

УДК 542.61:547.836.3:544.344.012-14

DOI: 10.17072/2223-1838-2018-1-29-38

С.А. Заболотных¹, А.Е. Леснов^{1,2}, С.А. Денисова³

¹ Институт технической химии УрО РАН, Пермь, Россия

² Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ЭКСТРАКЦИЯ ИОНОВ Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) И Fe(II) С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ СУЛЬФОНОЛА ИЛИ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ

Исследовано влияние органического комплексообразующего реагента – 1,10-фенантролина (Phen), на фазовое состояние и экстракционные возможности водных систем на основе анионных ПАВ сульфонола или додецилсульфата натрия и неорганической кислоты. В присутствии Phen в смесях наблюдается образование двухфазного жидкого равновесия. Установлены оптимальные концентрационные параметры процесса экстракции в исследованной системе. Найденны условия количественного извлечения ионов Ni (II), Cu (II), Co (II), Fe (II) и Fe (III) из хлороводородных и сернокислых растворов. Методами изомольярных серий и насыщения определено соотношение Ni : Phen в извлекаемом комплексе, которое составило 1:3.

Ключевые слова: экстракция; водные расслаивающиеся системы; фенантролин; сульфонол; додецилсульфат натрия

S.A. Zabolotnykh¹, A.E. Lesnov^{1,2}, S.A. Denisova³

¹ Institute of Technical Chemistry, Perm, Russia

² Perm State Agro-Technological University, Perm, Russia

³ Perm State University, Perm, Russia

SYSTEMS BASED ON SULFONOL OR SODIUM DODECYLSULPHATE TO EXTRACT Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) AND Fe(II) IONS WITH 1,10-PHENANTHROLIN

The effect of the organic complexing reagent introduction – 1,10-phenanthroline, on the phase state and extraction capabilities of aqueous systems based on anionic surfactants sulfonol or sodium dodecylsulphate and inorganic acid was studied. In the presence of Phen a two-phase liquid equilibrium in the mixtures was observed. Optimum concentration parameters for the extraction process in the systems under investigation were determined. Conditions for the quantitative extraction of Ni(II), Cu(II), Co(II), Fe(II) and Fe(III) ions from hydrochloric and sulfuric solutions were found. The isomolar series and saturation methods were used to determine the Ni : Phen ratio in recovered complex, which was 1:3.

Keywords: extraction, water self-stratifying systems; phenanthroline; sulfonol; sodium dodecylsulphate

Введение

Водные растворы анионных поверхностно-активных веществ способны к расслаиванию на две жидкие фазы при введении различных высаливателей: минеральных кислот, солей металлов [1]. Подобные системы могут быть предложены в качестве безопасной альтернативы традиционным экстракционным системам, в которых применяются токсичные органические растворители. В качестве компонентов водных расслаивающихся систем исследованы различные анионные ПАВ: алкилсульфаты, алкилсульфонаты [2], оксифос Б [3], алкилбензолсульфокислота [4], додецилсульфат натрия [5, 6]. Ранее нами было показано, что в присутствии неорганических кислот (серной и хлороводородной) системы на основе сульфанола и додецилсульфата натрия [7, 8] расслаивались на две жидкие фазы, однако интервал концентраций кислот был узким [9]. Изучение распределения ионов металлов показало, что данные системы обладали слабой экстракционной способностью. Введение в них дополнительных органических комплексообразователей (антипирина, диантипирилметана или его гомологов) существенно расширяло интервал содержания кислот и увеличивало степень извлечения ионов металлов [10]. Производные пиразолона показали удовлетворительные результаты при экстракции ионов металлов, извлекающихся как по анионообменному механизму (Fe (III), Ga (III), Tl (III), Sn (II)), так и по координационному (Sc (III), Zr (IV), Hf (IV)).

Ионы Co (II), Cu (II), Ni (II) по классификации Пирсона относятся к «мягким», поэтому их экстракция производными пиразолона («жесткими» лигандами) из сернокислых рас-

творов практически не наблюдается, а извлечение из сернокислых растворов в виде хлоридных ацидокомплексов тоже незначительно. В связи с этим предпринят поиск новых органических комплексообразующих реагентов – «мягких» лигандов, проявляющих основные свойства. В качестве примера изучен 1,10-фенантролин (Phen).

Phen как бидентатный лиганд образует с ионами Fe, Co, Ni, Cu устойчивые окрашенные хелаты с пятичленными циклами. Являясь слабым основанием, в кислой среде Phen присоединяет один протон и образует комплексные катионы – PhenH⁺ ($K_{пр} = 1,1 \cdot 10^{-5}$) [11, 12].

В представленной статье рассмотрена возможность применения Phen для извлечения ионов металлов в водных расслаивающихся системах на основе анионных ПАВ.

Материалы и методы

В работе использованы:

- **сульфонол** – натрий алкилбензолсульфонаты на основе керосина общей формулы $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3Na$, где $n = 12-18$ (ТУ 2481-135-07510508-2007);
- **додецилсульфат натрия** формулы $C_{12}H_{25}OSO_3Na$ (SDS) квалификации ч.д.а.;
- **1,10-фенантролин** (*o*-фенантролин) квалификации ч.д.а.;
- серная кислота, концентрированная ($\rho = 1,832$ г/мл).
- хлороводородная кислота, концентрированная ($\rho = 1,172$ г/мл).
- соли металлов – квалификации х.ч. и ч.д.а.

Для исследования влияния Phen на фазовое состояние систем, в смеси при постоянном содержании ПАВ ($m_{\text{сульфонола}} = 0,6$ г или $m_{\text{SDS}} =$

0,75 г, $V_{\text{общ}} = 10$ мл) вводили различные количества Phen и определяли интервал концентраций кислоты, в котором наблюдалось двухфазное жидкое равновесие. Изменение фазового состояния фиксировали визуально. По результатам исследований выбрано оптимальное количество Phen, позволяющее получить расслаивающуюся систему с соотношением двух жидких фаз, наиболее подходящим для экстракции.

Для изучения распределения ионов металлов в градуированные пробирки с притертыми пробками вносили по 1 мл 0,1 моль/л раствора катиона металла, 0,15 г Phen, 0,6 г сульфанола (или 0,75 г SDS) и соответствующее количество раствора кислоты, доводили объем системы до 10 мл дистиллированной водой и перемешивали. После расслаивания фазы разделяли и определяли остаточное содержание ионов металлов в рафинате на атомно-абсорбционном спектрометре iCE 3500 с пламенной атомизацией.

Определение состава комплекса никеля с Phen проводили методами насыщения по металлу и изомолярных серий в системе вода – сульфанола – 0,25 моль/л HCl.

Метод насыщения, или метод молярных отношений

В связи с тем, что Phen в изученных системах является не только реагентом, но и фазообразователем, применяли метод насыщения по металлу. Постоянное содержание Phen поддерживали равным $7,5 \cdot 10^{-4}$ моль. В градуированные пробирки помещали 0,6 г сульфанола и 0,15 г Phen, добавляли рассчитанное количество 0,2 моль/л раствора соли никеля, создавали кислотность среды 0,25 моль/л HCl и дово-

дили объем дистиллированной водой до 10 мл. Фазы разделяли и определяли содержание ионов никеля в рафинате методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Строили график зависимости степени извлечения никеля от соотношения металл-реагент (M/L). Точка перегиба или точка пересечения прямолинейных участков на графике соответствовала стехиометрическому коэффициенту в уравнении образования комплекса [13].

Метод изомолярных серий, или метод непрерывных изменений

Суммарное содержание Ni^{2+} и Phen поддерживали равным $2,5 \cdot 10^{-3}$ моль. В градуированные пробирки помещали 0,6 г сульфанола, рассчитанные количества 0,2 моль/л раствора сульфата никеля и навеску Phen, создавали кислотность 0,25 моль/л HCl и доводили объем водой до 10 мл. Фазы разделяли и определяли содержание ионов никеля в рафинате методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Экспериментальная часть

Влияние 1,10-фенантролина на фазовые равновесия и экстракционные возможности систем

Для экстракции ионов металлов использовали найденные предварительными исследованиями оптимальные количества компонентов, представленные в таблице. В присутствии Phen фаза ПАВ мутная, вязкая, в отсутствие ионов металлов окрашена в бледно-розовый цвет; водная фаза прозрачная, бесцветная; между фазами наблюдается четкая граница раздела. В системах с SDS при увеличении концентрации HCl от 0,5 до 3,5 моль/л органическая фаза находится внизу, при содержа-

нии кислоты 3,5 моль/л наблюдается инверсия фаз. В системе с H₂SO₄ фаза ПАВ находится сверху.

При замене SDS на сульфенол фазовое состояние смесей не меняется. При концентра-

ции HCl от 0,25 до 1,0 моль/л фаза ПАВ находится внизу, с увеличением содержания кислоты происходит инверсия фаз. В системе с H₂SO₄ фаза ПАВ также находится сверху (см. таблицу).

Концентрационные параметры проведения экстракции ($m_{\text{Phen}} = 0,15 \text{ г}$, $V_{\text{общ}} = 10,0 \text{ мл}$)

№	Система	$m_{\text{ПАВ}}$, г	Интервал концентраций кислоты, моль/л	$V_{\text{ф.ПАВ}}$, мл
I	H ₂ O – SDS – HCl	0,75	0,5–5,0	1,5–2,0
II	H ₂ O – SDS – H ₂ SO ₄	0,75	0,5–4,0	1,5–2,0
III	H ₂ O – сульфенол – HCl	0,6	0,25–3,0	1,0–1,2
IV	H ₂ O – сульфенол – H ₂ SO ₄	0,6	0,1–3,0	1,0–1,2

Экстракционные возможности систем в присутствии Phen изучены на примере распределение ионов Ni (II), Cu (II), Co (II), Fe (II) и Fe (III). При экстракции ионов металлов органическая фаза приобретает окраску: при введении никеля – ярко-розовую, кобальта– оранжевую, меди – бирюзовую, железа – ярко-красную.

В системе вода – SDS – HCl экстракция никеля (II) выше 95 % наблюдается в интервале содержания кислоты 0,5–4,0 моль/л. Кобальт (II) извлекается более чем на 90 % при концен-

трации HCl 0,5–3,0 моль/л. Медь (II) экстрагируется количественно до концентрации кислоты 1,0 моль/л, при содержании HCl выше 2,5 моль/л в системе образуются осадки. Железо (II) извлекается на 98 % лишь при 0,5 моль/л концентрации кислоты. В этих же условиях экстракция железа (III) является незначительной (R=63 %). Увеличение кислотности приводит к дальнейшему снижению его экстракции в результате образования хлоридного ацидокомплекса (рис. 1).

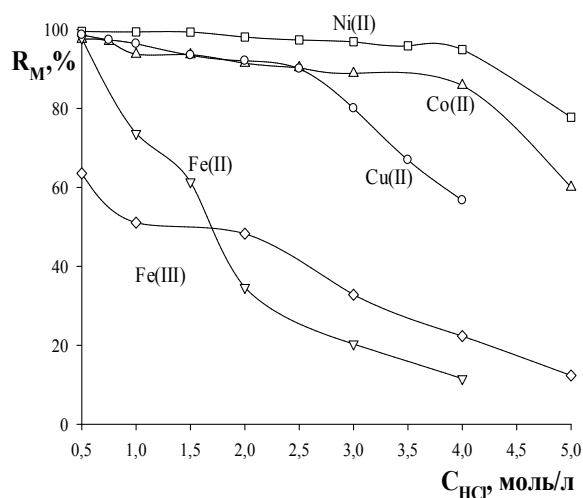


Рис. 1. Распределение 0,01 моль/л ионов металлов в системе вода – SDS – HCl в зависимости от концентрации HCl ($C_{\text{Phen}} = 0,075 \text{ моль/л}$)

При замене хлороводородной кислоты на серную вид кривых извлечения металлов практически не меняется. Максимальное извлечение меди (II) составило 94 %. Интервал количественного извлечения никеля сокращается

до 2 моль/л, кобальта – до 1 моль/л. Отсутствие Cl^- - ионов в системе положительным образом сказывается на экстракции железа (III), которое экстрагируется на 96% при концентрации H_2SO_4 0,75 моль/л (рис. 2).

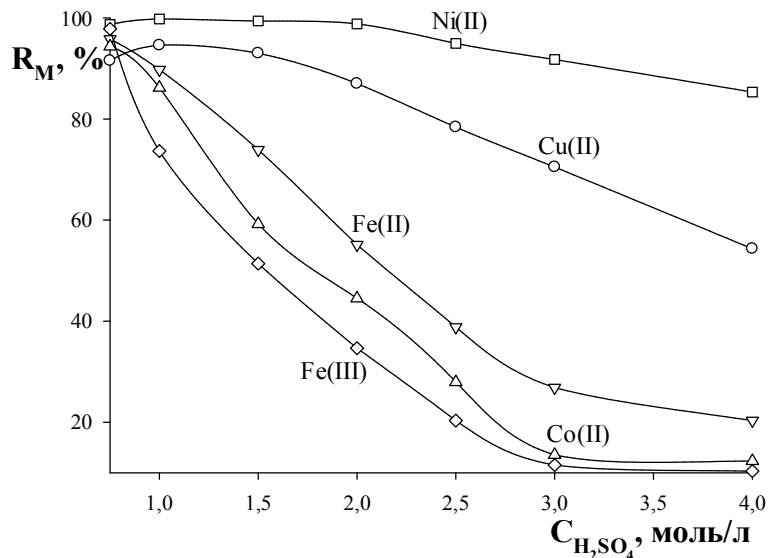


Рис. 2. Распределение 0,01 моль/л ионов металлов в системе вода – SDS – H_2SO_4 в зависимости от концентрации H_2SO_4 ($C_{\text{phen}} = 0,075$ моль/л)

Изучена экстракция фенантролиновых комплексов ионов Co (II), Cu (II), Ni (II), Fe (III) и Fe (II) в системах вода – сульфенол – HCl (H_2SO_4). При экстракции из хлороводородных растворов наибольший интерес представляет извлечение Ni (II), достигающее 99,9 %, и Cu (II), экстрагирующейся более чем на 90 % в

интервале концентраций HCl 0,25–3,0 моль/л. Fe (II) извлекается более чем на 97 % до концентрации кислоты 0,5 моль/л. Максимальное извлечение Co (II) (93%) и Fe (III) (86%) наблюдается при минимальной концентрации кислоты (рис. 3).

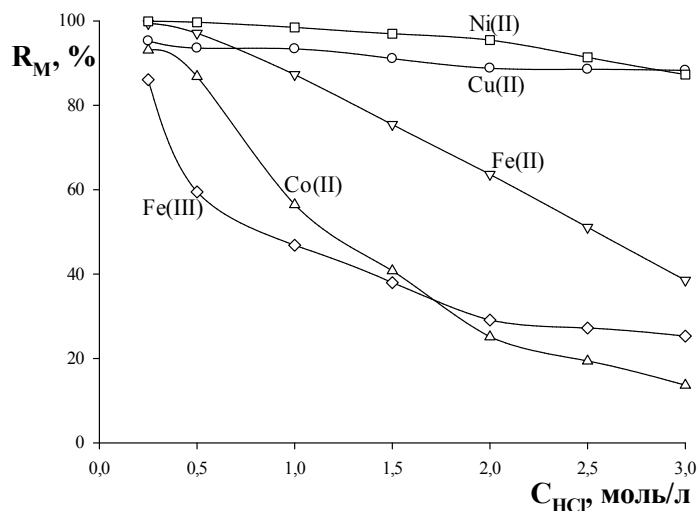


Рис. 3. Распределение 0,01 моль/л ионов металлов в системе вода – сульфенол – HCl в зависимости от концентрации HCl ($C_{\text{phen}} = 0,075$ моль/л).

При замене HCl на H₂SO₄ извлечение ионов металлов немного ухудшается. Так, экстракция ионов никеля (II) превышающая 98 % наблюдается в интервале кислотности 0,1–1,0 моль/л. Медь (II) извлекается количественно до содержания кислоты 0,5 моль/л. Железо (II) и

кобальт (II) экстрагируются более чем на 90 % до концентрации H₂SO₄ 0,25 моль/л. Максимальное извлечение железа (III) составило 91 % при минимальном содержании кислоты в смеси (рис. 4).

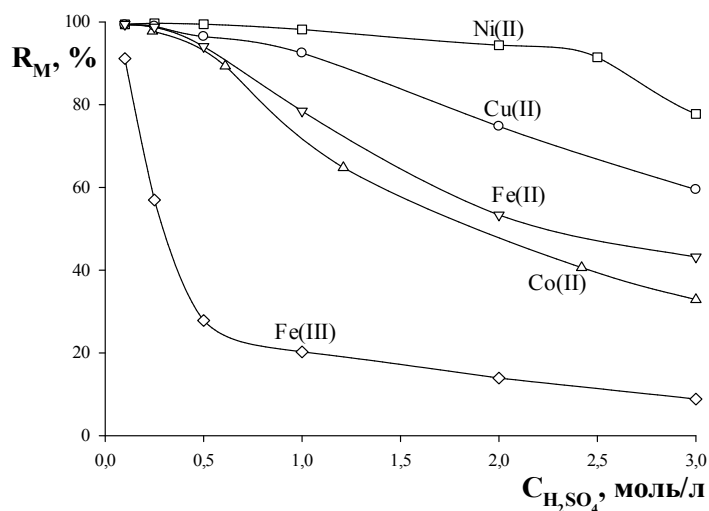


Рис. 4. Распределение 0,01 моль/л ионов металлов в системе вода – сульфоновол – H₂SO₄ в зависимости от концентрации H₂SO₄ (C_{Phen} = 0,075 моль/л)

Определение состава комплекса никеля с 1,10-фенантролином

Методами изомолярных серий и насыщения по металлу определено соотношение Ni : Phen в извлекаемом комплексе.

Точку перегиба на графике метода насыщения (рис. 5) определяли экстраполяцией ли-

нейных участков. Соотношение Ni : Phen составило 1:2,89. На графике метода изомолярных серий (рис. 6) находили точку пересечения касательных к ветвям. Соотношение Ni : Phen равно 1:3. Полученное соотношение соответствует литературным данным [14].

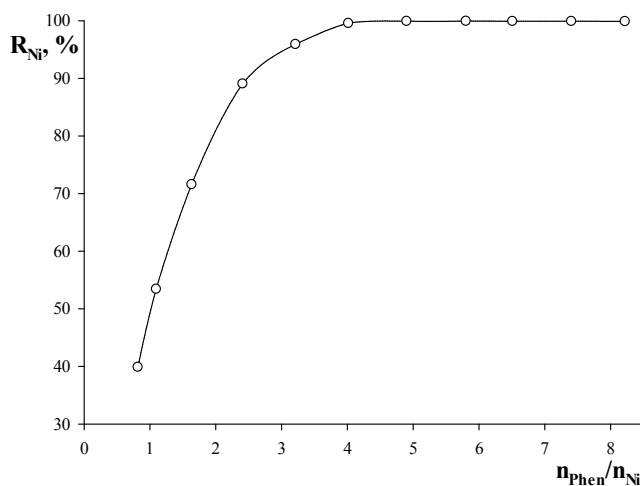


Рис. 5. Определение состава комплекса Ni с Phen методом насыщения по металлу в системе вода – сульфоновол – 0,25 моль/л HCl (n_{Phen} = 7,5·10⁻⁴ моль)

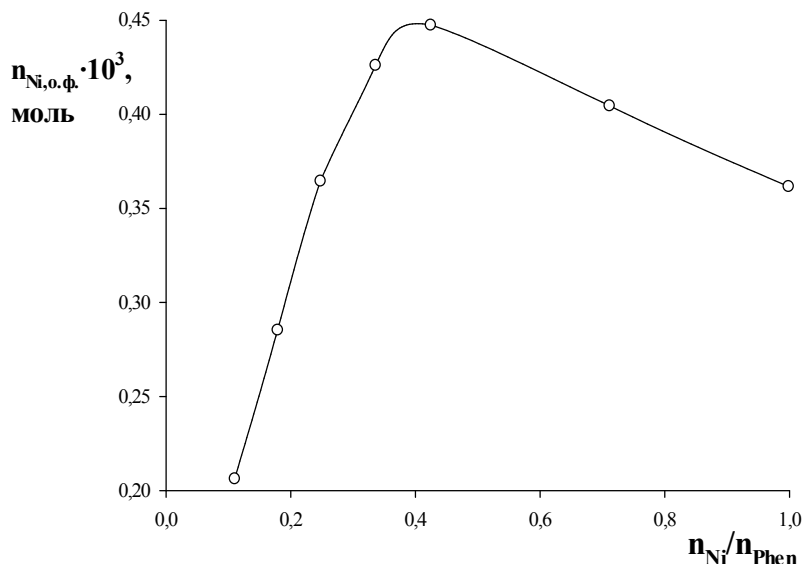
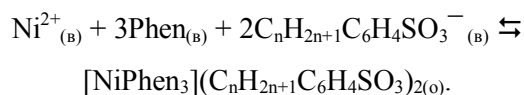


Рис. 6. Определение состава комплекса Ni с Phen методом изоляричных серий в системе вода – сульфонол – 0,25 моль/л HCl ($\Sigma n = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль)

Предположительно, экстракция никеля в системе без органического растворителя протекает по координационному механизму, который можно изобразить следующим уравнением:



Заключение

Согласно полученным результатам можно сделать заключение, что водные расслаивающиеся системы, содержащие анионные ПАВ сульфонол или додецилсульфат натрия, могут быть использованы для количественного извлечения фенантролиновых комплексов некоторых ионов металлов, а также для отделения ионов Ni от других цветных металлов. В связи с тем, что фенантролин образует с рассмотренными ионами металлов окрашенные комплексы, в дальнейшем возможна разработка методики их экстракционно-фотометрического определения, исключаяющей из процесса экс-

тракции пожароопасные, токсичные и легколетучие органические растворители.

Список литературы

1. Леснов А.Е., Денисова С.А. Гель-экстракция поверхностно-активными веществами // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2014. Вып. 1 (13). С. 79–93.
2. Леснов А.Е., Кудряшова О.С., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – алкилсульфонаты – неорганический высаливатель // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2011. Вып. 1 (1). С. 71–75.
3. Леснов А.Е., Денисова С.А., Чухланцева Е.Ю., Заболотных С.А., Останина Н.Н. Гель-экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающихся системах “вода – катамин АБ – хлорид калия” и “вода – оксифос Б – сульфат аммония” // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. Т. 23. № 4. С. 361–366.

4. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Гель-экстракция ионов металлов диантипирилалканами в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфо кислоты // Вода. Химия и экология. 2017. № 1. С. 73–79.
5. Nakai T., Murakami Y., Sasaki Y., Tagashira, S. The ion-pair formation between dodecyl-sulfate and ammine-complexes of copper(II), nickel(II), zinc(II), palladium(II) and platinum(II), and the extraction behavior of the ammine-complexes by using sodium dodecyl-sulfate // 2005. Talanta. V. 66. Is. 1. P. 45–50.
6. Tagashira S., Ichimaru T., Nozaki K., Murakami Y. Surfactant Gel Extraction of Metal Ammine Complexes using SDS and KCl at Room Temperature, and a Small-angle X-ray Diffraction Study of the Surfactant Phase // Solvent extraction research and development – Japan. 2013. Vol. 20. P. 39–52.
7. Заболотных С.А., Денисова С.А. Изучение водных расслаивающихся систем на основе сульфанола // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2014. Вып. 1 (13). С. 50–57.
8. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – сульфанола – HCl (H₂SO₄) и вода – додецилсульфат натрия – HCl (H₂SO₄) // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 10. С. 1458–1464.
9. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системе вода – додецилсульфат натрия – неорганическая кислота // Органические реагенты в практике химического анализа объектов окружающей среды. Пермь, 2015. С. 40–43.
10. Заболотных С.А., Денисова С.А. Экстракция ионов металлов диантипирилалканами в системах вода – сульфанола (или додецилсульфат натрия) – неорганическая кислота // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2016. Вып. 1(21). С. 7–15.
11. Гурбанов А.Н., Салахова Ф.И. Изучение комплексообразования и экстракции смешанных фенантролин-1-окси-2-нафтольных комплексов кобальта, никеля и железа (II) // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. Вып. 12. С. 33–35.
12. Бургер К. Органические реагенты в неорганическом анализе. М.: Мир, 1975. С. 96.
13. Шлефер Г.Л. Комплексообразование в растворах. М.: Химия, 1964. 380 с.
14. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1971. 456 с.

References

1. Lesnov, A.E., Denisova, S.A. (2014), “Surfactant gel extraction”, *Perm University Bulletin. Chemistry*, no. 1(13), pp. 79–93. (In Russ.).
2. Lesnov, A.E., Kudryashova, O.S., Denisova, S.A. (2011), “Phase and extraction equilibrium in the systems of water – alkyl sulphates or alkyl sulphonates – inorganic salting-out component”, *Perm University Bulletin. Chemistry*, no. 1(1), pp. 71–75. (In Russ.).
3. Lesnov, A.E., Denisova, S.A., Chuhlanceva, E.Ju., Zabolotnyh, S.A., Ostanina, N.N. (2015), “Gel Extraction of Thiocyanate Complexes of Metals in Layering Systems «Water – Catamine AB – Potassium Chloride» and «Water – Oxyphos B – Ammonium Sulphate»”, *Chemistry for Sustainable Development*, V. 23, no. 4, pp. 361–366. (In Russ.).

4. Zabolotnykh, S.A., Lesnov, A.E., Denisova, S.A. (2017), "Gel extraction of metal ions using dianthapyrylium alkanes in stratified water systems based on alkyl benzene sulfonic acid", *Water: chemistry and ecology*, no. 1, pp. 73–79. (In Russ.)
5. Nakai, T., Murakami, Y., Sasaki, Y., Tagashira, S. (2005), "The ion-pair formation between dodecylsulfate and ammine-complexes of copper (II), nickel (II), zinc (II), palladium (II) and platinum (II), and the extraction behavior of the ammine-complexes by using sodium dodecylsulfate", *Talanta*. V. 66. Is. 1. pp. 45–50.
6. Tagashira, S., Ichimaru, T., Nozaki, K., Murakami, Y. (2013), "Surfactant Gel Extraction of Metal Ammine Complexes using SDS and KCl at Room Temperature, and a Small-angle X-ray Diffraction Study of the Surfactant Phase", *Solvent extraction research and development*, V. 20. pp. 39–52.
7. Zabolotnykh, S.A., Denisova, S.A. (2014), "Study of water stratifying systems based on sulphonol", *Perm University Bulletin. Chemistry*, no. 1(13), pp. 50–57. (In Russ.)
8. Zabolotnykh, S.A., Lesnov, A.E., Denisova, S.A. (2016), "Phase and extraction equilibria in H₂O – sulfonol – HCl (H₂SO₄) and H₂O – sodium dodecyl sulfate–HCl (H₂SO₄) systems", *Russian Journal of Physical Chemistry A*. Vol. 90. no. 10, pp. 1942–1947.
9. Zabolotnykh, S.A., Lesnov, A.E., Denisova, S.A. (2015), "Phase and extraction equilibria in the water – sodium dodecylsulphate – inorganic acid system", *Organic reagents in the practice of chemical analysis of environmental objects*. Perm, pp. 40–43. (In Russ.)
10. Zabolotnykh, S.A., Denisova, S.A. (2016), "Extraction of metal ions with dianthipyrylalkanes from water – sulphonol (or sodium dodecylsulphate) – inorganic acid systems", *Perm University Bulletin. Chemistry*, no. 1(21), pp. 7–15. (In Russ.)
11. Gurbanov, A.N., Salakhova, F.I. (2009), "Study of complexation and extraction of mixed phenantrolyne-1-oxy-2 naphthoic complexes of cobalt, nickel and iron (II)", *Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology*, V. 52. no. 12. pp. 33–35. (In Russ.)
12. Burger, K. (1975), *Organicheskiye reagenty v neorganicheskom analize* [Organic reagents in metal analysis], Translated by Matveeva I.V., Mir, Moscow, Russia.
13. Schläfer, H.L. (1964). *Kompleksoobrazovaniye v rastvorakh*. [Komplexbildung in lösung], Translated by Gelfman M.I. Chimia, Moscow, Russia.
14. Lur'ye Yu. Yu. (1971), *Spravochnik po analiticheskoj khimii* [Handbook of Analytical Chemistry], Chimia, Moscow, Russia.

Об авторах

Заболотных Светлана Александровна,
аспирант, инженер, лаборатория органических
комплексообразующих реагентов
Институт технической химии УрО РАН филиал
Пермского федерального исследовательского
центра УрО РАН
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3.
zabolotsveta@mail.ru

Леснов Андрей Евгеньевич,
доктор химических наук, старший научный со-
трудник, лаборатория органических комплексо-
образующих реагентов
Институт технической химии УрО РАН филиал
Пермского федерального исследовательского
центра УрО РАН
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3.
профессор кафедры экологии
Пермский государственный аграрно-
технологический университет
614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23.

Денисова Светлана Александровна,
кандидат химических наук, доцент кафедры ана-
литической химии и экспертизы
ФГБОУ ВО «Пермский государственный наци-
ональный исследовательский университет»
614990, г. Пермь, Букирева, 15

About the authors

Zabolotnykh Svetlana Aleksandrovna,
postgraduate student, engineer
Laboratory of organic complexing reagents
Institute of Technical Chemistry UB RAS branch
of the Perm Federal Research Center UB RAS
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia
zabolotsveta@mail.ru

Lesnov Andrey Evgenevich,
doctor of chemical sciences, senior researcher
Laboratory of organic complexing reagents
Institute of Technical Chemistry UB RAS branch
of the Perm Federal Research Center UB RAS
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia
Professor, Department of Ecology
Perm State Agro-Technological University
614990, 23, Petropavlovskaya st., Perm, Russia

Denisova Svetlana Aleksandrovna,
candidate of chemistry, associate professor,
Department of analytical chemistry and expertise,
Perm State University
614990, 15, Bukireva street, Perm, Russia

Информация для цитирования

Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Экстракция ионов Ni (II), Co (II), Cu (II), Fe (III) И Fe (II) с 1,10-фенантролином в системах на основе сульфанола или додецилсульфата натрия // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8. Вып. 1. С. 29–38. DOI: 10.17072/2223-1838-2018-1-29-38.

Zabolotnykh S.A., Lesnov A.E., Denisova S.A. Ekstraktsiia ionov Ni (II), Co (II), Cu (II), Fe (III) I Fe (II) s 1,10-fenantrolinom v sistemakh na osno-ve sulfonola ili dodetsilsulfata natriia [Systems based on sulfonol or sodium dodecylsulphate to extract Ni (II), Co (II), Cu (II), Fe (III) and Fe (II) ions with 1,10-phenanthroline] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2018. Vol. 8. Issue 1. P. 29–38 (in Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2018-1-29-38.