

УДК 543.054, 661.185.223.513, 546.65

DOI 10.17072/2223-1838-2021-4-234-243

С.А. Заболотных<sup>1</sup>, С.А. Денисова<sup>2</sup>, Р.Р. Наговицын<sup>2</sup><sup>1</sup>«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия**ОСАЖДЕНИЕ ИОНОВ La(III), Sm(III) И Tb(III) АНИОНОГЕННЫМ ПАВ  
АЛКИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТОЙ**

*Изучен процесс осаждения ионов  $La^{3+}$ ,  $Sm^{3+}$  и  $Tb^{3+}$  анионным ПАВ алкилбензолсульфокислотой при различных концентрациях и соотношениях компонентов. Рассмотрено влияние на осаждение кислотности среды и времени перемешивания. Полученные осадки ионов редкоземельных элементов с алкилбензолсульфокислотой изучены термогравиметрическим, элементным и химическим методами анализа, установлен их состав. Рассчитаны условные произведения растворимости образующихся осадков. Установлены оптимальные условия осаждения ионов лантана (III), самария (III) и тербия (III) с алкилбензолсульфокислотой из водных растворов.*

**Ключевые слова:** алкилбензолсульфокислота, лантан, самарий, тербий, осаждение.

*Поступила в редакцию 15.11.2021; после доработки 24.11.2021; принята к публикации 24.11.2021*

S.A. Zabolotnykh, S.A. Denisova<sup>2</sup>, R.R. Nagovitsyn<sup>2</sup><sup>1</sup>«Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Perm, Russia<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia**PRECIPITATION OF La (III), Sm (III) AND Tb (III) IONS BY ANIONOGENIC SURFACTANT  
ALKYBENZENESULFONIC ACID**

*The process of precipitation of  $La^{3+}$ ,  $Sm^{3+}$  and  $Tb^{3+}$  ions by anionic surfactant alkylbenzenesulfonic acid at various concentrations and ratios of components has been studied. The influence of the medium acidity and mixing time on the precipitation is considered. The resulting precipitates of rare earth elements ions with alkylbenzenesulfonic acid were studied by thermogravimetric, elemental and chemical analysis, and their composition was established. The conditional solubility products of the formed precipitates have been calculated. The optimal conditions for the precipitation of lanthanum (III), samarium (III) and terbium (III) ions with alkylbenzenesulfonic acid from aqueous solutions have been established.*

**Key words:** alkylbenzenesulfonic acid, lanthanum, samarium, terbium, precipitation.

*Received 15.11.2021; revised 24.11.2021; accepted 24.11.2021*

©Заболотных С.А., Денисова С.А, Наговицын Р.Р., 2021



Данная статья распространяется на условиях лицензии  
[Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Редкоземельные металлы (РЗМ) и их соединения приобретают все большее значение для современных технологий. Большие количества РЗМ в виде смеси оксидов применяются в металлургической, стекольной и керамической отраслях промышленности. В виде индивидуальных соединений наиболее часто используют церий, неодим, самарий, европий и гадолиний. Оксид церия применяют при полировке стекол, зеркал; самарий – в производстве сверхмощных постоянных магнитов и лазеров, термоэлектрических и тензочувствительных материалов; гольмий и эрбий – в ядерной промышленности [1]. Введение редкоземельных металлов в состав выпускаемых продуктов совершенно меняет их свойства.

Анализ основных видов российского минерального сырья, которое используется или может рассматриваться в качестве источника для производства РЗМ, показал, что для развития отечественной редкоземельной промышленности более целесообразно не освоение новых месторождений, а попутное извлечение РЗМ из уже перерабатываемых руд [2]. В связи с этим становится актуальной проблема поиска новых методов извлечения РЗМ из перерабатываемого сырья. Для производства концентратов, содержащих 60–70 % смешанных РЗМ, для их разделения и очистки от примесей применяют осадительные методы, селективное окисление или восстановление, ионообменную сорбцию и жидкостную экстракцию. Одним из наиболее перспективных методов для извлечения и разделения ионов редкоземельных металлов считается ионная флотация. Достоинствами ее являются: эффективность при относительно низких концентрациях извлекаемого металла, высокая скорость процесса, экологи-

ческая безопасность. Ионная флотация является полупромышленным методом выделения редкоземельных металлов из относительно бедных растворов (10–100 мг/л РЗМ) с целью извлечения основного металла и элементов-спутников, которые присутствуют в руде в небольших количествах.

Поскольку лантаноиды в растворах находятся преимущественно в катионной форме, то в качестве реагента для флотации выбирают анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ), образующие малорастворимые комплексы с ионами металлов [3–5]. Наиболее подробно изученным собирателем для ионной флотации РЗМ является додецилсульфат натрия [6–11]. Флотацию осуществляют при  $pH > 5,5$ , т.е. в условиях, близких к началу осаждения РЗМ в виде гидроксидов. Если исследуемый раствор изначально имеет кислую или сильноокислую среду, то требуется предварительная нейтрализация растворов, так как в этом случае додецилсульфат натрия практически не осаждает лантаниды.

С целью расширения перечня реагентов, применяемых в ионной флотации редкоземельных элементов, предложено использовать промышленно-выпускаемое анионогенное поверхностно-активное вещество – алкилбензолсульфокилоту. Она обладает рядом достоинств: представляет собой жидкость, хорошо смешивающуюся с водой, дает устойчивую пену, образует осадки с ионами металлов, а также является достаточно доступным и недорогим реагентом. В процессах разделения и концентрирования алкилбензолсульфокилота применяется в качестве компонента расслаивающихся систем для экстракции [12, 13], как модифицирующая добавка в обогатительной

флотации [14]. Для установления возможности ее применения в качестве собирателя для ионной флотации РЗМ предварительно изучены процессы осаждения ею ионов лантана (III), самария (III) и тербия (III).

#### Экспериментальная часть

В работе использовано анионогенное поверхностно-активное вещество алкилбензолсульфокислота (АБСК, общая формула  $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3H$ , где  $n = 10-14$ , средняя молекулярная масса 320,9 г/моль, ТУ 2481-026-05766480-2006, содержание основного вещества 96,8%). Раствор АБСК с концентрацией 0,1 моль/л готовили растворением навески ПАВ в дистиллированной воде, растворы 0,01 и 0,001 моль/л – разбавлением концентрированного раствора. Точное содержание АБСК определяли потенциометрическим титрованием с NaOH и спектрофотометрически в УФ области [15].

Для приготовления растворов ионов РЗМ использовали нитраты La(III), Sm(III) и Tb(III) квалификации «ч.д.а.». Раствор с концентрацией соли металла 0,1 моль/л готовили растворением точной навески соли. Растворы с меньшим содержанием металла готовили соответствующим разбавлением концентрированного раствора. Точную концентрацию ионов РЗМ устанавливали комплексонометрическим титрованием с ксиленоловым оранжевым [16] или спектрофотометрически с АрсеназоIII [17].

Полученные осадки ионов РЗМ с АБСК высушивали на воздухе до постоянной массы. Термогравиметрический анализ осадков проводили на термоанализаторе TGA/DSC 1 (Mettler Toledo). Элементный анализ проводи-

ли на элементном анализаторе VarioELCube (Elementar).

Для установления условного произведения растворимости в мерную колбу на 25 мл вносили 2,5 мл 0,1 моль/л раствора лантанида, 7,5 мл 0,1 моль/л раствора АБСК, доводили объем до метки дистиллированной водой и выдерживали в течение 3 мин. Осадок отделяли фильтрованием, высушивали до постоянной массы на воздухе и растворяли в этаноле. В полученном спиртовом растворе определяли содержание иона РЗМ и АБСК-аниона спектрофотометрически. В фильтрате после осаждения определяли концентрацию ионов лантанида. Содержание алкилбензолсульфоната в фильтрате рассчитывали как разность между введенным количеством и установленным в осадке. Значение условного произведения растворимости ( $PP_{усл}$ ) находили по уравнению:

$$PP_{усл} = [Ln^{3+}][ABC^-]^3,$$

где  $[Ln^{3+}]$  и  $[ABC^-]$  – концентрации иона РЗМ и алкилбензолсульфонат-иона в фильтрате, моль/л.

Изучение процесса осаждения проводили в зависимости от соотношения реактивов, их исходной концентрации, времени взаимодействия и кислотности среды.

**Влияние соотношения реагентов.** В химический стакан на 50 мл вносили 2,0 мл 0,01 моль/л раствора иона РЗМ, различные количества 0,01 моль/л раствора АБСК для создания мольных соотношений РЗМ : АБСК, равных 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:3,5; 1:4, доводили объем дистиллированной водой до 20 мл и выдерживали при постоянном перемешивании в течение 3 мин. Осадок отделяли фильтрованием через фильтр «синяя лента»,

в фильтрате определяли рН и спектрофотометрическим методом остаточное содержание ионов РЗМ.

**Влияние концентраций реагентов.** Исследования осуществляли по аналогичной методике, используя 0,1; 0,01 и 0,001 моль/л растворы компонентов. Соотношение РЗМ : АБСК поддерживали равным 1:3.

**Влияние времени взаимодействия** изучали аналогично описанному выше, выдерживая при постоянном перемешивании в течение 2, 3, 5, 8 и 10 мин 0,01 моль/л растворы реагентов при соотношении РЗМ : АБСК =1:3.

**Влияние неорганической кислоты.** В химический стакан на 50 мл вносили 2,0 мл 0,01 моль/л раствора иона РЗМ, 6,0 мл 0,01 моль/л раствора АБСК, рассчитанные ко-

личества 0,1 моль/л  $\text{HNO}_3$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , довели объем дистиллированной водой до 20 мл и выдерживали при постоянном перемешивании в течение 3 мин. Осадок отделяли фильтрованием через фильтр «синяя лента», в фильтрате определяли рН и остаточное содержание ионов РЗМ.

### Обсуждение результатов

**Анализ осадков.** Предварительными исследованиями обнаружено, что взаимодействие растворов лантана, самария и тербия с АБСК сопровождается образованием аморфных осадков белого цвета. В процессе высушивания осадки темнеют и становятся похожими на гель. Они плохо растворяются в воде, но хорошо растворимы в спирте и 1 моль/л серной кислоте.

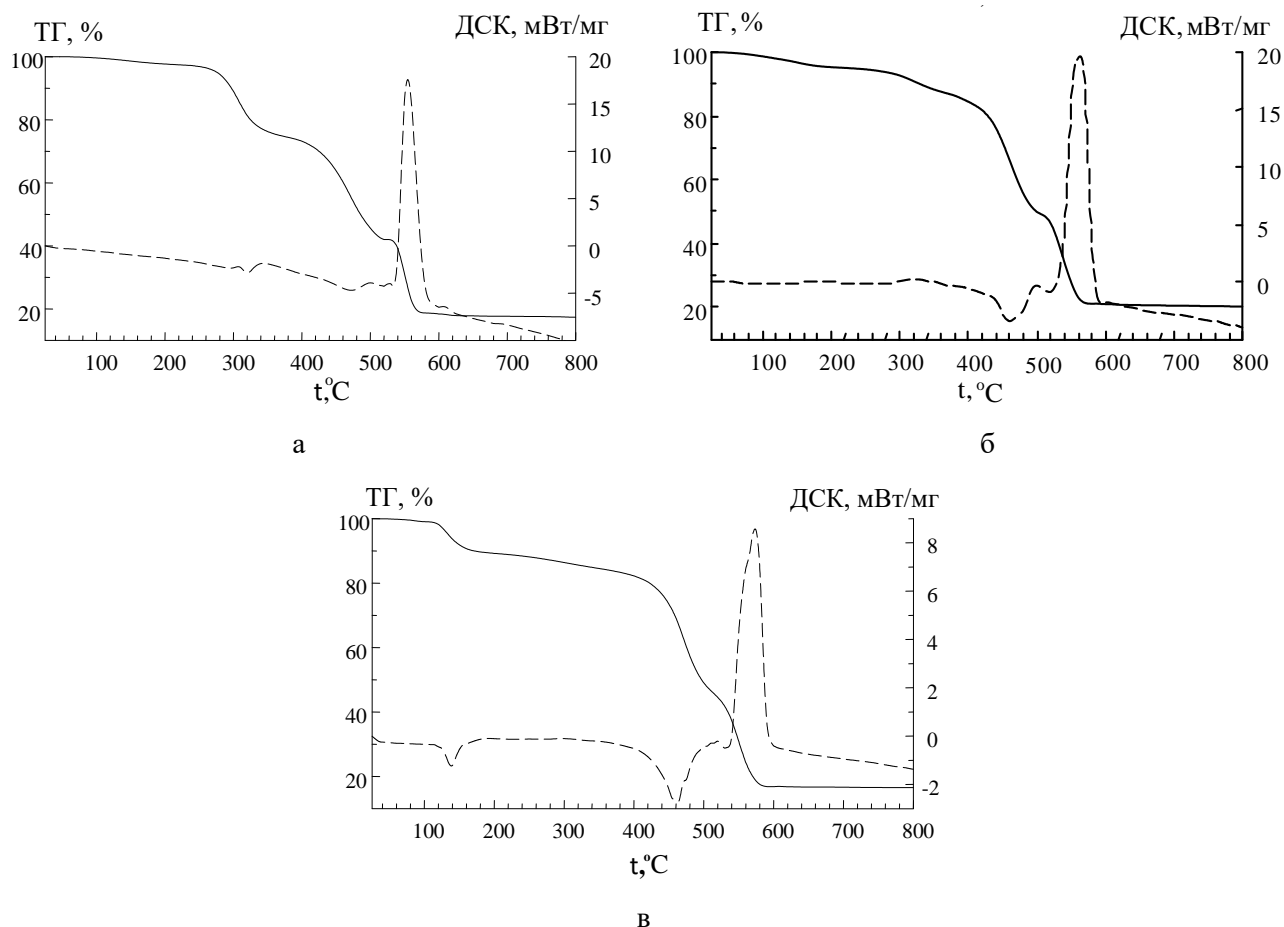


Рис. 1. Результаты термогравиметрических и калориметрических измерений термического разложения осадков La (а), Sm(б) и Tb(в) с АБСК

Осадки РЗМ с АБСК достаточно гигроскопичны, а также содержат кристаллизационную воду. При переходе от лантана к тербию удаление воды протекает легче [18, 19]. Соединения La и Sm устойчивы к нагреванию до 300°C, Tb – до 400°C (рис. 1).

В таблице 1 представлены результаты анализа полученных осадков РЗМ с алкилбензолсульфокислотой. Мольные соотношения иона металла и аниона ПАВ в соединениях для всех трех элементов получились близкими к 1:3.

Таким образом, образующиеся осадки представляют собой простые соли катиона РЗМ и трех анионов алкилбензолсульфокислоты,  $\text{Ln}(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3)_3$ . Для всех соединений рассчитаны значения условного произведения растворимости, позволяющие предварительно оценить возможность осаждения ионов РЗМ из других растворов. Вероятное уравнение реакции осаждения ионов лантанидов с АБСК можно представить следующим образом:

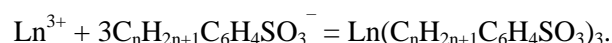


Таблица 1

Анализ состава осадков лантанидов (Ln) с алкилбензолсульфокислотой

РЗМ	Содержание	Ln	C	H	S	Ln:АБСК	PP <sub>усл</sub>
La	Расчет <sup>(1)</sup>	12,62	57,79	7,99	8,74	1:2,94	2,08·10 <sup>-11</sup>
	Эксперимент	13,38 <sup>(2)</sup> 14,15 <sup>(3)</sup>	58,74 <sup>(4)</sup>	6,06 <sup>(4)</sup>	8,60 <sup>(4)</sup>		
Sm	Расчет	13,55	57,19	7,91	8,65	1:2,86	2,87·10 <sup>-10</sup>
	Эксперимент	13,12 <sup>(2)</sup> 15,58 <sup>(3)</sup>	55,84 <sup>(4)</sup>	8,09 <sup>(4)</sup>	8,71 <sup>(4)</sup>		
Tb	Расчет	14,21	57,93	7,78	8,58	1:3,33	6,90·10 <sup>-10</sup>
	Эксперимент	13,52 <sup>(2)</sup> 12,98 <sup>(3)</sup>	54,53 <sup>(4)</sup>	8,08 <sup>(4)</sup>	8,322 <sup>(4)</sup>		

<sup>(1)</sup>молекулярную массу алкилбензолсульфонат-иона считали равной 319,9 г/моль, <sup>(2)</sup>результаты спектрофотометрического анализа, <sup>(3)</sup>результаты термогравиметрического анализа, <sup>(4)</sup>результаты элементного анализа.

Условия осаждения. В таблицах 2, 3 и 4 представлены результаты по изучению осаждения ионов La(III), Sm(III) и Tb(III) в зависи-

мости от соотношения Ln : АБСК, времени перемешивания и исходной концентрации компонентов.

Таблица 2

Зависимость степени осаждения (S, %) ионов РЗМ от мольных соотношений La : АБСК (C<sub>Ln</sub> = 0,001 моль/л, τ = 3 мин)

Ln : АБСК	La		Sm		Tb	
	pH	S, %	pH	S, %	pH	S, %
1:1	3,30	37,28	4,05	43,14	3,54	43,44
1:1,5	3,09	50,49	-	-	-	-
1:2	2,90	63,53	2,97	75,82	3,35	65,37
1:2,5	2,73	75,76	-	-	-	-
1:3	2,66	<b>89,35</b>	2,85	<b>88,18</b>	3,26	<b>87,84</b>
1:4	эмульсия		эмульсия		эмульсия	

Таблица 3

## Зависимость степени осаждения (S, %) ионов РЗМ от времени перемешивания

(Ln : АБСК = 1:3, C<sub>Ln</sub> = 0,001 моль/л)

τ, мин	La		Sm		Tb	
	pH <sub>равн</sub>	S, %	pH <sub>равн</sub>	S, %	pH <sub>равн</sub>	S, %
1	2,66	88,26	3,23	87,14	3,24	85,63
2	2,65	89,23	3,24	87,95	3,26	87,66
3	2,65	<b>89,38</b>	2,85	<b>88,20</b>	3,25	<b>87,84</b>
5	2,67	88,52	2,82	88,20	3,26	86,47

Таблица 4

## Зависимость степени осаждения (S, %) ионов РЗМ от концентраций компонентов

(Ln : АБСК = 1:3, τ = 3 мин)

C <sub>Ln</sub> , моль/л	La		Sm		Tb	
	pH	S, %	pH	S, %	pH	S, %
1·10 <sup>-2</sup>	2,29	91,53	2,11	88,90	2,25	89,56
1·10 <sup>-3</sup>	2,66	89,35	2,85	88,18	3,26	87,84
1·10 <sup>-4</sup>	4,21	63,53	4,60	52,67	4,35	61,73

Согласно полученным результатам, максимальная степень осаждения для всех изученных ионов лантанидов достигается при трехкратном избытке АБСК, большее содержание реагента приводит к образованию стойких эмульсий. При концентрации ионов РЗМ 10<sup>-4</sup> моль/л и ниже, степень осаждения существенно уменьшается за счет растворимости. Для достижения равновесия между раствором и осадком достаточно 3 мин перемешивания.

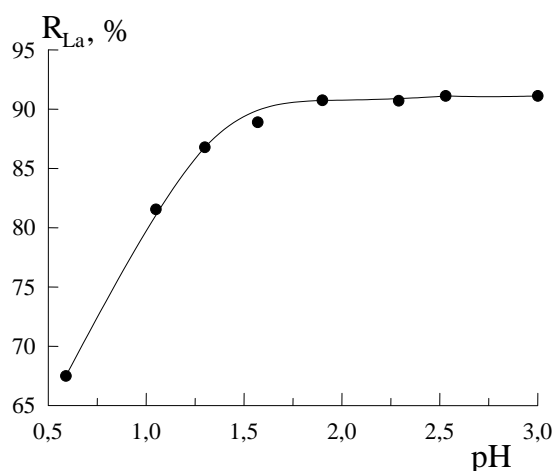


Рис. 2. Степень осаждения ионов La(III) с АБСК в присутствии HNO<sub>3</sub> (C<sub>La</sub> = 0,001 моль/л, C<sub>АБСК</sub> = 0,003 моль/л, t<sub>ос</sub> = 3 мин)

Понижение значения pH за счет введения неорганических кислот (HNO<sub>3</sub> или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) приводит к растворению осадков и образованию устойчивых эмульсий (рис. 2).

Согласно литературным данным [8] по флотации РЗМ додецилсульфатом натрия, их извлечение начинается при pH выше 5,5, в более кислой среде оно практически отсутствует. В нашем случае pH<sub>равн.</sub> фильтрата после осаждения ионов РЗМ алкилбензолсульфоокислотой при различных концентрациях и соотношениях компонентов находится в интервале pH от 2,0 до 5,4.

### Заключение

Рассмотрена возможность осаждения ионов лантана (III), самария (III) и тербия (III) с алкилбензолсульфоокислотой. Состав образующихся осадков подтвержден химическим анализом, методами термogrавиметрии и элементного анализа. Мольное соотношение РЗМ : АБСК близко к 1:3 для всех изученных

металлов. Осадки представляют собой простые соли  $\text{Ln}(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3)_3$ .

По результатам исследований установлены оптимальные условия осаждения ионов La(III), Sm(III) и Tb(III): концентрации ионов РЗМ и АБСК более  $10^{-4}$  моль/л; соотношение  $\text{Ln} : \text{АБСК} = 1 : 3$ ; pH 1,5–4,5; время осаждения – 3 мин.

Максимальная степень осаждения лантана составила 91,53 %, самария – 88,90 %, тербия – 89,56 % (из 0,01 моль/л растворов).

#### Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № АААА-А18-118032790022-7).

#### Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН. Авторы выражают благодарность Т.Е. Ощепковой за снятие дериватограмм и И.В. Плехановой за проведение элементного анализа полученных осадков.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы

1. *Lobacheva O.L., Dzhevaga N.V.* Method for Removing Valuable Components from Technogenic Solutions by the Example of Rare Earth Elements // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. V. 1679. P. 42016.
2. *Локшин Э.П., Вершкова Ю.А., Вериков А.В., Тареева О.А.* Исследование выщелачивания лантаноидов из фосфополуhydrата азотной кислотой // *Журнал прикладной химии*. 2002. Т. 75, № 11. С. 1789.
3. *Себба Ф.* Ионная флотация. М.: Metallurgy, 1965. 171 с.
4. *Григорьев А.А.* Производство флотореагентов // *Катализ и нефтехимия*. 2001. № 9–10. С. 53–59.
5. *Шубов Л.Я., Иванков С.И., Щеглова Н.К.* Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. М.: Недра, 1990. С. 5–26.
6. *Lutsky D.S., Dzhevaga N.V., Lobacheva O.L.* Extraction, Removal and Separation of Rare Earth Elements in Aqueous Solutions // *Natural and Technical Sciences*. 2019. № 4. P. 17–21.
7. *Лобачева О.Л., Чиркст Д.Э., Джевага Н.В., Бажин В.Ю.* Ионная флотация катионов цериевой группы // *Журнал прикладной химии*. 2013. Т. 86, № 12. С. 1914–1918.
8. *Чиркст Д.Э., Лобачева О.Л., Джевага Н.В.* Ионная флотация редкоземельных металлов с додецилсульфатом натрия // *Журнал прикладной химии*. 2011. Т. 84, № 9. С. 1424–1430.
9. *Чиркст Д.Э., Лобачева О.Л., Джевага Н.В.* Ионная флотация лантана (III) и гольмия (III) из нитратных и нитратно-хлоридных сред // *Журнал прикладной химии*. 2012. Т. 85, № 1. С. 28–31.
10. *Чиркст Д.Э., Лобачева О.Л., Берлинский П.В., Джевага Н.В.* Влияние хлоридов на ионную флотацию церия (III) и самария (III) // *Журнал прикладной химии*. 2011. Т. 84, № 2. С. 345–348.
11. *Берлинский И.В., Лобачева О.Л., Луцкий Д.С.* Определение термодинамических характеристик ионной флотации Ce(III), Eu(III), Sm(III) из водных растворов // *Естественные и технические науки*. 2018. Т. 118, № 4. С. 14–18.
12. *Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А.* Гель-экстракция ионов металлов диан-

- типирилалканами в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфокислоты // Вода: химия и экология. 2017. № 1. С. 73–79.
13. Заболотных С.А., Желнина В.О., Денисова С.А., Елохов А.М., Леснов А.Е. Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензолсульфокислота для экстракции ионов металлов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2017. Т. 10, № 4. С. 536–544.
14. Брыляков Ю.Е., Быков М.Е., Кострова М.А., Паламарчук Г.К. Применение алкилбензолсульфокислоты при флотации апатита из руд Хибинского месторождения // Обогащение руд. 2003. № 5. С. 19–21.
15. Заболотных С.А., Денисова С.А. Определение алкилбензолсульфокислоты в водных растворах // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2021. Т. 11, № 1. С. 17–29.
16. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 359 с.
17. Заболотных С.А., Денисова С.А. Спектрофотометрическое определение лантана (III) с арсеназо III в присутствии алкилбензолсульфокислоты // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2020. Т. 10, № 3. С. 268–276.
18. Кочедыков В.А., Закирьянова И.Д., Корзун И.В. Исследование термического разложения продуктов взаимодействия оксидов РЗЭ с компонентами атмосферы воздуха // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9, № 1. С. 58–63.
19. Козловская И.Ю., Марцунь В.Н. Выделение лантана из отработанного катализатора крекинга углеводородов нефти // Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ. 2012. № 3. С. 62–65.

### References

- Lobacheva, O.L. and Dzhevaga, N.V. (2020) “Method for Removing Valuable Components from Technogenic Solutions by the Example of Rare Earth Elements”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1679, p. 42016.
- Lokshin, E.P., Vershkova, Yu.A., Vershkov, A.V. and Tareeva, O.A. (2002) “Leaching of Lanthanides from Phosphohemihydrate with Nitric Acid”, *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 75, no. 11, pp. 1753–1759.
- Sebba, F. (1965) *Ionnaya flotatsiya* [Ionic flotation], Metallurgy, Moscow, Russia. (In Russ.).
- Grigoriev, A.A. (2001) “Production of flotation reagents, *Catalysis and Petrochemistry*, no. 9–10, pp. 53–59. (In Russ.).
- Shubov, L.Ya., Ivankov, S.I. and Shcheglova, N.K. (1990) *Flotatsionnyyereagenty v protsessakh obogashcheniya mineralnogo syr'ya* [Flotation reagents in the processes of mineral processing], Nedra, Moscow, Russia. (In Russ.).
- Lutsky, D.S., Dzhevaga, N.V. and Lobacheva, O.L. (2019) “Extraction, Removal and Separation of Rare-Earth Elements in Aqueous Solutions”, *Natural and Technical Sciences*. no. 4, pp. 17–21.
- Lobacheva, O.L., Chirkst, D.E., Dzhevaga, N.V. and Bazhin, V.Yu. (2013) “Ion Flotation of Cations of Cerium Group”, *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 86, no. 12, pp. 1862–1866.
- Chirkst, D.E., Lobacheva, O.L. and Dzhevaga, N.V. (2011) “Ion Flotation of Rare-Earth Metals with Sodium Dodecyl Sulfate”, *Russian*



- Journal of Applied Chemistry*, vol. 84, no. 9, pp. 1476–1482.
9. Chirkst, D.E., Lobacheva, O.L. and Dzhevaga, N.V. (2012) “Ion Flotation of Lanthanum (III) and Holmium (III) from Nitrate and Nitrate-Chloride Media”, *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 85, no. 1, pp. 25–28.
10. Chirkst, D.E., Lobacheva, O.L., Berlinskii, I.V. and Dzhevaga, N.V. (2011) “Effect of Chlorides on Cerium (III) and Samarium (III) Ionic Flotation”, *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 84, no. 2, pp. 341–344.
11. Berlinskii, I.V., Lobacheva, O.L. and Lutsky, D.S. (2018) “Determination of Thermodynamic Characteristics of Ion Flotation of Ce (III), Eu (III), Sm (III) from Aqueous Solutions”, *Natural and Technical Sciences*, vol. 118, no. 4, pp. 14–18.
12. Zabolotnykh, S.A., Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2017) “Gel Extraction of Metal Ions by Diantiprylalkanes in Aqueous Stratified Systems Based on Alkylbenzenesulfonic Acid”, *Water Chemistry and Ecology*, no. 1, pp. 73–79. (In Russ.).
13. Zabolotnykh, S.A., Zhelnina, V.O., Denisova, S.A., Elokhov, A.M., and Lesnov A.E. (2017) “The Water – Antipyrine – Alkyl Benzene Sulfonic Acid Stratifying System to Extract Metal Ions”, *Journal of Siberian Federal University*, vol. 10, no. 4, pp. 536–544. (In Russ.).
14. Brylyakov, Yu.Ye., Bykov, M.Ye., Kostrova, M.A., and Palamarchuk, G.K. (2003) “Application of alkylbenzenesulfonic acid in flotation of the Khibini deposit apatite”, *Obogashcheniye rud*, no. 5, pp. 19–21. (In Russ.).
15. Zabolotnykh, S.A. and Denisova S.A. (2021) “Determination of Alkylbenzolsulphonic acid in aqueous solutions”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 11, no. 1, pp. 17–29. (In Russ.).
16. Schwarzenbach, G., and Flashka, G. (1970) *Kompleksonometricheskoye titrovaniye* [Complexometric titration], Khimiya, Moscow, Russia. (In Russ.).
17. Zabolotnykh, S.A., and Denisova S.A. (2020) “Spectrophotometric Determination of Lanthanum (III) with Arsenazo III in the Presence of Alkylbenzenesulfonic Acid”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 10, no. 3, pp. 268–276. (In Russ.).
18. Kochedykov, V.A., Zakiryanova, I.D. and Korzun, I.V. (2005) “Thermal Decomposition of the Rare-Earth Oxides Interaction Products with the Air Components”, *Analytics and Control*, vol. 9, no. 1, pp. 58–63. (In Russ.).
19. Kozlovskaya, I.Yu. and Martsul, V.N. (2012), “Isolation of Lanthanum from the Spent Catalyst for the Cracking of Petroleum Hydrocarbons”, *Trudy BGTU. № 3. Khimiya i tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv*, no. 3, pp. 62–65. (In Russ.).

#### Об авторах

Светлана Александровна Заболотных  
кандидат химических наук,  
научный сотрудник лаборатории органических комплексобразующих реагентов  
«Институт технической химии УрО РАН»  
614013, Пермь, ул. Академика Королева, 3.  
<https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>  
zabolotsveta@mail.ru

#### About the authors

Svetlana A. Zabolotnykh  
Candidate of Chemical Sciences,  
Researcher, Laboratory of Organic Complexing Reagents,  
«Institute of Technical Chemistry UB RAS»,  
3, Koroleva st., Perm, Russia, 614013  
<https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>  
zabolotsveta@mail.ru

Светлана Александровна Денисова  
кандидат химических наук,  
доцент кафедры аналитической химии и экс-  
пертизы  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет  
614990, г. Пермь, Букирева, 15  
<https://orcid.org/0000-0002-5229-6144>  
[sw.denisova@yandex.ru](mailto:sw.denisova@yandex.ru)

Svetlana A. Denisova  
Candidate of Chemical Sciences,  
Associate professor, Department of Analytical  
Chemistry and Expertise,  
Perm State University  
15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990  
<https://orcid.org/0000-0002-5229-6144>  
[sw.denisova@yandex.ru](mailto:sw.denisova@yandex.ru)

Роман Романович Наговицын  
студент, кафедра аналитической химии и экс-  
пертизы  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет  
614990, г. Пермь, Букирева, 15.  
[romchas1998@gmail.com](mailto:romchas1998@gmail.com)

Roman R. Nagovitsyn  
student, Department of Analytical Chemistry and  
Expertise,  
Perm State University,  
15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990  
[romchas1998@gmail.com](mailto:romchas1998@gmail.com)

**Информация для цитирования:**

Заболотных С.А., Денисова С.А., Наговицын Р.Р. Осаждение ионов La(III), Sm(III), Tb(III) анионогенным ПАВ алкилбензолсульфокислотой// Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 4. С. 234–243. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-4-234–243.

Zabolotnykh S.A., Denisova S.A., Nagovitsyn R.R. Precipitation of La (III), Sm (III) and Tb (III) ions by anionogenic surfactant alkybenzenesulfonic acid, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 234–243. (In Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2021-4-234-243.