

Научная статья
УДК 669.85/.86:004.4
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.018

РЕЭКСТРАКЦИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДНЕТЯЖЕЛОЙ ГРУППЫ ИЗ ЭКСТРАГЕНТА НА ОСНОВЕ P507 И CYANEX 272

Юлия Игоревна Курмаева¹, Михаил Александрович Афонин², Вера Васильевна Белова³

^{1, 2}Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия

³Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской академии наук,
Москва, Россия

¹yuliyaK407@yandex.ru

²afonin18111956@yandex.ru

³belova@igic.ras.ru

Аннотация

Определены коэффициенты распределения РЗЭ (Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb) в системе P507-CYANEX 272-Isopar L-изооктанол-HCl в диапазоне концентраций: HCl от 0,5 до 4 моль/дм³, P507-CYANEX 272: 15,30 и 50 % массовых при температуре 298 К. Водная фаза содержала смесь хлоридов РЗЭ, полученных после отделения легких РЗЭ (La-Sm) из концентрата, полученного из лопарита на Соликамском магниевом заводе.

Ключевые слова:

ди(2,4,4-триметилпентил)фосфоновая кислота, P507, CYANEX 272, РЗЭ, реэкстракция, 2-этилгексильный эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты,

Финансирование:

исследование выполнено при поддержке АО «ГК «Русредмет»» (г. Санкт-Петербург).

Для цитирования:

Курмаева Ю. И., Афонин М. А., Белова В. В. Реэкстракция редкоземельных элементов среднетяжелой группы из экстрагента на основе P507 и CYANEX 272 // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 1. С. 97–100. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.018.

Original article

STRIPPING OF MEDIUM-HEAVY REE FROM THE EXTRACTANT BASED ON P507 AND CYANEX 272

Yuliya I. Kurmaeva¹, Mikhail A. Afonin², Vera V. Belova³

^{1, 2}Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Saint Petersburg, Russia

³Institute of General and Inorganic Chemistry named after N. S. Kurnakov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹yuliyaK407@yandex.ru

²afonin18111956@yandex.ru

³belova@igic.ras.ru

Abstract

The distribution coefficients of REE (Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb) in the P507-CYANEX 272-Isopar L-iso-octanol-HCl system were determined in the concentration range: HCl from 0.5 to 4 mol/dm³, P507- CYANEX 272: 15, 30 and 50 % by weight at a temperature 298 K. The aqueous phase contained a mixture of REE chlorides obtained after separation of light REE (La-Sm) from a concentrate obtained from loparite at the Solikamsk magnesium plant.

Keywords:

bis(2,4,4-trimethylpentyl)phosphinic acid, P507, CYANEX 272, rareearth elements, stripping, 2-ethylhexylphosphonic acid mono-2-ethylhexyl ester

Funding:

The study was carried out with the support of JSC GC Rusredmet (Saint Petersburg).

For citation:

Kurmaeva Y. I., Afonin M. A., Belova V. V. Stripping of medium-heavy REE from an extractant based on P507 and CYANEX 272 // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 97–100. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.018.

Введение

Научно-технический прогресс, достигнутый за последние годы в народном хозяйстве, во многом обязан успешному применению материалов, в основе которых лежат редкие и редкоземельные элементы (РЗЭ). Современное использование РЗЭ связано в основном с их применением в качестве катализаторов, магнитов и материалов автомобильной промышленности. Одним из наиболее широко используемых методов является экстракция. В последнее время для разделения РЗЭ среднетяжелой подгруппы применяют фосфорорганические кислоты Р507 и Cyanex 272.

Целью работы является измерение коэффициентов распределения и расчет факторов разделения индивидуальных РЗЭ при рекстракции их хлороводородной кислотой из экстрактов смесью экстрагентов Р507 и Cyanex 272.

Результаты

В настоящей работе были использованы экстрагенты Cyanex 272- $C_{16}H_{36}O_2P$ (рис. 1) и Р507- $C_{16}H_{35}O_3P$ (рис. 2)

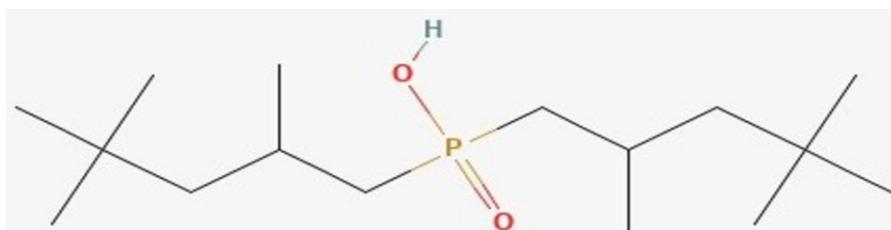


Рис. 1. Структурная формула ди(2,4,4-триметилпентил)фосфиновой кислоты

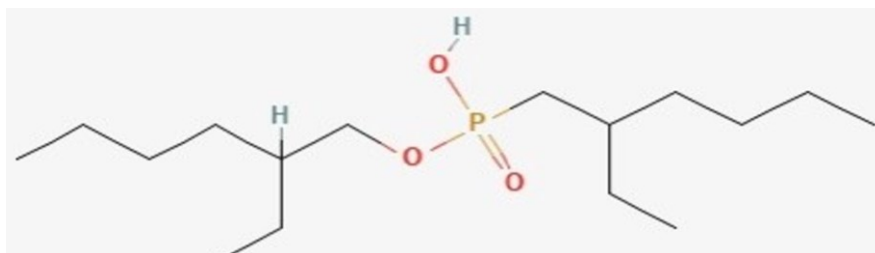
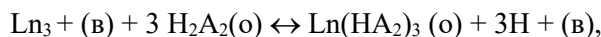


Рис. 2. Структурная формула 2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой кислоты

Экстракция РЗЭ экстрагентами Cyanex 272 и Р507 протекает по катионообменному механизму и описывается следующим уравнением:



где Ln^{3+} — катион редкоземельного металла; H_2A_2 — димеры Cyanex 272 или Р507.

Приготовление исходного раствора хлоридов РЗЭ.

Исходный раствор хлоридов РЗЭ был получен после экстракционного отделения легких РЗЭ (La-Sm) из концентрата, полученного из лопарита на Соликамском магниевом заводе. Состав раствора (г/дм³):

Dy ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃
2,89	0,25	3,3	5,57	0,19	0,60	0,022	4,00	0,073

Приготовление экстрагента

В качестве экстрагента использовалась смесь веществ Р507 (KHP, Luoyang Zhongda Chemical Co)) и Cyanex 272 (Канада, Cytec Solvay Group) в мольном соотношении 1:1 в виде растворов в углеводородном

растворителе С13 (фракция С11-С13) с добавлением 15 об. % изооктанола. В ходе выполнения работы готовили растворы реэкстрагентов в С13 с концентрацией экстрагента от 15 до 50 мас. %.

При реэкстракции из экстрагента с составом 15 % изооктанол в растворителе С13 + 7,5 % P507 + 7,5 % Суапех 272 установлено, что за один контакт с 0,5 молярной HCl из экстракта, насыщенного РЗЭ, реэкстракция проходит полностью.

В таблице 1 указаны значения коэффициента распределения, в табл. 2 приведены факторы разделения при реэкстракции из экстрагента с концентрацией 30 %. Экстрагент: 15 % изооктанол в растворителе с 13 + 15 % P507 + 15 % Суапех 272. Экстракцию проводили экстрагентом в кислой форме. Реэкстракцию при О:В = 1:1 проводили из органической фазы, насыщенной РЗЭ, растворами хлороводородной кислоты.

Таблица 1

С HCl, моль/л	Коэффициент распределения									
	Y	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	TREO
0,5	7,5	0,054	0,072	0,16	0,87	0,43	0,84	1,31	1,23	1,21
1	0,14	0,007	0,008	–	0,033	–	0,09	–	0,54	–
2	0,018	0,003	–	–	–	–	–	–	0,11	–
3	0,012	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	0,006	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 2

С _{исх} , моль/л	Фактор разделения								
	Y/Eu	Gd/Eu	Tb/Gd	Dy/Tb	Dy/Ho	Er/Ho	Tm/Er	Tm/Yb	Er/Eu
0,5	140	1,35	2,17	5,56	2,05	1,97	1,56	1,06	15,7
1	18,7	1,19	–	–	–	–	–	–	12,2
2	5,25	–	–	–	–	–	–	–	–

В таблице 3 указаны значения коэффициента распределения, на рис. 3 приведены коэффициенты распределения Y, а на рис. 4 — Er. В табл. 4 приведены факторы разделения при реэкстракции раствором концентрации 50 %. Экстрагент: 15 % изооктанол в растворителе с 13 + 25 % P507 + 25 % Суапех 272. Экстракцию проводили экстрагентом в кислой форме. Реэкстракцию при О:В = 1:1 проводили из органической фазы, насыщенной РЗЭ, растворами хлороводородной кислоты.

Таблица 3

С HCl, моль/л	Коэффициент распределения								
	Y	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	TREO
0,5	2,47	0,068	0,082	0,33	0,87	1,66	3,36	13,9	0,45
1	0,13	0,002	0,003	–	0,017	–	0,20	1,24	–
2	0,013	0,001	–	–	–	–	–	–	–
3	0,004	0,0006	–	–	–	–	–	–	–
4	0,002	–	–	–	–	–	–	–	м

Таблица 4

С _{исх} , моль/л	Фактор разделения						
	Y/Eu	Gd/Eu	Tb/Gd	Dy/Tb	Ho/Dy	Er/Ho	Er/Eu
0,5	36,0	1,20	3,98	2,67	1,89	2,03	49,0
1	45,5	1,09	–	–	–	–	69,64
2	8,88	–	–	–	–	–	–
3	6,69	–	–	–	–	–	–

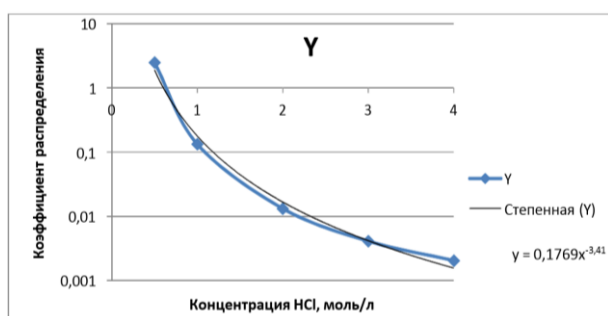


Рис. 3. Зависимость коэффициентов распределения Y при экстракции хлороводородной кислотой при концентрации экстрагента 50 %

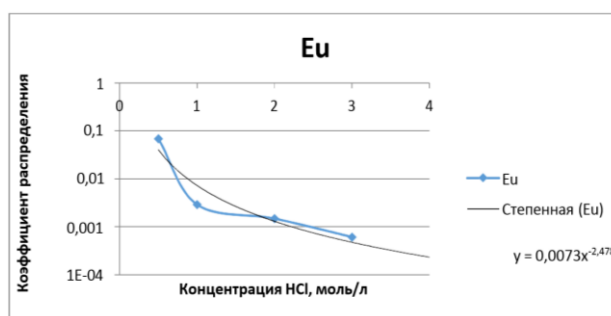


Рис. 4. Зависимость коэффициентов распределения Eu при экстракции хлороводородной кислотой при концентрации экстрагента 50 %

Выводы

Полученные данные позволяют определить оптимальные концентрации хлороводородной кислоты в секциях промывки и рекстракции в каскадах получения индивидуальных РЗЭ среднетяжелой подгруппы РЗЭ.

Информация об авторах

Ю. И. Курмаева — аспирант;

М. А. Афонин — доцент, кандидат химических наук;

В. В. Белова — ведущий научный сотрудник, доктор химических наук.

Information about the authors

Y. I. Kurmaeva — Postgraduate Student;

M. A. Afonin — Associate Professor, Ph.D.;

V. V. Belova — Leading Researcher, DSc (Chemistry).

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; одобрена после рецензирования 01.08.2025; принята к публикации 15.08.2025.
The article was submitted 11.07.2025; approved after reviewing 01.08.2025; accepted for publication 15.08.2025.