

УДК 543.48, 546.681

DOI: 10.17072/2223-1838-2017-1-39-48

С.А. Денисова¹, А.Е. Леснов^{2,3}

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² Институт технической химии УрО РАН, Пермь, Россия

³ Пермская государственная сельскохозяйственная академия, Пермь, Россия

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ И ГЕЛЬ-ЭКСТРАКЦИЯ ГАЛЛИЯ
С ПИРОКАТЕХИНОВЫМ ФИОЛЕТОВЫМ В РАССЛАИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМАХ
ВОДА – ПАВ – НЕОРГАНИЧЕСКИЙ ВЫСАЛИВАТЕЛЬ**

Изучено комплексообразование ионов галлия с пирокатехиновым фиолетовым в присутствии ПАВ различной природы: катионогенного – катамина АБ, анионогенного – оксифоса Б, неионогенного – синтанола АЛМ-10. Наблюдается bathochromic сдвиг максимума светопоглощения комплекса галлия. Наличие области расслаивания в системах вода – ПАВ – неорганическая соль позволяет использовать их для экстракционно-фотометрического определения галлия с пирокатехиновым фиолетовым.

Ключевые слова: комплексообразование; пирокатехиновый фиолетовый; галлий; катамин АБ; оксифос Б; синтанол АЛМ-10; гель-экстракция поверхностно-активными веществами.

S.A. Denisova¹, A.E. Lesnov^{2,3}

¹ Perm State University. 614990, Perm, Russia

² Institute of Technical Chemistry of Ural Branch of Russian Academy of Science, Perm, Russia

³ Perm State Agricultural Academy, Perm, Russia

**COMPLEXING AND GEL EXTRACTION OF GALLIUM WITH PYROCATECHOL VIOLET IN
STRATIFYING SYSTEM WATER – SURFACTANT – INORGANIC SALTING-OUT AGENT**

The complexation of gallium ions with pyrocatechol violet in the presence of surfactants of different nature: the cationic – catamine AB, anionic – oksifosa B, nonionic – synthanol ALM-10 were studied. Also, a bathochromic shift of the maximum absorbance of gallium complex was observed. The presence of the area of stratification in water – surfactant – inorganic salt systems makes them suitable for the extraction-photometric determination of gallium with pyrocatechol violet.

Keywords: complexation; pyrocatechol violet; gallium; catamine AB; oksifos B; syntanol ALM-10; surfactant gel extraction.

Гель-экстракцию поверхностно активными веществами можно отнести к процессам, отвечающим принципам "Greenchemistry", так как расслаивающиеся системы вода – ПАВ – неорганический высаливатель не содержат токсичных, пожароопасных или дорогостоящих компонентов.

Способность расслаивать водные растворы на две жидкие фазы характерна для ПАВ всех типов [1]. В качестве примера можно привести экстракционные системы на основе неионогенных ПАВ синтамида [2], синтанола [3], анионогенных – оксифоса Б [4], сульфонола, додецилсульфата натрия [5, 6], катионогенных – катамина АБ [7], солей алкилпиридиния [8] или смеси анионогенного и катионогенного ПАВ – додецилсульфата натрия с алкилпиридиний хлоридом [9]. Расширить ассортимент извлекаемых ионов металлов можно дополнительным введением в систему анионов комплексообразователей, например тиоцианатов [10, 11] или органических комплексообразующих реагентов [12, 13].

Было выявлено, что совместное присутствие в экстракционной системе ПАВ и органического фотометрического реагента может привести к положительному эффекту за счет образования разнолигандного комплекса с ионом металла либо ассоциата реагента с ПАВ. Это в ряде случаев позволяет существенно улучшить фотометрические характеристики цветных реакций [14] – повысить их контрастность и чувствительность. В этом плане наибольшую активность проявляют катионогенные ПАВ, которые образуют с анионными формами реагентов электронейтральные легко экстрагирующиеся малополярными органическими растворителями ионные ассоциаты. Образование ассоциатов по ионизованным ауксохромным группам реагентов сопровождается бато- или гипсохромными эффектами, изменением протолитических свойств донорных гетероатов и растворимости [15]. Неионогенные и

анионогенные ПАВ в фотометрическом анализе используются значительно реже.

Однако большинство данных по механизму взаимодействия ПАВ с комплексами металлов с фотометрическими реагентами получены для небольших концентраций ПАВ [16]. В ряде случаев с ростом концентрации ПАВ увеличивается число координированных молекул реагента, что, по-видимому, связано с влиянием мицелл ПАВ на состояние иона металла в растворе, который в мицеллярных растворах достаточно изолирован. Такая изоляция от раствора приводит, очевидно, к увеличению химической устойчивости [17].

Нами изучено комплексообразование галлия с пирокатехиновым фиолетовым (ПКФ) в присутствии катионогенного ПАВ катамина АБ, анионогенного – оксифоса Б и неионогенного – синтанола АЛМ 10.

ПКФ (пирокатехинсульфофталеин) является одним из наиболее широко распространенных в аналитической химии реагентов трифенилметанового ряда. Он служит в качестве металлохромного индикатора при определении широкого спектра ионов металлов, включая галлий [18] и для фотометрического определения ряда ионов металлов (Al, Ga, Zn, Sc, Ti, Zr и др.) [19].

Максимальное комплексообразование галлия с ПКФ протекает при pH 6,1. Соотношение Ga : ПКФ в комплексе равно 1:2, λ_{\max} 580 нм [20]. В присутствии катионогенного ПАВ – цетилтриметиламмония (ЦТА), галлий, с ПКФ и ЦТА образует трехкомпонентный комплекс с соотношением компонентов 1:2:2 и λ_{\max} 650-690 нм (ϵ от $4,6 \cdot 10^4$ до $7,6 \cdot 10^4$) [21]. Комплексы галлия с ПКФ и другим катионогенным ПАВ – бромидом цетилпиридиния (ЦП) экстрагируются хлороформом, спиртами. Лучшим экстрагентом является *n*-бутиловый спирт. Наибольшая степень извлечения достигается при pH 6,8–7,8. Соотношение Ga – ПКФ – ЦП равно 1:2:2 в водной фазе и 1:2:4 в органической [22]. Трехкомпонентные экстра-

гируемые комплексы галлия с ПКФ образуют также карбоновые кислоты [23].

Растворы, реактивы и приборы

В работе использовали катионогенный ПАВ катамин АБ (алкилбензилдиметиламмоний хлорид, $[C_nH_{2n+1}N(CH_3)_2CH_2C_6H_5]Cl$, где $n = 10-18$), 48%-ный водный раствор (ТУ 9392-003-48482528-99). Свойства: прозрачная жидкость от бесцветного до желтого цвета, $t_{c, \text{воспл.}} = 354^\circ C$. Токсичность: порог разрушающего действия – 0,5 %, ПДК = 0,1 мг/л. Анионогенный ПАВ – Оксифос Б (калий бис-(алкилполиоксоэтилен)-фосфат, $[C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_m]_2POOK$, $n = 8-10$, $m = 6$) с содержанием основного вещества 98 % (ТУ 2484-344-05763441-2001). Свойства: вязкая светло-коричневая жидкость, хорошо растворима в воде, малотоксична. Неионогенный ПАВ – Синтанол АЛМ-10 (моноалкиловый эфир полиэтиленгликоля на основе первичных жирных спиртов, $C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_mH$, где $n=12-14$, $m=8-10$, (ТУ 6-14-864-88)). Третий класс опасности. Биоразлагаемость – 85% [24]. Использовали 30 %-ный раствор.

Сульфат галлия $Ga_2(SO_4)_3$, 0,1 моль/л раствор готовили на 0,5 моль/л серной кислоте. Растворы с меньшей концентрацией готовили последовательным разбавлением 0,1 моль/л раствора 0,5 моль/л серной кислотой.

Взаимодействие галлия с ПКФ в системе вода – катамин АБ – хлорид натрия

В отсутствие ПАВ оптимальный интервал рН комплексообразования ПКФ с галлием составляет 6–7. Максимум светопоглощения (λ_{max}) реагента в этих условиях наблюдается при 440 нм, комплекса – 570 нм. В более кислой среде, при рН 4,5, положение λ_{max} реагента не меняется, при этом для комплекса наблюдается батохромный сдвиг до 610 нм и небольшое снижение величины оптической плотности.

При различных значениях рН изучено влияние катамина АБ на спектрофотометрические характеристики ПКФ и его комплексов с галлием. Введение катамина АБ в увеличивающихся по отношению к ПКФ ($C_{\text{ПКФ}} = 3,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $l=1$ см) мольных соотношениях от 1:1 до 10:1 при рН 6,9 приводит к небольшому росту оптической плотности растворов реагента от 0,14 до 0,17. Величина максимума светопоглощения не изменяется. При рН 4,6 ПАВ не влияет на оптические характеристики реагента.

Добавление небольших количеств катамина АБ (до 12-кратного избытка) в раствор комплекса галлия с ПКФ приводит к образованию осадка. При больших концентрациях ПАВ растворы комплексов устойчивы и имеют более яркую окраску, чем в отсутствие ПАВ. При концентрации катамина АБ 0,12 моль/л при рН 4,5 наблюдается батохромный сдвиг светопоглощения комплекса с 610 нм до 670 нм, т.е. контрастность реакции увеличивается по сравнению с двойной системой со 170 до 230 нм. При рН 6,9 в присутствии больших количеств катамина АБ у красителя появляется второй максимум (610 нм), близкий к максимуму светопоглощения комплекса (600 нм).

Введение высоких концентраций катамина АБ приводит к гиперхромному эффекту. Так, при рН 4,5 оптическая плотность увеличивается с 0,446 (без ПАВ) до 0,745 при концентрации катамина АБ 0,12 моль/л ($C_{\text{ПКФ}} = 3,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{Ga} = 6,2 \cdot 10^{-5} M$; $l = 1$ см).

Аналогичные исследования проведены в среде уротропинового буферного раствора при рН 5,1. Введение катамина АБ приводит к увеличению контрастности реакции до 170 нм и значительному возрастанию оптической плотности.

При добавлении катамина АБ в интервалах рН от 3,8 до 5 и от 6,9 до 8,6 наблюдаются существенные батохромные сдвиги максимумов светопоглощения комплексов (до 120 нм). При рН

5–6 батохромный сдвиг составляет 20 нм, а при рН около 2 сдвигов максимумов светопоглощения не происходит. В этом случае оптимальными условиями определения галлия является интервалы рН 3,5–6 и 8–9.

Оптические характеристики комплекса при рН 4,5 в присутствии ПАВ практически не изменяются в течение 40 мин. В дальнейшем происходит незначительный рост величины оптической плотности растворов. Порядок смешивания компонентов сказывается на оптической плотности комплекса галлия с ПКФ в присутствии катамина АБ. Наибольшая плотность достигается при смешивании компонентов в следующем порядке: буферный раствор, ПКФ, катамин АБ, галлий.

В расслаивающейся системе вода – катамин АБ – хлорид натрия, окрашенный комплекс галлия количественно экстрагируется в широком интервале рН. Несмотря на то, что в процессе образуется прозрачный экстракт, его прямое фотометрирование затруднено. При перенесении его в кювету наблюдается помутнение и для отстаивания требуется время. Поэтому экстракт количественно переносили в мерную колбу на 25 мл, добавляли 2 мл буферного раствора с рН 4,5, доводили до метки дистиллированной водой и

замеряли оптическую плотность в кюветах толщиной 1 см относительно раствора экстракта красителя. Максимальная оптическая плотность раствора экстракта наблюдается при проведении экстракции при рН 4–5 и составляет 0,7 ($C_{\text{ПКФ}} = 6,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{Ga}} = 2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{ПАВ}} = 0,12$ моль/л; $l = 1$ см).

Методами изомолярных серий и насыщения определен состав комплекса галлия с ПКФ. В отсутствие ПАВ образуется комплекс с соотношением Ga : ПКФ = 1:2. В присутствии катамина АБ образуются комплексы с соотношением компонентов 1:2 и 1:4.

Для установления количества катамина АБ в комплексе использовали метод насыщения. Исследование проводили в присутствии 5 мл этанола. Установлено, что соотношение Ga : ПКФ : катамин АБ при небольших количествах ПАВ близко к 1:2:4.

По градуировочным графикам, где m_{Ga} – масса галлия в мкг, рассчитаны кажущиеся коэффициенты молярного светопоглощения для двойной и тройной системы, а также для экстрактов комплексов. При рН 4,5 методом Бабко определены значения констант устойчивости комплексов (β). Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Оптические характеристики комплексов Ga с ПКФ (рН=4,5; $c_{\text{kat}}=0,12$ моль/л; $l=1$ см)

Система	λ	$C_{\text{ПКФ}}$, моль/л	Уравнение прямой градуировочного графика	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\beta \cdot 10^{-15}$
Ga – ПКФ	590	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$A = 0,073m_{\text{Ga}} - 0,043$ ($R^2 = 0,998$)	1,47	2,30
Ga – ПКФ – kat	670	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$A = 0,137m_{\text{Ga}} - 0,094$ ($R^2 = 0,994$)	2,65	1,34
Ga – ПКФ – kat	670	$1,2 \cdot 10^{-4}M$	$A = 0,164m_{\text{Ga}} - 0,118$ ($R^2 = 0,958$)	4,30	-
Ga – ПКФ – kat экстракт	680	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$A = 0,194m_{\text{Ga}} - 0,052$ ($R^2 = 0,999$)	1,86	1,47
Ga – ПКФ – kat экстракт	680	$1,2 \cdot 10^{-4}M$	$A = 0,17m_{\text{Ga}} - 0,101$ ($R^2 = 0,978$)	4,07	1,86

Кажущийся коэффициент молярного светопоглощения комплекса галлия с ПКФ ($C_{\text{ПКФ}}=6,2 \cdot 10^{-5}$) в двойной системе в 1,8 раз меньше, чем в

тройной. Однако у комплексов, полученных при экстракции, значение ε в 1,4 раза меньше, чем у комплексов в тройной системе. При увеличении

концентрации ПКФ в два раза в системе Ga – ПКФ – коэффициенте достигает значения $4,3 \cdot 10^{-4}$.

Значения констант устойчивости комплекса (β), определенные по методу Бабко в двойной и тройной системе, при pH 4,5, составили, соответственно $2,30 \cdot 10^{15}$ и $1,34 \cdot 10^{15}$. При экстракции комплекса при этом значении pH $\beta = 1,47 \cdot 10^{15}$.

В табл. 2 приведены данные по мешающему влиянию некоторых ионов металлов, как при прямом фотометрировании растворов при pH 4,5 и 6,9, так и после экстракции. Как видно из таб-

лицы, определение галлия с ПКФ в присутствии катамина АБ более селективно при pH 4,5. Погрешность определения менее 5% наблюдается в присутствии следующих мольных соотношений галлия к сопутствующему металлу: Zn – 1:169, Cd–1:13, Co–1:15, Pb–1:259, Sc–1:6, La– 1:54. Мешают определению галлия алюминий и индий.

При экстракции комплекса наиболее сильное мешающее действие оказывают Zr (II), Sc (III), In (III) и La (III). Они увеличивают оптическую плотность растворов комплексов.

Таблица 2

Влияние мешающих ионов на определение галлия с ПКФ в присутствии катамина АБ

($C_{\text{ПКФ}}=1,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $C_{\text{Ga}}=2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{кат}}=0,12$ моль/л; $l=1$ см)

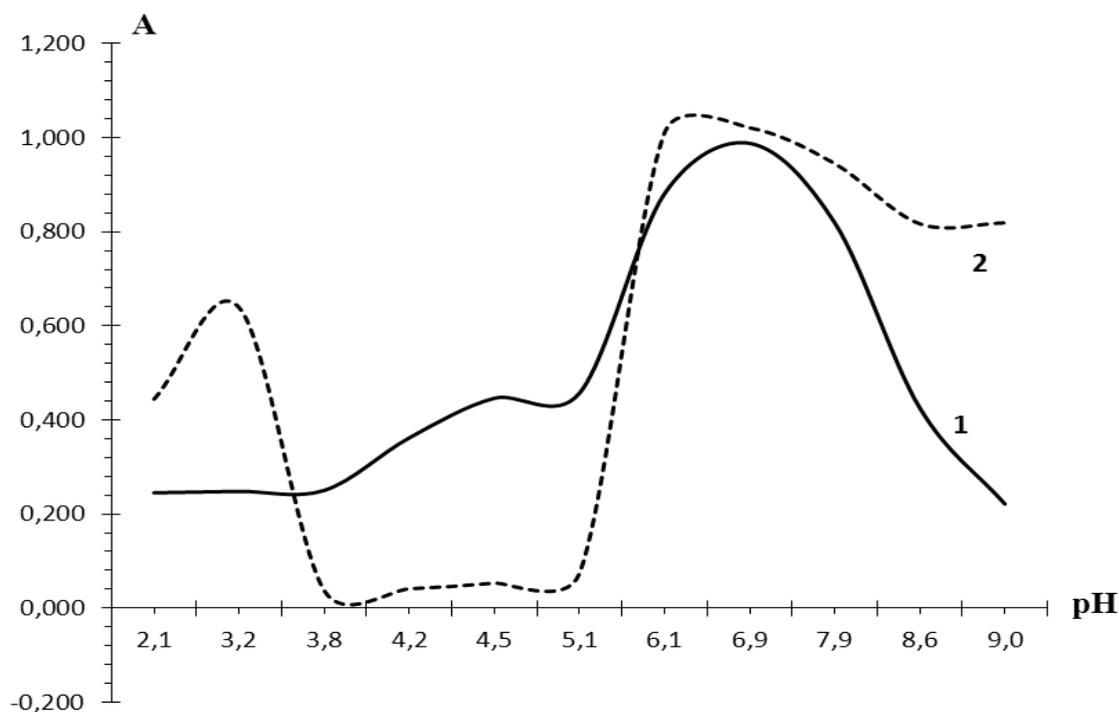
М	Ga/M	Погрешность при pH 4,5, %	Погрешность при pH 6,9, %	Погрешность при экстракции, % (pH=4,5)
Mg(II)	1 : 63	-9,6	13,1	8,3
Zn(II)	1 : 169	1,2	-24,2	1,6
Cd(II)	1 : 13	1,6	12,1	3,7
Co(II)	1 : 15	0	14,9	2,1
Pb(II)	1 : 259	3,2	1,0	1,4
Sc(III)	1 : 6	3,4	-57,0	23,2
La(III)	1 : 54	2,8	-70,6	21,0
Ni(II)	1 : 26	6,3	-78,2	4,2
Zr(IV)	1 : 13	14,9	-87,0	98,2
Al(III)	1 : 2,1	12,6	58,5	3,7
In(III)	1 : 0,6	29,8	70,8	24,5

Взаимодействие галлия с ПКФ в системе вода – оксифос Б – хлорид натрия

На кривой зависимости величины оптической плотности комплекса галлия с ПКФ в присутствии больших количеств оксифоса Б ($4,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л), снятой на фоне реагента от кислотности среды, наблюдается два максимума при pH 3,2 и 6–7 (см. рисунок).

При введении небольших концентраций оксифоса Б (до $9 \cdot 10^{-5}$ моль/л) при pH 4,5 оптическая плотность раствора комплекса возрастает, при дальнейшем увеличении концентрации ПАВ – уменьшается. Иная картина наблюдается при pH 6,9 – оптическая плотность раствора комплекса

растет с увеличением концентрации ПАВ. При pH 3,2 добавление небольших количеств оксифоса Б (до 10^{-5} моль/л) приводит к незначительному росту оптической плотности. Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ (до 10^{-3} моль/л) оптическую плотность уменьшает. Однако, при введении больших избытков оксифоса Б (более 10^{-2} моль/л) наблюдается значительный рост оптической плотности растворов комплексов (в 3 раза по сравнению с двойным комплексом). Кроме этого при введении оксифоса Б наблюдается гипсохромный сдвиг максимума светопоглощения комплекса.



Зависимость оптической плотности комплексов галлия с ПКФ в двойной системе (1) и в присутствии оксифоса Б (2) от pH (на фоне ПКФ) ($C_{\text{ПКФ}}=6,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{Ga}}=2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{ПАВ}}=4,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $l=1$ см)

Таким образом, введение оксифоса Б также положительно сказывается на спектрофотометрических характеристиках комплекса галлия с ПКФ: увеличивается оптическая плотность растворов комплексов и их яркость.

Взаимодействие галлия с ПКФ в системе вода – синтанол АЛМ-10 – сульфат аммония

При pH ~ 5 комплекс галлия с ПКФ количественно извлекается в системе вода – синтанол АЛМ-10 – сульфат аммония. Об этом свидетельствует изменение окраски экстракта в присутствии галлия с коричневой (окраска экстракта реагента) на сине-зеленую. Водная фаза – прозрачный бледно-желтый раствор.

Снятые при pH 4,5 спектры светопоглощения ПКФ и его комплексов с галлием показали, что введение ПАВ практически не сказывается на оптических характеристиках красителя. Максимум светопоглощения находится при 430 нм. Небольшие количества синтанола АЛМ-10 приводят к незначительному батохромному сдвигу

максимума светопоглощения и небольшому уменьшению оптической плотности комплекса галлия с ПКФ. Введение высоких концентраций ПАВ (0,1 моль/л ПАВ) негативно сказывается на комплексообразовании – возрастает светопоглощение в области поглощения красителя и существенно уменьшается оптическая плотность комплекса.

Исследование спектральных характеристик растворов экстрактов показало, что сдвига максимумов светопоглощения красителя ($\lambda_{\text{max}}=430$ нм) и его комплексов с галлием ($\lambda_{\text{max}}=580$ нм) не наблюдается. При этом оптическая плотность экстрактов ПКФ остается такой же, как и в водных растворах, что говорит о количественном извлечении красителя в системе. Экстракция комплекса тоже происходит количественно. Об этом свидетельствуют одинаковые значения оптической плотности комплексов в водных растворах в присутствии 0,1 моль/л ПАВ и в экстрактах. Однако светопоглощение двойных комплексов ПКФ – Ga выше, чем в присутствии син-

танолола АЛМ-10 (0,34 – экстракт, 0,52 – водный раствор).

Не наблюдается положительного эффекта при введении синтанолола АЛМ-10 при комплексообразовании ПКФ с галлием и при рН 5,1. В присутствии 0,1 моль/л концентрации синтанолола АЛМ-10 наблюдается уменьшение оптической плотности.

При рН 6,9 введение ПАВ незначительно увеличивает светопоглощение ПКФ, не меняя значения λ_{\max} (430 нм). Оптическая плотность комплексов с увеличением концентрации ПАВ сначала незначительно увеличивается, а при концентрации ПАВ 0,1 моль/л – немного уменьшается. Сдвига максимумов светопоглощения комплексов с галлием с ПКФ (580 нм) не наблюдается. Оптическая плотность растворов экстрактов комплексов ПКФ с галлием несколько ниже, чем в водных растворах при этой же концентрации ПАВ.

Выводы

Сравнительный анализ влияния ПАВ различного типа на комплексообразование галлия с ПКФ показал, что положительный эффект достигается при введении ионных ПАВ, введение НПАВ не дает подобного результата. Значительные батохромные сдвиги и рост значений оптической плотности растворов комплексов наблюдаются только в присутствии КПАВ.

Библиографический список

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., Головкина А.В., Кудряшова О.С. и др. Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – полиэтиленгликолевые эфиры моноэтаноламидов синтетических жирных кислот – хлорид аммония // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 8. С. 1200–1204.
3. Кудряшова О.С., Денисова С.А., Попова М.А. и др. Фазовые равновесия в системах вода – сульфаты щелочных металлов или аммония – синтанол // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 2. С. 286–289.
4. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Влияние природы аниона высаливателя на расслаивание в системах соль калия – бис-(алкилполиоксиэтилен)фосфат калия – вода // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 10. С. 1491–1496.
5. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – сульфонол – неорганическая кислота и вода – додецилсульфат натрия – неорганическая кислота // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 10. С. 1458–1464.
6. Tagashira S., Ichimaru T., Nozaki K. et al. 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. Кудряшова О.С., Бортник К.А., Чухланцева Е.Ю. и др. Растворимость в системах вода – катамин-АБ – хлориды щелочных металлов или аммония // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 2. С. 290–293.
8. Dobashi Y., Murakami Y., Fujiwara I. et al. The separation of platinum(II) and palladium(II) by surfactant gel extraction (part II) // Solvent extraction research and development – Japan. 2009. Vol. 16. P. 133–138.
9. Teng H., Li N., Zhu X. et al. Extraction separation of BSA in aqueous two-phase systems of anionic and cationic surfactant mixtures // Journal of dispersion science and technology. 2011. Vol. 32, № 6. P. 828–833.

10. Денисова С.А., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. и др. Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающейся системе вода – калий бис-(алкилполиоксиэтилен) фосфат – сульфат аммония // Журнал неорганической химии. 2015. Т. 60, № 8. С. 1124–1128.
11. Леснов А.Е., Денисова С.А., Чухланцева Е.Ю. и др. 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.
12. Tagashira S., Kimoto S., Nozaki K. et al. Surfactant gel extraction of gold(III), palladium(II), platinum(II) and lead(II) thiourea complexes // Analytical sciences. 2009. Vol. 25. №5. P. 723–726.
13. Денисова С.А., Леснов А.Е., Чухланцева Е.Ю. Экстракция фотометрических реагентов в системе вода – катамин АБ – хлорид натрия // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2013. Вып. 1 (9). С. 47–54.
14. Пилипенко А.Т., Тананайко М.М. Разнолигандные и разнометалльные комплексы и их применение в аналитической химии М.: Химия, 1983. С. 101.
15. Саввин С.Б., Маров И.Н., Чернова Р.К. и др. Электростатические и гидрофобные эффекты при образовании ассоциатов органических реагентов с катионными ПАВ // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 5. С. 850.
16. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В. и др. О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ в системах реагент – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473.
17. Пилипенко А.Т., Мацибура Г.С., Терлецкая А.В. Спектрофотометрическое определение серебра тиокетоном Михлера в присутствии анионных ПАВ // Журнал аналитической химии. 1986. Т. 41, № 5. С. 829.
18. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. 480 с.
19. Иванов В.М., Кочелаева Г.А. ПКФ в спектрофотометрических и новых оптических методах // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 3. С. 283.
20. Тихонов В.Н., Бахтина В.В. Комплексообразование алюминия, галлия и индия с пирокатехиновым фиолетовым // Журнал аналитической химии. 1984. Т. 34, № 12. С. 2126.
21. Тихонов В.А., Павлова О.К. Трехкомпонентные комплексы алюминия, галлия, индия, скандия, тория с пирокатехиновым фиолетовым и цетилтриметиламмонием // Журнал аналитической химии. 1982. Т. 37, № 10. С. 1809–1815.
22. Ганаго Л.И., Ищенко Н.Н. Изучение разнолигандных комплексных соединений галлия и индия с хромофорными реагентами трифенилметанового ряда и бромидом цетилпиридиния // Журнал аналитической химии. 1982. Т. 37, № 9. С. 1636.
23. Коломиец Л.Л., Лысенко О.В., Пятницкий И.В. Экстракция комплексов галлия и алюминия с ПКФ хлороформными растворами капроновой и пропионовой кислот // Журнал аналитической химии. 1988. Т. 43, № 10. С. 1773.
24. Поверхностно-активные вещества: справочник / под ред. А.А. Абрамзона и Г.М. Гаевского. Л.: Химия, 1979. 376 с.

References:

1. Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2014), "Surfactant gel extraction", Bulletin of Perm University. Series "Chemistry", no. 1 (13). pp. 79–93. (In Russ.).
2. Lesnov A.E., Golovkina A.V., Kudryashova O.S., Denisova S.A. Phase and extraction equilibria in water – polyethelene glycol ethers of

- monoethanolamides of synthetic acid – ammonium chloride systems // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2016. V. 90, N. 8, P. 1585–1589.
3. Kudryashova O.S., Denisova S.A., Popova M.A., Lesnov A.E. Phase Equilibria in the Water – Alkali Metal or Ammonium Sulfate – Synthanol Systems // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2013. V. 58, N. 2. P. 246–249.
 4. Elokhov A.M., Lesnov A.E., Kudryashova O.S. Effect of the Salting-Out Agent Anion Nature on the Phase Separation of a Potassium Salt–Potassium Bis(alkyl polyoxyethylene)phosphate–Water Systems // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2016. V. 90, N. 10. P. 1972–1977.
 5. Zabolotnykh S.A., Lesnov A.E., Denisova S.A. Phase and Extraction Equilibria in H₂O – Sulfonol – HCl (H₂SO₄) and H₂O – Sodium Dodecyl Sulfate – HCl (H₂SO₄) Systems // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2016. V. 90, N. 10. P. 1942–1947.
 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. V. 20. P. 39–52.
 7. Kudryashova O.S., Bortnik K.A., Chukhlantseva E.Yu., Denisova S.A., Lesnov A.E. Solubility in the Water – Catamine AB – (Alkali Metal or Ammonium Chloride) Systems // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2013. V. 58, N. 2. P. 250–252.
 8. Dobashi Y., Murakami Y., Fujiwara I., Abe N., Tagashira S. The separation of platinum(II) and palladium(II) by surfactant gel extraction (part II) // Solvent extraction research and development – Japan. 2009 V. 16. P. 133–138.
 9. Teng H., Li N., Zhu X., Chen Y. Extraction separation of BSA in aqueous two-phase systems of anionic and cationic surfactant mixtures // Journal of dispersion science and technology. 2011. V. 32. Is. 6. P. 828–833.
 10. Denisova S.A., Lesnov A.E., Kudryashova O.S., Ostanina N.N. Extraction of metal thiocyanate complexes in a water – potassium bis (alkylpolyoxyethylene) phosphate – ammonium sulfate segregating system // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2015. V. 60. N. 8. P. 1022–1026.
 11. Lesnov, A.E., Denisova, S.A., Chukhlantseva E.Yu., Zabolotnykh S.A., Ostanina, N.N. Surfactant gel extraction of metal tiocianat complex in segregating "water – catamine AB – potassium chloride" and "water – oxifos B – ammonium sulfate" systems // Chemistry for Sustainable Development. 2015. V.23, N. 4. pp. 361–366. (In Russ.).
 12. Tagashira S., Kimoto S., Nozaki K., Murakami Y. Surfactant gel extraction of gold(III), palladium(II), platinum(II) and lead(II) as thiourea-complexes // Analytical sciences. 2009. V. 25. Is. 5. P. 723–726.
 13. Denisova S.A., Lesnov A.E., Kudryashova O.S. Extraction of photometric reagents in water – catamine AB – sodium chloride system // Bulletin of Perm University. Series "Chemistry", 2013. N 1 (9). pp. 47–54. (InRuss.).
 14. Pylypenko A.T., Tananayko M.M. Different ligand and mental complexes and their application in analytical chemistry. M.: Chimiya, 1983. 101 p. (In Russ.).
 15. Savvin S.B., Marov I.N., Chernova R.K., Shtykov S.N., Sokolov A.B. The electrostatic and hydrophobic effects in the formation of associates of organic reagents with cationic surfactants // J. analyt. chemistry. 1981. V. 36, N 5. P. 850.
 16. Savvin S.B., Chernova R.K., Belousova V.V., Sukhova L.K., Shtykov S.N. On the mechanism of action of cationic surfactants in the reagent – metal ion – surfactant systems // J. analyt. chemistry. 1978. V. 33. N 8. P. 1473.

17. Pylypenko A.T., Matsibura G.S., Terletskaia A.V. Spectrophotometric determination of silver by thioketone Michler in the presence of anionic surfactants // J. analyt. chemistry. 1986. V. 41. N 5. P. 829.
18. Lure Yu.Yu. Guide to the analytical chemistry. M.: Khimiya, 1979. 480 p. (In Russ.).
19. Ivanov V.M., Kochelayeva G.A. Pyrocatechol violet in spectrophotometric and novel optical methods // Russian Chemical Reviews. 2006. V. 75. N 3. P. 255–266.
20. Tikhonov V.N., Bakhtin V.V. The complexation of aluminum, gallium and indium with pyrocatechol violet // J. analyt. chemistry. 1984. V. 34. N 12. P. 2126. (In Russ.).
21. Tikhonov V.A., Pavlova O.K. Ternary complexes of aluminum, gallium, indium, scandium, thorium with pyrocatechol violet and cetyltrimethylammonium // J. analyt. chemistry. 1982. V. 37. N 10. P. 1809–1815. (In Russ.).
22. Ganago L.I., Ishchenko N.N. The study of mixed-ligand complexes of gallium and indium with chromophore reagents of triphenylmethane series and cetylpyridinium bromide // J. analyt. chemistry. 1982. V. 37. N 9. P. 1636. (In Russ.).
23. Kolomiets L.L., Lysenko O.V., Pyatnitskii I.V. Extraction of gallium and aluminum complexes with pyrocatechol violet by chloroform solution of hexanoic and propionic acid // J. analyt. chemistry. 1988. V. 43. N 10. P. 1773. (In Russ.).
24. Surfactants: Directory / Edit. A.A. Abramzon and G.M. Gaevoy. L.: Khimiya, 1979. 376 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 21.12.2016 г.

Об авторах

Леснов Андрей Евгеньевич,
доктор химических наук
ФГБОУ ВО «Пермская государственная
сельскохозяйственная академия»
614000. Пермь, ул. Петропавловская, 23

Денисова Светлана Александровна,
кандидат химических наук,
доцент кафедры аналитической химии
ФГБОУ ВО "Пермский государственный
национальный исследовательский универси-
тет"
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

About the Authors

Lesnov Andrey Evgenevich,
Doctor of Chemical Sciences
Perm State Agricultural Academy,
614000. Perm, Petropavlovskaya st., 23

Denisova Svetlana Aleksandrovna,
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor, Department of Analytical
Chemistry
Perm State University
614990, Perm, Bukireva st., 15.

Информация для цитирования:

Денисова С.А., Леснов А.Е. Комплексообразование и гель-экстракция галлия с пирокатехиновым фиолетовым в расслаивающихся системах вода – ПАВ – неорганический высаливатель // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2017. Т. 7, Вып. 1. С. 39–48. DOI: 10.17072/2223-1838-2017-1-39-48.

Denisova S.A., Lesnov A.E. *Kompleksoobrazovanie i gel'-ekstraktsiya galliya s pirokatekhinovyim fioletovyim v rasslaivayushchikhsya sistemakh voda – pav – neorganicheskiy vysalivatel'* [Complexing and gel extraction of gallium with pyrocatechol violet in stratifying system water – surfactant – inorganic salting-out agent] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2017. Vol. 7. № 1. P. 39–48 (In Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2017-1-39-48.