

# ЭКСТРАКЦИЯ ЛАНТАНИДОВ(III) БИС[N-ОКТИЛ-N-(2-ДИФЕНИЛФОСФИНИЛЭТИЛ)]АМИДОМ ДИГЛИКОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ ИЗ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ

© 2024 г. А. Н. Туранов<sup>1</sup>, В. К. Карапашев<sup>2,\*</sup>, Ж. П. Бурмий<sup>2</sup>, К. В. Царькова<sup>3</sup>,  
О. И. Артюшин<sup>4</sup>, Н. А. Бондаренко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна  
Российской академии наук, Черноголовка, 142432 Россия

<sup>2</sup> Институт проблем технологий микроэлектроники и особо чистых материалов  
Российской академии наук, Черноголовка, 142432 Россия

<sup>3</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
Москва, 123182 Россия

<sup>4</sup> Институт элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова  
Российской академии наук, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: karan@iptm.ru

Поступило в редакцию 2 ноября 2024 г.

После доработки 25 ноября 2024 г.

Принято к печати 14 декабря 2024 г.

Изучена экстракция микроликоицеств лантанидов(III) из растворов  $\text{HNO}_3$  растворами бис[N-октил-N-(2-дифенилфосфинилэтил)]амида дигликолевой кислоты  $[\text{Ph}_2\text{P}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{Oct})\text{C}(\text{O})\text{CH}_2]_2\text{O}$  в органических растворителях. Определена стехиометрия экстрагируемых комплексов, рассмотрено влияние строения экстрагента, природы органического разбавителя и состава водной фазы на эффективность и селективность извлечения ионов лантанидов(III) в органическую фазу.

**Ключевые слова:** экстракция, лантаниды(III), диамиды дигликолевой кислоты

**DOI:** 10.31857/S0044460X24110049, **EDN:** QXRCPC

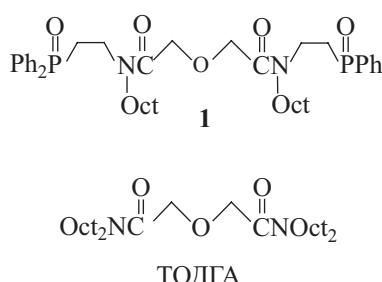
## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при выделении и разделении актинидов и лантанидов ( $\text{Ln}$ ) при глубокой переработке отработанного ядерного топлива широко используются экстракционные методы [1–5]. Высокой экстракционной способностью по отношению к  $\text{Am}(\text{III})$  и  $\text{Ln}(\text{III})$  в азотнокислых средах обладают диамиды дигликолевой кислоты (ДГА), в частности тетраоктилдигликольамид (ТОДГА) [6–16]. Достоинством этих соединений является высокая растворимость в предельных углеводородах, гидролитическая и радиолитическая устойчивость. Природа органического растворителя оказывает существенное

влияние на эффективность экстракции  $\text{Ln}(\text{III})$  и актинидов дигликольамида, а также на стехиометрию комплексов, извлекаемых в органическую фазу [7, 17]. Существенным недостатком ТОДГА является склонность его к агрегации в малополярных растворителях и образование третьей фазы при экстракции ионов металлов из азотнокислых растворов [13]. Для предотвращения этого явления используется добавка к органическому растворителю различных модификаторов, например, трибутилфосфата (ТБФ),  $\text{N},\text{N}'$ -дигексилоктанамида и других соединений [13].

Влияние строения ДГА на их экстракционную способность и селективность достаточно подробно

Схема 1.



изучено [8–12]. Установлено, что увеличение длины алкильных заместителей в молекуле ДГА приводит к существенному повышению растворимости экстрагента в органических растворителях, однако, сопровождается снижением его экстракционной способности по отношению к Am(III) и Eu(III) [7, 11]. Установлено, что при комплексообразовании с ионами Ln(III) TODGA действует как тридентатный лиганд [13–16].

С целью поиска более эффективных и селективных ДГА был синтезирован ряд полифункциональных соединений, содержащих два, три или четыре ди-гликольамидных фрагментов. В ряде случаев такие соединения проявляют более высокую экстракционную способность и селективность по сравнению с немодифицированными ДГА [18–22].

Другим путем модификации ДГА может быть введение в амидную часть его молекулы дополнительных функциональных групп, обладающих потенциальной возможностью к комплексообразованию с ионами металлов. В предыдущей работе синтезированы бис[N-алкил-N-(2-дифенилфосфинилэтил)]амиды ди-гликолевой кислоты  $[\text{Ph}_2\text{P}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{R})\text{C}(\text{O})\text{CH}_2]_2\text{O}$  ( $\text{R} = \text{Me}, \text{Bu}, \text{Oct}$ ) и изучены их спектральные характеристики [23]. Показано, по своей экстракционной способности по отношению к Ln(III) в азотнокислых средах такие соединения существенно уступают TODGA при использовании дихлорэтана в качестве органического разбавителя [24].

Поскольку диамиды, содержащие в своих молекулах  $\text{P}(\text{O})\text{Ph}_2$  группы, практически не растворяется в малополярных растворителях, в качестве растворителя может быть использован 30%-ный раствор ТБФ в *n*-додекане, широко используемый в радиохимической практике для повышения рас-

творимости фосфорорганических экстрагентов, например, карбамоилметилфосфиноксидов [25].

Цель настоящей работы – исследование влияния введения в амидную часть молекулы тетраоктилдигликольамида дополнительных координирующих групп  $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{P}(\text{O})\text{Ph}_2$  на экстракционную способность бис[N-октил-N-(2-дифенилфосфинилэтил)]амида ди-гликолевой кислоты 1 (схема 1) по отношению к ионам Ln(III) в азотнокислых средах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрено влияние природы органического растворителя на экстракцию Ln(III) диамидом 1 из азотнокислых растворов. При экстракции из растворов 3 моль/л  $\text{HNO}_3$  величины  $D_{\text{Ln}}$  возрастают в ряду хлороформ < дихлорэтан < нитробензол < октанол < смесь *n*-додекана с ТБФ (объемное отношение – 70:30) (рис. 1).

Для всех исследованных растворителей наблюдается тенденция увеличения эффективности экстракции Ln(III) диамидом 1 с увеличением их атомного номера ( $Z$ ). Это связано с увеличением устойчивости комплексов Ln(III) с жесткими (по Пирсону) лигандами по мере увеличения плотности заряда ионов  $\text{Ln}^{3+}$  вследствие уменьшения их ионных радиусов с возрастанием  $Z$  [26].

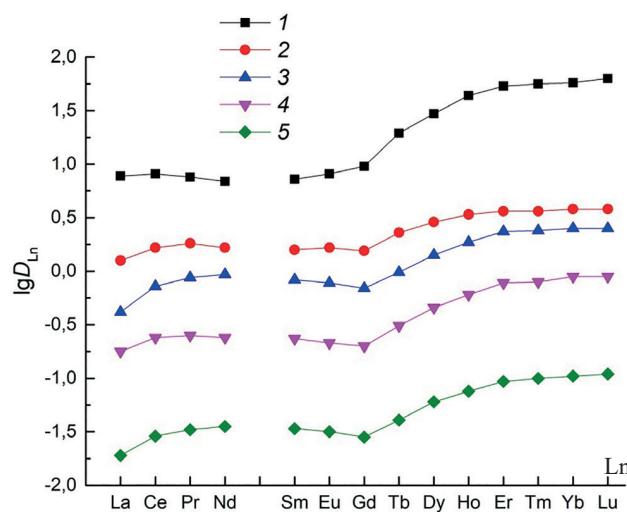


Рис. 1. Коэффициенты распределения Ln(III) при экстракции растворами 0.01 моль/л диамида 1 в *n*-додекане, содержащем 30% ТБФ (1), октаноле (2), нитробензоле (3), дихлорэтане (4) и хлороформе (5) из растворов 3 моль/л  $\text{HNO}_3$ .

Поскольку в случае использования 30%-ного раствора ТБФ в додекане в качестве растворителя наблюдается наиболее эффективная экстракция Ln(III) диамидом **1**, этот растворитель использовался в дальнейших исследованиях.

Рассмотрено влияние концентрации  $\text{HNO}_3$  в водной фазе на изменение коэффициентов распределения Ln(III) при экстракции раствором диамида **1**. При экстракции легких Ln(III) раствором диамида **1** получена зависимость  $D_{\text{Ln}} - [\text{HNO}_3]$  с максимумом (рис. 2). Такая зависимость соответствует экстракции координационно–сольватированных нитратов Ln(III) и связана с высаливающим действием ионов  $\text{NO}_3^-$  и связыванием экстрагента азотной кислотой, а также изменением коэффициентов активности нитратов Ln(III) в зависимости от концентрации  $\text{HNO}_3$  [27]. При экстракции Nd(III)–Lu(III) можно выделить два участка на кривых зависимостей  $D_{\text{Ln}} - [\text{HNO}_3]$ . На первом участке увеличение концентрации  $\text{HNO}_3$  от 0.1 до 1 моль/л сопровождается ростом  $D_{\text{Ln}}$ , а дальнейшее увеличение концентрации  $\text{HNO}_3$  до 3 моль/л приводит к некоторому снижению величин  $D_{\text{Ln}}$ . По-видимому, в интервале концентрации  $\text{HNO}_3$  от 0.1 до 3 моль/л при экстракции ионов Nd(III)–Lu(III), также как и La(III)–Pr(III), в форме координационно–сольватированных нитратов Ln(III) в комплексообразовании с ионами Ln(III) участвуют

преимущественно молекулы свободного экстрагента **1**. При  $[\text{HNO}_3] > 3$  моль/л для Nd(III)–Lu(III) наблюдается увеличение  $D_{\text{Ln}}$  с ростом концентрации  $\text{HNO}_3$ , что может быть связано с участием комплекса экстрагента с азотной кислотой в образовании экстрагируемых комплексов. Участие молекул азотной кислоты в образовании экстрагируемых комплексов отмечалось ранее при экстракции Am(III) и Eu(III) растворами ТОДГА из растворов  $\text{HNO}_3$  [9].

Характер зависимостей  $D_{\text{Ln}} - [\text{HNO}_3]$  при экстракции Ln(III) растворами диамида **1** и ТОДГА существенно отличаются. При экстракции легких Ln(III) раствором ТОДГА получена зависимость  $D_{\text{Ln}} - [\text{HNO}_3]$  с максимумом при  $[\text{HNO}_3] = 3$  моль/л (рис. 3), что соответствует экстракции этих Ln(III) по сольватному механизму в виде координационно–сольватированных нитратов. При экстракции ионов Sm(III)–Lu(III) наблюдается рост  $D_{\text{Ln}}$  с увеличением концентрации  $\text{HNO}_3$  во всем исследованном диапазоне концентраций (рис. 3). Это может быть связано с участием комплекса ТОДГА с  $\text{HNO}_3$  в образовании экстрагируемых комплексов.

Сопоставлена эффективность экстракции Ln(III) растворами диамида **1** и ТОДГА из растворов  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . При экстракции из раствора 3 моль/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  значения  $D_{\text{Ln}}$  в системе с диамидом **1** на два порядка выше, чем в системе с ТОДГА (рис. 4).

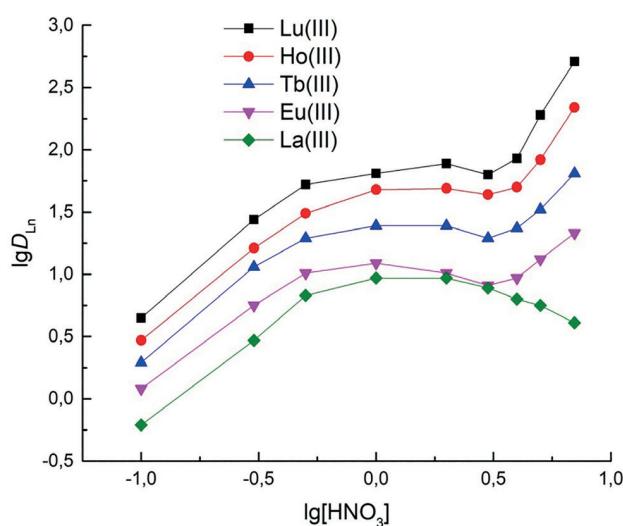


Рис. 2. Зависимость коэффициентов распределения Ln(III) от концентрации  $\text{HNO}_3$  в водной фазе при экстракции раствором 0.01 моль/л диамида **1** в *n*-додекане, содержащем 30% ТБФ.

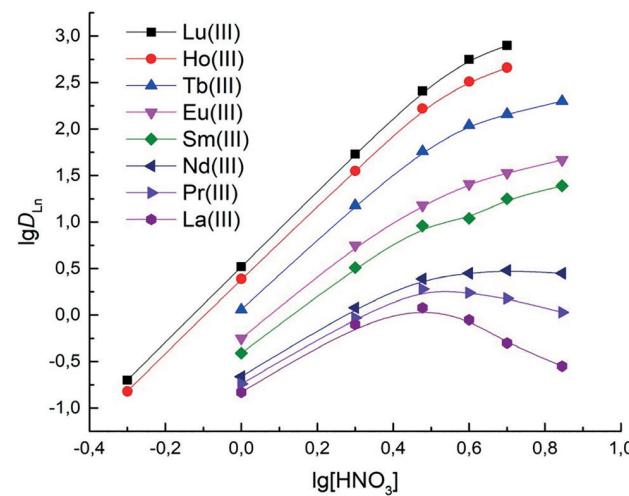
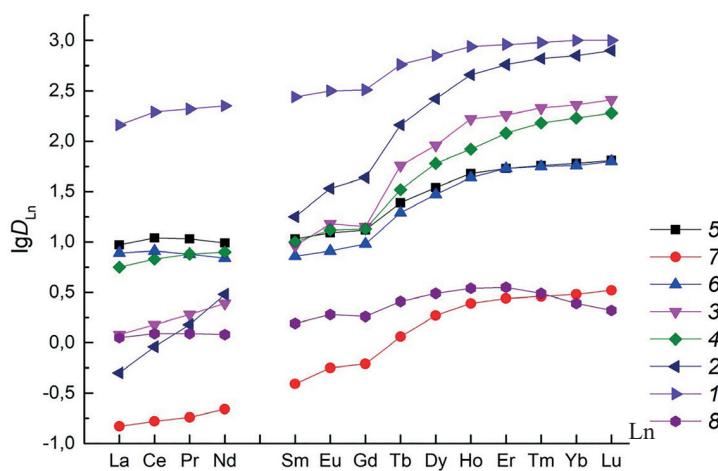


Рис. 3. Зависимость коэффициентов распределения Ln(III) от концентрации  $\text{HNO}_3$  в водной фазе при экстракции раствором 0.01 моль/л ТОДГА в *n*-додекане, содержащем 30% ТБФ.



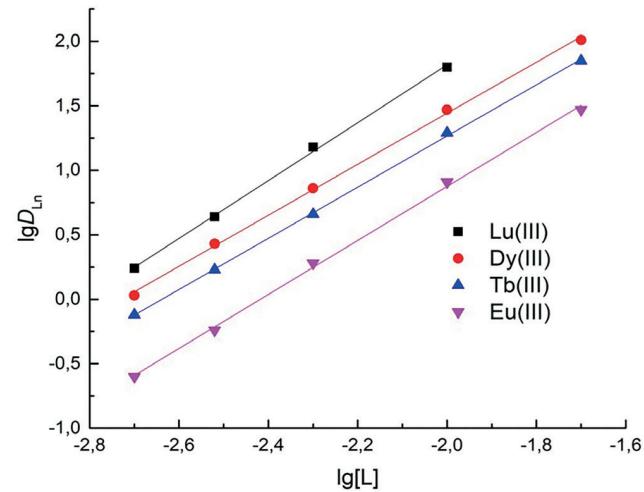
**Рис. 4.** Коэффициенты распределения Ln(III) при экстракции растворами 0.01 моль/л диамида **1** (1, 4–6) и ТОДГА (2, 3, 7, 8) в *n*-додекане, содержащем 30% ТБФ, из растворов 3 моль/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (1, 8), 1 моль/л  $\text{HNO}_3$  (5, 7), 3 моль/л  $\text{HNO}_3$  (3, 6) и 5 моль/л  $\text{HNO}_3$  (2, 4).

Можно предположить, что в процессе комплексообразования диамида **1** и ионов Lu(III) участвуют не только координирующие центры ДГА фрагмента, но и дополнительные фосфорильные группы. Для установления характера такой координации требуются дополнительные спектральные исследования.

Напротив, при экстракции из раствора 3 моль/л  $\text{HNO}_3$  только ионы La(III)–Nd(III) экстрагируются диамидом **1** с более высокими значениями  $D_{\text{Ln}}$ , чем ТОДГА, а ионы Sm(III)–Lu(III) экстрагируются диамидом **1** менее эффективно, чем ТОДГА (рис. 4). Отметим, что при экстракции раствором ТОДГА различие в экстрагируемости ионов Ln(III) из кислых и нейтральных нитратных растворов, выражаемое отношением  $D_{\text{Ln}}(\text{HNO}_3)/D_{\text{Ln}}(\text{NH}_4\text{NO}_3)$ , возрастает с увеличением кислотности водной фазы. В ряду Ln(III) величина отношения  $D_{\text{Ln}}(\text{HNO}_3)/D_{\text{Ln}}(\text{NH}_4\text{NO}_3)$  возрастает от 1.1 для La(III) до 120 для Lu(III) по мере увеличения  $Z$ . Это может быть связано с участием комплекса ТОДГА с  $\text{HNO}_3$  в образовании экстрагируемых комплексов ионов Sm(III)–Lu(III).

В области концентрации  $\text{HNO}_3$  0.1–1.5 моль/л все ионы Ln(III) экстрагируются диамидом **1** более эффективно, чем ТОДГА. В области более высокой концентрации кислоты, когда ионы Sm(III)–Lu(III) экстрагируются диамидом **1** в виде комплексов с участием молекул  $\text{HNO}_3$ , экстракционная способность

диамида **1** по отношению к этим ионам заметно ниже по сравнению с ТОДГА (рис. 4). Можно предположить, что в процессе взаимодействия комплекса диамида **1** с  $\text{HNO}_3$  и ионов Lu(III) участвуют только координирующие центры ДГА фрагмента его молекулы. Снижение донорной способности групп C=O лиганда **1** может быть следствием отрицательного индукционного эффекта групп P(O)Ph<sub>2</sub>, приводящего к снижению экстракционной способности диамида **1** в кислых средах.



**Рис. 5.** Зависимость коэффициентов распределения Ln(III) от концентрации диамида **1** в *n*-додекане, содержащем 30% ТБФ, при экстракции из раствора 3 моль/л  $\text{HNO}_3$ .

Стехиометрическое соотношение Ln(III)–диамид **1** в экстрагируемых комплексах определено методом сдвига равновесия. Полученные данные (рис. 5) показали, что диамид **1** экстрагирует ионы Ln(III) из азотнокислых растворов в форме дисольватов. Ранее было показано, что ионы Ln(III) экстрагируются растворами аналога диамида **1** – бис[N-метил-N-(2-дифенилфосфинилэтил)]амида – в дихлорэтане также в форме дисольватов [24].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, представленные данные показали, что введение в молекулу тетраоктилдигликольамида дополнительных координирующих групп  $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{P}(\text{O})\text{Ph}_2$  через амидные атомы азота приводит к увеличению экстракции Ln(III) из нейтральных и слабокислых нитратных сред при использовании смеси *n*-додекана с трибутилфосфатом в качестве растворителя.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез диамида **1** описан ранее [23]. Тетраоктилдигликольамид (ТОДГА) синтезирован по известной методике [28]. В качестве органических растворителей использовали 1,2-дихлорэтан, хлороформ, нитробензол, октанол, *n*-додекан и трибутилфосфат (Вектон) марки ХЧ или ЧДА без дополнительной очистки. Растворы экстрагентов готовили по точной навеске.

Исходные водные растворы Ln(III) готовили растворением соответствующих нитратов в воде с последующим добавлением  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  до требуемой концентрации. Исходная концентрация ионов металлов составляла  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Контакт фаз осуществляли при комнатной температуре на аппарате для перемешивания со скоростью 60 об/мин в течение 1 ч, что достаточно для установления постоянных значений коэффициентов распределения.

Концентрацию Ln(III) в исходных и равновесных водных растворах определяли методом масс-спектрометрии с ионизацией пробы в индуктивно связанной плазме (ИСП-МС) с использованием масс-спектрометра XSeries II (Thermo Scientific, США). Содержание элементов в органической фазе определяли как разницу между концентрациями до и после экстракции. Коэффициенты распределения элементов (*D*) рассчитывали как отношение их кон-

центраций в равновесных органической и водной фазах. Погрешность определения коэффициентов распределения не превышала 10%. Концентрацию  $\text{HNO}_3$  в равновесной водной фазе определяли потенциометрическим титрованием стандартным раствором NaOH.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Туранов Александр Николаевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5064-191X>

Карандашев Василий Константинович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0684-272X>

Бурмий Жанна Петровна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4195-9392>

Царькова Ксения Валерьевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-0521>

Артюшин Олег Иванович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6333-5973>

Бондаренко Наталья Александровна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6704-6957>

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Института физики твердого тела им. Ю. А. Осипьяна РАН, Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и Института элементоорганических соединений им. А. Н. Несмeyнова РАН (№ 075-00277-24-0).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Myasoedov B.F., Kalmykov S.N. // Mendeleev Commun.* 2015. Vol. 25. N 5. P. 319. doi 10.10016/j.men-com.2015.09.001
- Аляпышев М.Ю., Бабаин В.А., Устинюк Ю.А. // Усп. хим. 2016. Т. 85. № 9. С. 943; Alyapshev M.Yu., Babain V.A., Ustynuk Yu.A. // Russ. Chem. Rev. 2016. Vol. 85. N 9. P. 943. doi 10.1070/RCR4588
- Leoncini A., Huskens J., Verboom W. // Chem. Soc. Rev. 2017. Vol. 46. P. 7229. doi 10.1039/C7CS00574A

4. Wilson A.M., Bailey P.J., Tasker P.A. // Chem. Soc. Rev. 2014. Vol. 43. N 1. P. 123. doi 10.1039/C3CS60275C
5. Matveev P.I., Borisova N.E., Andreadi N.G., Zakirova G.G., Petrov V.G., Belova E.V., Kalmykov S.N., Myasoedov B.F. // Dalton Trans. 2019. Vol. 48. N 8. P. 2554. doi 10.1039/C8DT04729D
6. Narita H., Yaita T., Tamura K., Tachimori S. // Radiochim. Acta. 1998. Vol. 81. P. 223. doi 10.1524/ract.1998.81.4.223
7. Sasaki Y., Sugo Y., Suzuki S., Tachimori S. // Solv. Extr. Ion Exch. 2001. Vol. 19. N 1. P. 91. doi 10.1081/SEI-100001376
8. Zhui Z.-X., Sasaki Y., Suzuki S., Kimura T. // Anal. Chim. Acta. 2004. Vol. 527. N 2. P. 163. doi 10.1016/j.aca.2004.09.023
9. Sasaki Y., Rapold P., Arisaka M., Hirata M., Kimura T. // Solv. Extr. Ion Exch. 2007. V. 25. N 2. P. 187. doi 10.1080/07366290601169345
10. Sasaki Y., Sugo Y., Morita K., Nash K.L. // Solv. Extr. Ion Exch. 2015. Vol. 33. N 7. P. 625. doi 10.1080/07366299.2015.1087209
11. Campbell E., Hofeltz V.E., Hall G.B., Nash K.L., Lummetskaia T.G. // Solv. Extr. Ion Exch. 2018. Vol. 36. N 4. P. 331. doi 10.1080/07366299.2018.1447261
12. Ansari S.A., Mohapatra P.K., Leoncini A., Ali S.M., Singhadeb A., Huskens J., Verboom W. // Dalton Trans. 2017. Vol. 46. N 47. P. 16541. doi 10.1039/C7DT03831C
13. Ansari S.A., Pathak P.N., Mohapatra P.K., Manchanda V.K. // Chem. Rev. 2012. Vol. 112. N 3. P. 1751. doi 10.1021/cr200002f
14. Peroutka A.A., Galley S.S., Shafer J.C. // Coord. Chem. Rev. 2023. Vol. 482. P. 215071. doi 10.1016/j.ccr.2023.215071
15. Chen Z., Yang X., Song L., Wang X., Xiao Q., Feng Q., Ding S. // Inorg. Chim. Acta. 2020. Vol. 513. P. 119928. doi 10.1016/j.ica.2020.119928
16. Antonio M.R., McAlister D.R., Horwitz E.P. // Dalton Trans. 2015. Vol. 44. N 2. P. 515. doi 10.1039/C4DT01775G
17. Sharov V.E., Kostikova G.V., Grigoriev M.S., Fedoseev A.A. // Polyhedron 2023. Vol. 244. P. 116590. doi 10.1016/j.poly.2023.116590
18. Ren P., Wang C.Z., Tao W.Q., Yang X., Yang S., Yuan L., Chai Z., Shi W. // Inorg. Chem. 2020. Vol. 59. N 19. P. 14218. doi 10.1021/acs.inorgchem.0c02011
19. Su D., Huang H., Huang S., Liu N., Ding S. // Sep. Sci. Technol. 2015. Vol. 50. P. 1384 doi 10.1080/01496395.2014.978465
20. Mohapatra P.K., Iqbal M., Raut D.R., Verboom W., Huskens J., Godbole S.V. // Dalton Trans. 2012. V. 41. N 2. P. 360. doi 10.1039/C1DT11561H
21. Ansari S.A., Mohapatra P.K., Leoncini A., Mohapatra P.K., Huskens J., Verboom W. // Dalton Trans. 2018. Vol. 47. N 38. P. 13631. doi 10.1039/C8DT02750A
22. Ansari S.A., Leoncini A., Mohapatra P.K., Huskens J., Verboom W. // Sep. Pur. Technol. 2017. Vol. 187. P. 110. doi 10.1016/j.seppur.2017.06.028
23. Бондаренко Н.А., Царькова К.В., Белусь С.К., Артюшин О.И., Переходов А.С. // ЖОХ. 2021. Т. 91. Вып. 2. С. 221; Bondarenko N.A., Tcarkova K.V., Belus'S.K., Artyushin O.I., Peregudov A.S. // Russ. J. Gen. Chem. 2021. Vol. 91. N 2. P. 181. doi 10.1134/S1070363221020055
24. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Хвостиков В.А., Царькова К.В., Шарова Е.В., Артюшин О.И., Бондаренко Н.А. // ЖХХ. 2022. Т. 67. № 12. С. 1834; Turanov A.N., Karandashev V.K., Khvostikov V.A., Tcarkova K.V., Sharova E.V., Artyushin O.I., Bondarenko N.A. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. Vol. 67. N 12. P. 2045. doi 10.1134/S0036023622601416
25. Horwitz E.P., Kalina D.G., Diamond H., Vandegrift G., Schulz W.W. // Solv. Extr. Ion Exch. 1985. Vol. 3. N 1–2. P. 75. doi 10.1080/07366298508918504
26. Nash K.L., Jensen M.P. // Sep. Sci. Technol. 2001. Vol. 36. N 5–6. P. 1257. doi 10.1081/SS100103649
27. Розен А.М., Крупнов Б.В. // Усп. хим. 1996. Т. 65. № 11. С. 1052; Rozen A.M., Krupnov B.V. // Rus. Chem. Rev. 1996. Vol. 65. N 11. P. 973. doi 10.1070/RC1996v065n11ABEH000241
28. Sasaki Y., Choppin G.R. // Anal. Sci. 1996. Vol. 12. P. 225. doi 10.2116/analsci.12.225

## Extraction of Lanthanides(III) with Bis[N-octyl-N-(2-diphenylphosphinylethyl)]amide of Diglycolic Acid from Nitric Acid Solutions

A. N. Turanov<sup>1</sup>, V. K. Karandashev<sup>2,\*</sup>, Zh. P. Burmii<sup>2</sup>, K. V. Tcarkova<sup>3</sup>,  
O. I. Artyushin<sup>4</sup>, and N. A. Bondarenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yu. A. Osipyan Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences,  
Chernogolovka, 142432 Russia

<sup>2</sup> Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials, Russian Academy of Sciences,  
Chernogolovka, 142432 Russia

<sup>3</sup> National Research Centre “Kurchatov Institute”,  
Moscow, 123182 Russia

<sup>4</sup> A. N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 119991 Russia  
\*e-mail: karan@iptm.ru

Received November 2, 2024; revised November 25, 2024; accepted December 14, 2024

Extraction of microquantities of lanthanides(III) from  $\text{HNO}_3$  solutions with solutions of bis[N-octyl-N-(2-diphenylphosphinylethyl)]amide of diglycolic acid  $[\text{Ph}_2\text{P}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{Oct})\text{C}(\text{O})\text{CH}_2]_2\text{O}$  in organic solvents was studied. Stoichiometry of extracted complexes was determined, influence of extractant structure, nature of organic diluent and composition of aqueous phase on efficiency and selectivity of extraction of lanthanide(III) ions into organic phase was considered. It was shown that modification of diglycolamides by introduction of additional coordinating groups  $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{P}(\text{O})\text{Ph}_2$  into their molecule via amide nitrogen atom leads to increase of extraction of lanthanides(III) from neutral and weakly acidic nitrate media when using a mixture of *n*-dodecane with tributylphosphate as a solvent.

**Keywords:** extraction, lanthanides(III), diglycolamides