russ.).

20. Pletnev, I.V., Smirnova, S.V. and Shvedene, N.V. (2019), “New directions in using ionic liquids in analytical chemistry. 1: Liquid–liquid extraction”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 7, pp. 625–658. (in Russ.).

21. Belova, V.V. and Kholkin, A.I. (2022), “Use of ionic liquids and binary extractants in extraction”, *Chemical Technology*, vol. 23, no. 10, pp. 430–437. (in Russ.).

22. Schwarzenbach, G. and Flaschka, H. (1970), *Kompleksonometricheskoe titrovaniye* [Complexometric titration], Chemistry, Moscow. (in Russ.).

23. Medjanik, N.L. and Leontyeva, E.V. (2015), “Diphenylguanidine – perspective reagent for the extraction of gold, silver in the processing of technogenic waste”, *National Association of Scientists*, no. 8–3, pp. 117–118. (in Russ.).

Information about the authors

Zhanna Yu. Kuimova, Student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614068, Russia).

Ekaterina N. Alikina, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614068, Russia), alikina-en@yandex.ru.

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 16 October 2023; accepted 27 October 2023