

УДК 547-32:546.65:542.61

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2024.3.6

## ЭКСТРАГЕНТ НА ОСНОВЕ ДИЭТИЛЕНТРИАМИНА И НЕОДЕКАНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

© С. О. Бондарева

Уфимский Институт Химии, УФИЦ РАН  
Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 71.

Email: bondarevaso@anrb.ru

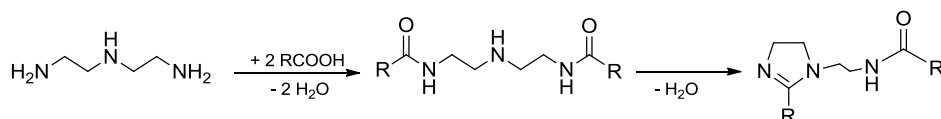
В настоящей работе показана возможность использования 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина в комбинации с его предшественником *N,N'*-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид)ом в качестве компонентов экстракционной смеси при извлечении редкоземельных металлов неodeкановой кислотой. Термической конденсацией диэтилентриамина с неodeкановой кислотой в одну стадию получен экстракционный реагент, содержащий 30–32% *N,N'*-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид)а, 35–37% 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина и 30–33% непрореагировавшей неodeкановой кислоты. Изучена экстракция эрбия(III) из нитратных растворов синтезированным реагентом (разбавитель – 15 об.% раствор *n*-деканол в толуоле). Исследовано влияние кислотности водной фазы на эффективность извлечения эрбия(III) в органическую фазу и определены коэффициенты разделения пары эрбий-иттрий.

**Ключевые слова:** диэтилентриамин, неodeкановая кислота, экстрагент, редкоземельные металлы.

### Введение

Современные схемы разделения редкоземельных металлов (РЗМ) основаны на использовании методов ионного обмена и жидкостной экстракции [1–3], при этом в некоторых технологических схемах могут применяться методы избирательного окисления или восстановления, дробной кристаллизации и дробного осаждения [2; 4]. Но основным методом разделения РЗМ на сегодняшний день является жидкостная экстракция. В промышленных экстракционных процессах используют преимущественно фосфорорганические экстрагенты: трибутилфосфат, ди-2-этилгексилфосфорная кислота, триалкилфосфиноксиды [1–2; 5–6]. Экстракцию трибутилфосфатом используют для коллективного выделения РЗМ из различных промышленных азотнокислых, нитратных и нитратно-фосфатных растворов. Более селективными экстрагентами РЗМ являются фосфорорганические кислоты, позволяющие получать высокие коэффициенты разделения соседних РЗМ, однако возникают проблемы с реэкстракцией тяжелых лантаноидов.

При извлечении РЗМ из низкоконцентрированного или вторичного сырья также применяют относительно доступные и дешевые карбоновые кислоты [1; 7–8]. По сравнению с фосфорорганическими реагентами они являются более экологичными, но менее эффективными и селективными экстрагентами РЗМ. Для повышения экстракционной способности карбоновых кислот можно использовать их в смеси с другими экстрагентами, в том числе с различными азотсодержащими основаниями [10–11]. Недавно нами был обнаружен синергетический эффект при добавлении к раствору неodeкановой кислоты 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина [12]. Имидазолин синтезировали методом термической конденсации диэтилентриамина с неodeкановой кислотой:



Основным побочным продуктом реакции является предшественник 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина – *N,N'*-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид). Попытки осуществить его циклизацию с максимальным выходом, поднимая температуру или увеличивая время синтеза, приводили к частичной деструкции и осмолению продуктов.

Однако *N,N'*-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид) при добавлении к растворам неodeкановой кислоты тоже приводит к увеличению экстракции РЗМ [13], хотя и является менее эффективной добавкой. Вероятно, не только 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолин, но и его смесь с предшественником можно использовать в качестве эффективной добавки в экстракционной системе.

Цель настоящей работы – изучение возможности использования 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина в комбинации с его предшественником *N,N'*-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид)ом в качестве компонентов экстракционной смеси при извлечении РЗМ неodeкановой кислотой.

### Экспериментальная часть

Для синтеза использовали диэтилентриамин (ОАО «Каустик», Стерлитамак), предварительно перегнанный при 59–60 °С (2 мм рт. ст.) и неодакановую кислоту (техн., ExxonMobil Chemical, США) без предварительной очистки.

Синтез, выделение и идентификация  $N,N'$ -(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононамид)а ( $L_1$ ) и 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина ( $L_2$ ) описаны ранее в [13] и [14] соответственно.

Раствор модельной смеси получали, смешивая в экстракционном разбавителе точные навески  $L_1$ ,  $L_2$  и неодакановой кислоты в мольном соотношении 0.5:0.5:2 соответственно. В экстракционных экспериментах применяли 5%-ный раствор модельной смеси в экстракционном разбавителе, содержащий 0.015 моль/л  $L_1$ , 0.015 моль/л  $L_2$ , и 0.06 моль/л неодакановой кислоты.

Реагент  $L_3$  синтезировали в атмосфере азота методом термической конденсации предварительно перегнанного при 59–60 °С (2 мм рт. ст.) диэтилентриамин (ОАО «Каустик», Стерлитамак) с неодакановой кислотой (техн., ExxonMobil Chemical, США) при мольном соотношении диэтилентриамин (1 г) и неодакановой кислоты (5.2 г) равном 1:3. Реакционную смесь перемешивали при 80–100 °С в течение 0.5 ч, затем в течение 0.5 ч нагревали до 250±5 °С и выдерживали в течение 1.5 ч с отводом паров воды, выделяющейся в процессе реакции, охлаждали до комнатной температуры. Неочищенный реагент  $L_3$  представлял собой смесь диамида  $L_1$  (30–32%), имидазолина  $L_2$  (35–37%), побочного моноамида неодакановой кислоты ( $\leq 1\%$ ) и непрореагировавшей неодакановой кислоты (30–33%). В экстракционных экспериментах применяли 3.5%-ный раствор реагента  $L_3$  в экстракционном разбавителе, содержащий примерно 0.027 моль/л  $L_1$ , 0.032 моль/л  $L_2$  и 0.061 моль/л неодакановой кислоты.

Содержание имидазолина  $L_2$  в смесевом реагенте  $L_3$  определяли методом УФ-спектроскопии по интенсивной  $\pi \rightarrow \pi^*$ -полосе поглощения в области 232–234 нм, отвечающей переходу связи C=N в имидазолиновом гетероцикле. Суммарную концентрацию  $L_1$  и  $L_2$ , а также концентрацию неодакановой кислоты определяли методом потенциометрического титрования на рН-метре ОР-211/1 с комбинированным стеклянным электродом ЭСК 10601/7 в 60%-ном водном изопропиловом спирте (фоновый электролит – 0.5 М NaClO<sub>4</sub>).

Исходный раствор нитрата Er(III) готовили, растворяя Er(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O в дистиллированной воде. Исходный раствор нитрата иттрия(III) готовили, растворяя карбонат иттрия Y<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O в растворе 1 М азотной кислоты. Необходимое значение рН задавалось введением в систему растворов NaOH или HNO<sub>3</sub>. Постоянную ионную силу полученных растворов (3.0 моль/л) поддерживали с помощью NaNO<sub>3</sub>. Все используемые реактивы соответствовали квалификации «х. ч.».

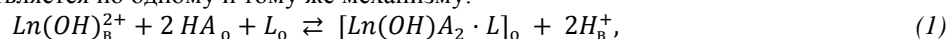
Опыты по экстракции и реэкстракции проводили в термостатируемых делительных воронках при интенсивном перемешивании, температуре 24±1 °С и равном соотношении объемов органической и водной фаз (О:В = 1:1). В качестве экстракционного разбавителя применяли толуол «х. ч.» в смеси с *n*-деканолом квалификации «ч» (15% по объему). Время контакта фаз, достаточное для установления экстракционного равновесия, составляло 5 мин [12]. Погрешность определения величины рН равновесных водных фаз не превышала 0,05. Концентрацию РЗМ(III) в исходных растворах, равновесных водных и органических фазах после реэкстракции 0.2 моль/л раствором HNO<sub>3</sub> определяли трилометрическим титрованием с индикатором ксиленоловым оранжевым. Коэффициенты распределения (D) рассчитывали как отношение концентраций РЗМ(III) в равновесных органической и водной фазах, а степень извлечения (E, %) – как  $E = [Ln]_{орг} \times 100 / [Ln]_{исх}$ . Для определения емкости органической фазы по эрбию(III) проводили трехкратное контактирование органической фазы со свежими порциями раствора, содержащего 0.03 моль/л Er(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> и 3.0 моль/л NaNO<sub>3</sub>, О:В = 1:1, при рН равновесной водной фазы 5.8–6.2. После реэкстракции определяли концентрацию Er(III) в насыщенной органической фазе.

Разделение пары Er–Y изучали на модельных растворах состава (моль/л): [Er] = 0.050±0.001, [Y] = 0.050±0.001, [NaNO<sub>3</sub>] = 3.0, [HNO<sub>3</sub>] = 0.01. При совместном присутствии РЗМ концентрацию эрбия в реэкстрактах, рафинатах и модельных растворах определяли спектрофотометрическим методом, используя полосы поглощения  $\lambda_{max} = 380$  нм и  $\lambda_{max} = 523$  нм, связанные со сверхчувствительными электронными переходами  $^4I_{15/2} \rightarrow ^4G_{11/2}$  и  $^4I_{15/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$  соответственно [15]. Электронные спектры записывали на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu).

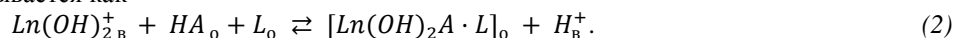
### Результаты и их обсуждение

При мольном соотношении диэтилентриамин и неодакановой кислоты, равном 1:3, образование имидазолина  $L_2$  с заметной скоростью идет при температуре 250–260 °С. Избыток неодакановой кислоты препятствует образованию нежелательного моноацилированного диэтилентриамин и способствует полной конверсии более дорогого по сравнению с неодакановой кислотой диэтилентриамин. Проблемы утилизации непрореагировавшей неодакановой кислоты не возникает, поскольку при синтезе экстрагента РЗМ целевым продуктом является не сам имидазолин, а его смесь с непрореагировавшей неодакановой кислотой в мольном соотношении имидазолин:неодакановая кислота, равном примерно 1:1. Основным побочным продуктом в данной смеси является диамида  $L_1$  (предшественник имидазолина  $L_2$ ).

Нами было установлено [12], что в присутствии как диамида  $L_1$ , так и имидазолина  $L_2$  экстракция РЗМ не-одекановой кислотой осуществляется по одному и тому же механизму:



где HA представляет не-одекановую кислоту,  $L-L_1$  или  $L_2$ , символы (в) и (о) относятся к компонентам водной и органической фаз соответственно. С ростом кислотности в водной фазе увеличивается доля частицы  $Ln(OH)_2^+$ , и механизм экстракции описывается как



С учетом уравнения (1), в котором на одну молекулу азотсодержащей добавки приходится две молекулы карбоновой кислоты, была приготовлена модельная смесь с соотношением компонентов  $L_1:L_2:HA$  равным 1:1:2. Экстракционную способность модельной смеси сравнили с ранее изученными экстракционными смесями (рис. 1), при этом концентрация не-одекановой кислоты во всех смесях была одинаковой. Как уже отмечалось, имидазолин  $L_2$  увеличивает экстракцию РЗМ более заметно, чем диамид  $L_1$ , но смесь имидазолина с диамидом (указана на графике белыми кружками) по эффективности почти не уступает имидазолиновой добавке  $L_2$ . Поскольку полученный результат можно считать удовлетворительным, экстракционные эксперименты с модельными смесями с более высоким содержанием имидазолина не проводились, а в качестве добавки к экстракционной системе с не-одекановой кислотой была выбрана смесь соединений  $L_1$  и  $L_2$  с содержанием последнего не менее 50%.

Далее был синтезирован реагент с мольным соотношением продуктов  $L_1:L_2$ , близким к 1:1. Такое соотношение  $L_1:L_2$  в реакционной смеси достигалось при взаимодействии диэтилентриамин (1–2 ммоль) с трехкратным избытком не-одекановой кислоты при 250 °С в течение 1.5–2 ч (реагент  $L_3$ ). Этот вариант синтеза проще, чем описанный в работе [14] и, несмотря на меньшие выходы имидазолина  $L_2$ , более приемлем в случае получения экстракционной добавки, поскольку время реакции сократилось в 1.5–2 раза, при этом осмоления и образования низкомолекулярных продуктов деструкции не наблюдалось. В синтезированном реагенте  $L_3$  мольное соотношение компонентов  $L_1:L_2:HA$  составляет примерно 1:1:1, что соответствует уравнению (2), в котором на одну молекулу азотсодержащей добавки приходится одна молекула карбоновой кислоты.

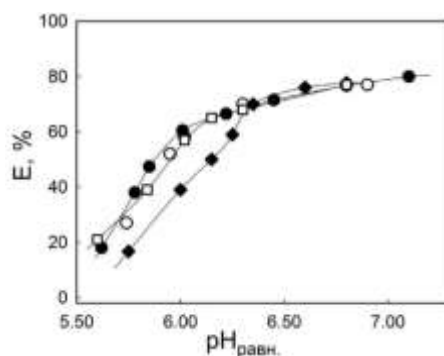


Рис. 1. Влияние кислотности равновесной водной фазы на степень извлечения эрбия(III) смесями реагентов с не-одекановой кислотой: 0.06 моль/л  $L_1$  + 0.06 моль/л HA (черные квадраты), 0.06 моль/л  $L_2$  + 0.06 моль/л HA (черные кружки), 5%-ный раствор модельной смеси (белые кружки), 3.5%-ный раствор реагента  $L_3$  (белые квадраты). Исходный раствор: 0.030 моль/л Er(III) + 3.0 моль/л  $NaNO_3$ , разбавитель – 15 об.% раствор *n*-деканола в толуоле.

Использование неочищенного реагента  $L_3$  в качестве экстракционной добавки к раствору не-одекановой кислоты (белые квадраты на рис. 1) показало, что по эффективности реагент  $L_3$  идентичен модельной смеси и практически не уступает имидазолиновой добавке  $L_2$ .

Важной характеристикой экстрагента является емкость органической фазы по извлекаемому металлу. При добавлении реагента  $L_2$  к 0.06 моль/л раствору не-одекановой кислоты емкость органической фазы по эрбию(III) увеличивается в 1.5–3 раза (табл. 1). Из данных табл. 1 видно, что при pH равновесной водной фазы  $5.8 \pm 0.1$  реагент  $L_3$  обладает такой же экстракционной емкостью, как и имидазолиновая добавка  $L_2$ . С увеличением кислотности водной фазы состав извлекаемого соединения изменяется в соответствии с уравнениями (1)–(2), что приводит к увеличению емкости органической фазы по эрбию(III), но сопровождается образованием третьей фазы. В этих условиях сравнение может быть некорректным.

Таблица 1

Влияние реагентов  $L_2$  и  $L_3$  на емкость не-одекановой кислоты в 15% растворе *n*-деканола в толуоле по эрбию(III)

Экстрагент	pH водной фазы	[Er] <sub>орг.</sub> , моль/л
0.06 моль/л HA	$6.0 \pm 0.1$	$(1.80 \pm 0.05) \times 10^{-2}$
0.06 моль/л $L_2$ + 0.06 моль/л HA [12]	$5.9 \pm 0.1$	$(2.90 \pm 0.05) \times 10^{-2}$
3.5%-ный раствор реагента $L_3$	$5.8 \pm 0.1$	$(2.95 \pm 0.05) \times 10^{-2}$
	$6.3 \pm 0.1$	$(4.25 \pm 0.05) \times 10^{-2}$

Из-за близости свойств РЗМ их разделение – сложная задача и, как правило, наибольший интерес вызывает не столько эффективность, сколько селективность потенциального экстрагента. Для экстракционного разделения лантаноидов используют экстракционные системы, в которых величины коэффициентов разделения ближайших пар элементов лежат в интервале значений от 1.6 до 3.5 [1]. Лучший результат при добавлении имидазолина L<sub>2</sub> к раствору неодакановой кислоты был получен для пары эрбий–иттрий: коэффициент разделения увеличился с  $\beta = 2.3\text{--}2.6$  [16–17] до  $\beta = 3.3$  [12]. На этой же паре лантаноидов изучалась селективность смешанных реагентов (табл. 2).

Таблица 2

Суммарное извлечение (E, %) и коэффициенты разделения пары эрбий–иттрий ( $\beta_{Er/Y}$ )

Экстрагент	pH водной фазы	E, %	$\beta_{Er/Y}$
Раствор нафтеновой кислоты (20% раствор изооктилового спирта в керосине) [16]	-	-	2.60
50% раствор неодакановой кислоты (Shellsol A) [17]	6	-	2.25
0.06 моль/л L <sub>1</sub> + 0.06 моль/л HA	6.0±0.1 6.3±0.1	23.0 28.1	3.0±0.1 3.0±0.1
0.06 моль/л L <sub>2</sub> + 0.06 моль/л HA [12]	5.5–6.0	22.5	3.3±0.2
5%-ный раствор модельной смеси	5.9±0.1 6.2±0.1	21.0 33.3	3.3±0.1 3.5±0.1
3.5%-ный раствор реагента L <sub>3</sub>	6.0±0.1 6.2±0.1 6.3±0.1	26.0 35.2 38.0	3.5±0.1 3.5±0.1 3.3±0.1

Имидазолин L<sub>2</sub>, модельная смесь и реагент L<sub>3</sub> показали идентичные результаты. Разница в соотношении компонентов в случае модельной смеси (L:HA = 1:2) и реагента L<sub>3</sub> (L:HA = 1:1) не оказала заметного влияния на разделение пары эрбий–иттрий.

### Заключение

Установлено, что смесь 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина с его предшественником N,N'-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид)ом в соотношении один к одному является эффективной добавкой при экстракции редкоземельных металлов растворами неодакановой кислоты. Термической конденсацией диэтилентриамина с неодакановой кислотой в одну стадию получен реагент, содержащий 30–32% N,N'-(иминодиэтан-2,1-диил)-ди(неононанамид)а, 35–37% 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина и 30–33% непрореагировавшей неодакановой кислоты. Синтезированный смешанный реагент является практически готовым экстрагентом и эффективно извлекает редкоземельные металлы из нитратных растворов в интервале pH 5.5–7.0. Показана принципиальная возможность применения данного реагента для разделения пары эрбий–иттрий ( $\beta = 3.5$ ).

*Спектры записаны на оборудовании ЦКП «Химия» УФИХ УФИЦ РАН.  
Работа выполнена по теме государственного задания №123011300044-5.*

### ЛИТЕРАТУРА

- Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 24-2017. Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НДТ, 2017. 202 с. [Information and technical reference book on the best available technologies. ITS 24-2017. Production of rare and rare earth metals. Moscow: Bureau NDT, 2017. 202 p.]. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://meganorm.ru/Data2/1/4293740/4293740352.pdf&ved=2ahUKewiK1anjufiFAxVGGRAlHbskDesQFnoECBEQAQ&usq=AOvVaw1NXeqzOMYdrTEkMSCvB4Rz>
- Михайличенко А. И., Михлин Е. Б., Патрикеев Ю. Б. Редкоземельные металлы. М.: Metallurgiya, 1987. 232 с. [Mikhaylichenko A. I., Mihlin E. B., Patrikeev Yu. B. Rare-Earth Metals. Moscow: Metallurgiya, 1987. 232 p.]
- Nash K. L., Mark M. P. Analytical-scale separations of the lanthanides: A review of techniques and fundamentals // Separation Science and Technology. 2001. Vol. 36. No. 5–6. P. 1257–1282.
- Патент RU 2563015 C2 (опубл. 2015). Способ выделения церия из нитратных растворов, содержащих сумму редкоземельных элементов [Patent RU 2563015 C2. 2015. Method of extraction of cerium from nitrate solutions containing sum of rare-earth elements]. <https://patents.google.com/patent/RU2563015C2/ru>
- Jha M. K., Kumari A., Panda R. et al. Review on hydrometallurgical recovery of rare earth metals // Hydrometallurgy. 2016. Vol. 161. P. 77–101.
- Туманов В. В., Стороженко П. А., Магдеев К. Д., Ширяев В. И. Экстракция иттрия, лантана и европия фосфиноксидами гексил-октилового ряда // Журн. физ. химии. 2022. Т. 96. №6. С. 911–916 [Tumanov V. V., Storozhenko P. A., Magdeev K. D., Shiryayev V. I. Extracting yttrium, lanthanum, and europium with phosphine oxides of the hexyl–octyl series // Russ. J. Phys. Chem. A. 2022. Vol. 96. No. 6. P. 328–1333].
- Deqian L. I. A review on yttrium solvent extraction chemistry and separation process // J. Rare Earths. 2017. Vol. 35. No. 2. P. 107–119.
- Singh D. K., Singh H., Mathur J. N. Extraction of rare earths and yttrium with high molecular weight carboxylic acids // Hydrometallurgy. 2006. Vol. 81. No. 3–4. P. 174–181.

9. Chirkst D. E., Litvinova T. E., Starshinova V. S., Roshchin G. S. Cerium(III) extraction with oleic acid from nitrate solutions // *Rus. J. Appl. Chem.* 2007. Vol. 80. No. 2. P. 185–188.
10. Fan S., Tian M., Song N. et al. Synergistic extraction and separation study of rare earth elements from nitrate medium by mixtures of *sec*-nonylphenoxy acetic acid and 2,2-bipyridyl // *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2011. Vol. 86. P. 719–723.
11. Matsumoto M., Yamaguchi T., Tahara Y. Extraction of rare earth metal ions with an undiluted hydrophobic pseudoprotic ionic liquid // *Metals.* 2020. Vol. 10. No. 4. P. 502.
12. Bondareva S. O., Murinov Yu. I. Synergistic solvent extraction of erbium(III) using a mixture of neodecanoic acid with 1-(2-neononylamidoethyl)-2-neononyl-2-imidazoline // *Solvent Extr. Ion Exch.* 2023. Vol. 41. No. 3. P. 317–335.
13. Бондарева С. О., Нугуманов Т. Р., Назаров И. С., Муринов Ю. И. Синтез экстрагента на основе неодекановой кислоты для концентрирования и разделения редкоземельных металлов. *Журн. прикл. химии.* 2019. Т. 92. №11. С. 1435–1440 [Bondareva S. O., Nugumanov T. R., Nazarov I. S., Murinov Yu. I. Synthesis of an extractant based on neodecanoic acid for rare earth metal preconcentration and separation // *Russ. J. Appl. Chem.* 2019. Vol. 92. No. 11. P. 1531–1536].
14. Бондарева С. О., Муринов Ю. И. Одностадийный синтез ингибитора коррозии стали 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина. *Журн. прикл. химии.* 2022. Т. 95. №2. С. 231–238 [Bondareva S. O., Murinov Yu. I. One-step synthesis of a steel corrosion inhibitor, 1-(2-neononylamidoethyl)-2-neononyl-2-imidazoline. *Rus. J. Appl. Chem.* 2022. Vol. 95. No. 2. P. 256–263].
15. Guskos N., Majszczyk J., Tyspek J. et al. Relative intensities of f-f transitions of erbium(III) ion studied by photoacoustic spectroscopy // *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2010. Vol. 23. No. 1. P. 97–101.
16. Li W., Wang X., Meng S. et al. Extraction and separation of yttrium from the rare earths with *sec*-octylphenoxy acetic acid in chloride media // *Sep. Purif. Technol.* 2007. Vol. 54. No. 2. P. 164–169.
17. Brown C. G., Sherrington L. G. J. Solvent extraction used in industrial separation of rare earths // *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 1979. Vol. 29. No. 4. P. 193–209.

*Поступила в редакцию 04.06.2024 г.*

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2024.3.6

**AN EXTRACTANT BASED ON DIETHYLENTRIAMINE AND NEODECANOIC ACID  
FOR RARE EARTH METAL EXTRACTION**© **S. O. Bondareva***Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS  
69 Oktyabrya ave., 450054 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian**Email: bondarevaso@anrb.ru*

The possibility of using a mixture of 1-(2-neononylamidoethyl)-2-neononyl-2-imidazoline:N, N'-(iminodiethane-2,2'-diyl)di(neodecanamide):neodecanoic acid (in molar ratio 1:1:2) for the rare earth metals extraction was demonstrated. A novel reagent was synthesized in one step by thermal condensation of diethylenetriamine with neodecanoic acid. The synthesized product (diethylenetriamine:neodecanoic acid molar ratio 1:3,  $T = 250 \pm 5$  °C, 1.5–2 h) was a mixture of 1-(2-neononylamidoethyl)-2-neononyl-2-imidazoline (35–37%), N, N'-(iminodiethane-2,2'-diyl)di(neodecanamide) (30–32%), and unchanged neodecanoic acid (30–33%). The solvent extraction of erbium(III), representing heavy lanthanides, from nitrate solutions has been studied using the model mixture and the synthesized reagent in toluene with 15% (v/v) of n-decanol. The effect of the aqueous phase acidity has been investigated, and the loading capacities of the mixtures for Er(III) were determined. The possibility of the separation of the Er–Y pair was demonstrated ( $\beta = 3.5$ ).

**Keywords:** diethylenetriamine, neodecanoic acid, extractant, rare earth metals.

*Received 04.06.2024.*