

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. ректора РХТУ им. Д. И. Менделеева,
д.т.н., проф. И. В. Воротынцева



» июня 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Нгуен Тхи Иен Хоа на тему: «Экстракция редкоземельных элементов синергетными смесями на основе солей четвертичных аммониевых оснований» по научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (Химические науки) выполнена на кафедре технологии редких элементов и наноматериалов на их основе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

В процессе подготовки диссертации Нгуен Тхи Иен Хоа, «17» февраля 1988 года рождения, являлась аспирантом кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева с 01 сентября 2017 года по 01 сентября 2022 года. В настоящее время является соискателем кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе.

Справка об обучении выдана Российским химико-технологическим университетом им. Д. И. Менделеева в 2022 году.

Научный руководитель – доктор химических наук (специальность 05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов), профессор, заведующий кафедрой технологии редких элементов и наноматериалов на их основе Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева Степанов Сергей Илларионович.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Экстракция редкоземельных элементов синергетными смесями на основе солей четвертичных аммониевых оснований» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 21 января 2014 г. N 42 обусловлена необходимостью восстановления и развития производства РЗЭ в РФ на основе новых, эффективных и конкурентоспособных технологий и обеспечения сырьевой базы соединениями критически важных редкоземельных и редких металлов в Российской Федерации. Одно из направлений развития новых экстракционных технологий связано с применением синергетных смесей экстрагентов разных классов для повышения извлечения РЗЭ из технологических растворов переработки минерального сырья, а также для повышения коэффициентов разделения ближайших пар элементов.

См. ✓

Научная новизна заключается в следующем:

1. Установлено, что химия синергетной экстракции нитратов La, Ce(III), Pr и Nd, смесями ТОМАН-ТБФ из нитратных растворов с низкой концентрацией азотной кислоты определяется образованием смешанных синергетных комплексов состава $(R_4N)_n[Ln(NO_3)_{3+n} \cdot m(R'O)_3PO]$, где $n=1-4$, $m=1-6$, в зависимости от мольного соотношения Ln:ТОМАН:ТБФ.

2. Установлено, что основным мотивом изменения состава смешанных комплексов является замещение фосфорильных групп ТБФ нитратными при увеличении доли ТОМАН в смеси и, наоборот, замещение нитратных групп ТОМАН фосфорильными при увеличении доли ТБФ в смеси.

3. Определены области проявления синергетной экстракции La, Ce(III), Pr и Nd 1,0 М изомолярными смесями ТОМАН-ТБФ в толуоле из нитратных растворов с низкой концентрацией азотной кислоты.

4. Определены составы экстрагируемых синергетных комплексов нитратов La, Ce(III), Pr, Nd в широкой области изменения концентрации лантаноидов.

5. Для каждого экстрагируемого синергетного комплекса рассчитаны и табулированы термодинамические константы экстракции и гидратные параметры H_i , описывающие изотермы экстракции нитратов La, Pr и Nd 1,0 М изомолярными смесями ТОМАН-ТБФ в толуоле.

6. Получены новые расчетные данные, подтверждающие концепцию нестехиометрического комплексообразования, для полученных в работе изотерм экстракции нитратов La, Pr и Nd 1,0 М изомолярными смесями ТОМАН-ТБФ в толуоле.

7. На основании проведенных расчетов определены и представлены математические уравнения для изученных в работе изотерм экстракции нитратов La, Pr и Nd 1,0 М изомолярными смесями ТОМАН-ТБФ в толуоле.

Практическая и теоретическая значимость работы состоит в следующем:

1. Теоретическая значимость работы заключается в термодинамическом обосновании химии синергетной экстракции нитратов La, Ce(III), Pr и Nd смесями ТОМАН-ТБФ из низкокислотных нитратных растворов, разработке математических моделей изотерм экстракции лантаноидов синергетными экстрагентами, основанных на решении уравнения Закона Действующих Масс, записанного в терминах активности всех компонентов экстракционного равновесия.

2. Установлены условия экстракционного разделения концентратов La, Ce(III), Pr и Nd на индивидуальные элементы синергетными смесями ТОМАН-ТБФ из низкокислотных нитратных растворов.

3. Проведен теоретический расчет параметров противоточных экстракционных каскадов с промывкой для разделения РЗЭ легкой группы по линиям La/Ce(III), Ce(III)/Pr, La/Pr из низкокислотных нитратных растворов синергетными смесями ТОМАН-ТБФ.

4. Проведены лабораторные испытания экстракционного разделения концентрата оксидов La, Pr и Nd по линии La/Pr из низкокислотных нитратных растворов синергетной смесью 0,6 М ТОМАН-2,4 М ТБФ в додекане на 60 ступенчатом лабораторном противоточном каскаде, подтвердившие высокую

эффективность применения синергетных смесей ТОМАН-ТБФ для разделения РЗЭ легкой группы.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 12 печатных работах, в том числе в журналах, входящих в базы данных научного цитирования Web of Science и Scopus – 3 статьи, в изданиях из перечня ВАК – 3 статьи.

Результаты диссертации представлены в 8 докладах на 5 Международных и Российских конференциях, в том числе на Международной конференции “Vietnam Conference on Nuclear Science and Technology VINANST-13” (Халонг, Вьетнам, 2019); на XV, XVI, XVII и XVIII Международных конгрессах по химии и химической технологии «УСЧТ-МКХТ» (Москва, 2019, 2020, 2021, 2022).

Публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Stepanov S.I. Separation of rare-earth elements from nitrate solutions by solvent extraction using mixtures of Methyltri-n-octylammonium nitrate and Tri-n-butyl phosphate / Stepanov S.I., **Nguyen Thi Yen Hoa**, Boyarintseva E.V., Boyarintsev A.V., Kostikova G.V., Tsivadze A.Y. // *Molecules*. - 2022. - V. 52. - № 2. - P.557. DOI: 10.3390/molecules27020557. (**WoS, Scopus**)

2. Степанов С.И. Химия экстракции $Nd(NO_3)_3$ и $Pr(NO_3)_3$ из нитратных растворов смесями ТОМАН–ТБФ в толуоле / Степанов С.И., **Нгуен Тхи Иен Хоа**, Чекмарев А.М., Цивадзе А.Ю. Химия экстракции $Nd(NO_3)_3$ и $Pr(NO_3)_3$ из нитратных растворов смесями ТОМАН–ТБФ в толуоле // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах, 2021, Т. 496, № 1, стр. 37-43. (**ВАК**).

Stepanov S.I. Chemistry of solvent extraction of $Nd(NO_3)_3$ and $Pr(NO_3)_3$ from nitrate solutions with TOMAN–TBP mixtures in toluene / Stepanov S.I., **Nguyen Thi Yen Hoa**, Chekmarev A.M., Tsivadze A.Y. // *Doklady Chemistry*. - 2021. - V. 496. - P. 32-37. DOI: 10.1134/S0012500821020051. (**WoS, Scopus**).

3. Степанов С.И. Химия экстракции $La(NO_3)_3$ и $Ce(NO_3)_3$ из нитратных растворов смесями нитрата метилтри-н-октиламмония и три-н-бутилфосфата в толуоле / Степанов С.И., **Нгуен Тхи Иен Хоа**, Чекмарев А.М., Цивадзе А.Ю. Химия экстракции $La(NO_3)_3$ и $Ce(NO_3)_3$ из нитратных растворов смесями нитрата метилтри-н-октиламмония и три-н-бутилфосфата в толуоле // Теоретические основы химической технологии, 2021, том 55, № 2, с. 204-209. (**ВАК**)

Stepanov S.I. Chemistry of the extraction of $La(NO_3)_3$ and $Ce(NO_3)_3$ from nitrate solutions with mixtures of Tri-n-octylmethylammonium nitrate and Tri-n-butyl phosphate in toluene / Stepanov S.I., **Nguyen Thi Yen Hoa**, Chekmarev A.M., Tsivadze A.Y. // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. - 2021. - V. 55. - P. 270-275. DOI: 10.1134/S0040579521020111. (**WoS, Scopus**)

4. Степанов С.И. Разделение легкой группы РЗЭ по линии Ce(III)/Pr из нитратных растворов смесями нитрата Метилтри-н-октиламмония и Три-н-бутилфосфата / Степанов С.И., **Нгуен Тхи Иен Хоа**, Бояринцева Е.В. // Химическая промышленность сегодня. - 2021. - № 1. - С. 60-65. (**ВАК, WoS, CA**)

Публикации в других научных изданиях:

1. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Разделение редкоземельных элементов по линии Gd/Tb из нитратных растворов смесями ТОМАН-аммонийная соль Д2ЭГФК / Королева Е.О., Бояринцева Е.В., Нгуен Тхи Иен Хоа, Бояринцев А.В., Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. -2022. - Т. 36. - № 9. - С. 42-46.

2. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Синергетная экстракция $Gd(NO_3)_3$ из нитратных растворов смесями аммониевой соли Ди-2-этилгексилфосфорной кислоты и нитрата Метилтри-н-октиламмония / Нгуен Тхи Иен Хоа, Бояринцева Е.В., Долгорукова Л.А., Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. - 2021. - Т. 35. - № 9. - С. 94-96.

3. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Синергетная экстракция $Tb(NO_3)_3$ из нитратных растворов смесями аммониевой соли Ди-2-этилгексилфосфорной кислоты и нитрата Метилтри-н-октиламмония / Нгуен Тхи Иен Хоа, Бояринцева Е.В., Долгорукова Л.А., Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. - 2021. - Т. 35. - № 9. - С. 97-100.

4. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Синергетная экстракция La(III) из нитратных растворов смесями ТОМАН-ТБФ / Нгуен Тхи Иен Хоа, Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. - 2020. - Т. 34. - № 9. - С. 40-42.

5. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Синергетная экстракция Pr(III) из нитратных растворов смесями ТОМАН-ТБФ / Нгуен Тхи Иен Хоа, Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. - 2020. - Т. 34. - № 9. - С. 43–45.

6. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Синергетная экстракция Ce(III) из нитратных растворов смесями ТОМАН-ТБФ / Нгуен Тхи Иен Хоа, Гавриченко Н.В., Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. - 2019. - Т. 33. - № 9. - С. 43–45.

7. **Нгуен Тхи Иен Хоа.** Синергетная экстракция Y(III) из нитратных растворов смесями ТОМАН-ТБФ / Нгуен Тхи Иен Хоа, Горячева А.А., Степанов С.И. // Успехи в химии и химической технологии. - 2019. - Т. 33. - № 9. - С. 19–21.

8. **Nguyen Thi Yen Hoa.** The chemistry extraction of rare earth elements by synergistic mixtures of TOMAN and TBP from nitrate solution / Nguyen Thi Yen Hoa, S.I. Stepanov. // Collection of Scientific Works «Vietnam conference on nuclear science and technology». - Quangninh-Vietnam, 2019. - P. 230–231.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям, диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов по направлению исследований «п.6. Получение промежуточных соединений необходимой степени чистоты, гранулометрического состава и т.п. для производства металла или изделий».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Нгуен Тхи Иен Хоа является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и

рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Нгуен Тхи Иен Хоа; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Экстракция редкоземельных элементов синергетными смесями на основе солей четвертичных аммониевых оснований» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, состоявшемся «04» октября 2022 года, протокол № 2.

В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой Степанов С.И., профессор Чижевская С.В., профессор Трошкина И.Д., доцент Бояринцев А.В., доцент Жуков А.В.

Принимало участие в голосовании 8 человек. Результаты голосования: «За» – 8 человек, «Против» – нет, воздержались – нет, протокол № 02 от «04» октября 2022 г.

Профессор кафедры технологии
редких элементов и наноматериалов
на их основе,
д.х.н., профессор

Чижевская С.В.

Секретарь кафедры технологии
редких элементов и наноматериалов
на их основе, ведущий инженер, к.х.н.

Чибрикина Е.И.