

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Лукьянцевой Елены Сергеевны на тему «Кинетические закономерности и технологические принципы экстракционного извлечения тяжёлых редкоземельных элементов из фосфорнокислых растворов при переработке апатитовых руд», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.7. Технология неорганических веществ

Лукьянцева Елена Сергеевна в 2022 году с отличием окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» с присуждением квалификации магистр по специальности 18.04.01 Химическая технология.

В 2022 году поступила в очную аспирантуру на кафедру химических технологий и переработки энергоносителей, в процессе обучения своевременно сдала кандидатские экзамены на оценку «отлично».

Лукьянцева Елена Сергеевна проявила себя квалифицированным специалистом, способным самостоятельно планировать и проводить экспериментальные исследования. Результаты исследований активно представляла на международных научно-практических конференциях: XVIII Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, май 2022 г.); XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера «Химия и химическая технология в XXI веке» (г. Томск, май 2023 г.); VI Международной научно-практической конференции «Научный поиск: проблемы, векторы, перспективы» (г. Петрозаводск, июнь 2026 г.); II Международной научно-практической конференции «Наука. Технологии. Образование: инновационное развитие» (г. Петрозаводск, июнь 2026 г.).

Диссертация подготовлена как результат научных исследований, проведенных в рамках выполнения индивидуального учебного плана аспиранта (индивидуального плана соискателя).

При подготовке диссертации использовано 144 источника, включая:

- 104 публикации в цитируемых изданиях;
- 11 книг и монографий;
- 29 иных дополнительных публикаций.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на базе научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Диссертация посвящена актуальной научно-технической проблеме попутного извлечения тяжёлых редкоземельных элементов из апатитового сырья Хибинского месторождения. В условиях геополитической нестабильности, экспортных ограничений Китая и острой потребности промышленности в импортозамещении критически важного сырья разработка эффективных технологий извлечения РЗЭ приобретает стратегическое значение. Особое внимание уделено кинетическим параметрам экстракции, определяющим производительность и селективность процесса, которые для фосфорнокислых сред оставались практически неизученными.

В процессе обучения в аспирантуре Лукьянцевой Е.С. выполнены комплексные теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертации в полном соответствии с индивидуальным учебным планом. Соискателем разработаны методики жидкостной и твердофазной экстракции тяжёлых РЗЭ из сред, моделирующих состав экстракционной фосфорной кислоты, с применением автоматизированного оборудования и современных методов анализа. Экспериментально установлены кинетические закономерности экстракции лютеция, тулия, иттрия, эрбия и диспрозия, определены лимитирующие стадии процессов, выявлена определяющая роль природы разбавителя в эффективности извлечения. Методом ИК-Фурье спектроскопии доказано, что повышение эффективности экстракции при использовании изоалкановых разбавителей обусловлено усилением димеризации Д2ЭГФК и формированием более прочных координационных связей с ионами лантаноидов.

На основании экспериментальных данных обоснованы оптимальные технологические параметры жидкостной экстракции. Изучено влияние примесей алюминия на процесс извлечения РЗЭ, установлены кинетические различия, позволяющие реализовать селективную экстракцию в присутствии Al^{3+} . Разработан способ очистки экстракта от алюминия щавелевой кислотой. Обоснован принцип ступенчатой рекстракции серной кислотой различной концентрации для последовательного разделения тяжёлых РЗЭ. Предложена принципиальная технологическая схема извлечения, разделения и очистки РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты, интегрируемая в существующее производство.

Важным научным результатом является установленная корреляция между положением элемента в лантаноидном ряду и кинетическими параметрами экстракции и реэкстракции, что создаёт теоретическую основу для управления селективностью процесса на основе эффекта лантаноидного сжатия. Полученные результаты формируют методологическую основу для прогнозирования поведения аналогичных систем и разработки оптимизированных технологических схем выделения и разделения РЗЭ из крупнотоннажных отходов переработки апатитового сырья.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Природа углеводородного разбавителя является определяющим фактором эффективности экстракции редкоземельных элементов экстрагентом Д2ЭГФК: замена ароматизированного керосина на изоалкановый разбавитель (Isane Biolife 58) повышает эффективность извлечения РЗЭ за счёт усиления циклической димеризации экстрагента и формирования более прочных координационных связей $P=O \cdots Ln^{3+}$, что экспериментально подтверждается максимальным низкочастотным смещением характеристической ИК-полосы $\nu(P=O)$.

2. Кинетика и селективность процессов жидкостной и твердофазной экстракции растворами Д2ЭГФК, а также реэкстракции тяжёлых РЗЭ растворами серной кислоты определяются диффузионным контролем массопереноса и эффектом лантаноидного сжатия, что позволяет установить оптимальные технологические параметры.

3. Разделение алюминия и тяжёлых РЗЭ (Lu, Tm, Er, Dy, Y) в экстракционной системе с Д2ЭГФК основано на различии механизмов лимитирования стадий комплексообразования и селективном реэкстрагировании примесей щавелевой кислотой.

Основное содержание диссертации полностью соответствует защищаемым положениям. Все этапы исследований выполнены в соответствии с утвержденным планом.

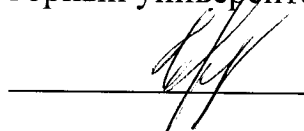
Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получен 1 патент на изобретение.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении представлений о кинетических закономерностях экстракции тяжёлых РЗЭ из фосфорнокислых сред: установлены лимитирующие стадии, выявлена роль природы разбавителя в усилении димеризации Д2ЭГФК и формировании координационных связей с ионами лантаноидов, а также обоснована корреляция

между ионным радиусом РЗЭ и кинетическими параметрами экстракции. Практическая значимость определяется разработкой технологической схемы извлечения, разделения и очистки тяжёлых РЗЭ с определёнными оптимальными параметрами всех стадий процесса, предложением экологически безопасных разбавителей и созданием основы для импортозамещения критически важной редкоземельной продукции. Получен акт о намерении внедрения результатов диссертационной работы в инновационной деятельности ООО «ИНТЕРКЕМ» (от 17.04.2026). Реализация этих результатов вносит вклад в решение стратегических задач импортозамещения и устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации.

Диссертация «Кинетические закономерности и технологические принципы экстракционного извлечения тяжёлых редкоземельных элементов из фосфорнокислых растворов при переработке апатитовых руд», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ, соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России и раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор — Лукьянцева Елена Сергеевна — заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Научный руководитель, д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой общей и физической химии
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»



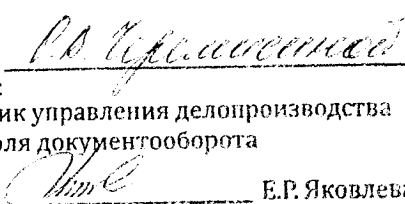
Черемисина Ольга Владимировна

199106, г. Санкт-Петербург,
Васильевский остров, 21 линия, д.2
Телефон: +7 812 328 84 92
e-mail: Cheremisina_OV@pers.spmi.ru



Подпись
заверяю:

Начальник управления делопроизводства
и контроля документооборота



Е.Р. Яковлева

13 ИЮН 2026