

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Лукьянцевой Елены Сергеевны** на тему: **«Кинетические закономерности и технологические принципы экстракционного извлечения тяжелых редкоземельных элементов из фосфорнокислых растворов при переработке апатитовых руд»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ

Диссертационная работа Лукьянцевой Е.С. посвящена решению актуальной научно-технической задачи: разработке эффективных методов извлечения и разделения тяжелых редкоземельных элементов (РЗЭ) из экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), образующейся при переработке апатитового концентрата. Актуальность темы не вызывает сомнений, поскольку, несмотря на значительные запасы РЗЭ в России, их промышленное производство крайне мало. Основным препятствием является сложность извлечения РЗЭ из фосфорнокислых сред, содержащих РЗЭ в низких концентрациях на фоне конкурирующих ионов железа и алюминия.

В ходе исследования автором получен ряд результатов, обладающих научной новизной и практической значимостью. Так, в работе впервые установлена ключевая роль природы органического разбавителя в эффективности экстракции РЗЭ. Экспериментально доказано, что замена традиционного ароматизированного керосина на изоалкановый разбавитель Isane Biolife 58 позволяет повысить степень извлечения РЗЭ в 1,5–2 раза. С использованием метода ИК-Фурье спектроскопии автором убедительно показано, что этот эффект обусловлен усилением димеризации экстрагента Д2ЭГФК и упрочнением координационных связей  $P=O \cdots Ln^{3+}$  в органической фазе, что подтверждается характерным низкочастотным смещением полосы валентных колебаний фосфорильной группы. Это является важным вкладом в фундаментальную химию экстракционных процессов и предлагает конкретный путь к интенсификации технологии.

В работе проведено систематическое кинетическое исследование жидкостной и твердофазной экстракции индивидуальных тяжелых РЗЭ (Lu, Tm, Er, Y, Dy) из растворов, моделирующих состав ЭФК. Автором рассчитаны энергии активации и определены лимитирующие стадии массопереноса. В частности, для жидкостной экстракции показан внешнедиффузионный контроль процесса, что обосновывает выбор оптимальных гидродинамических параметров. При изучении твердофазной экстракции на импрегнированном сорбенте Seplite LXCL-204 выявлен необычный механизм: показана смена лимитирующей стадии с внутридиффузионного контроля на диффузию через слой продукта при повышении температуры до 333 К, что имеет значение для оптимизации температурных режимов и предотвращения закупорки пор сорбента.

Особого внимания заслуживают разработки автора в области повышения селективности процесса. Обоснован и экспериментально подтвержден принцип ступенчатой рекстракции с использованием растворов серной кислоты различной концентрации, что позволяет последовательно выделять элементы тяжелой группы. Кроме того, проведен детальный анализ влияния примесных ионов алюминия на процесс извлечения РЗЭ. Установлены кинетические параметры экстракции алюминия и выявлена смена лимитирующей стадии с химической на смешанную при повышении температуры. На основе различий в механизмах комплексообразования разработан способ селективной очистки экстракта от алюминия с использованием 0,5 М раствора щавелевой кислоты, обеспечивающий удаление 99,1%  $Al^{3+}$  при потерях РЗЭ менее 0,8 %, что является критически важным для получения целевых продуктов высокой чистоты.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-606 от 16.09.20  
АУ УС

В результате, предложена принципиальная технологическая схема извлечения тяжелых РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты с оптимальными параметрами процессов экстракции и реэкстракции.

Автореферат изложен ясным языком, логически структурирован, содержит достаточное количество иллюстративного материала для понимания основных результатов работы.

По существу изложения материала в автореферате есть следующие замечания:

1. Для экстракционного извлечения тяжелых РЗЭ предложено использовать многоступенчатые центробежные экстракторы. Хотелось бы получить разъяснения каким образом будет регулироваться время контакта органической и водной фаз (около 3 минут)?
2. При выделении из ЭФК тяжелых РЗЭ почему-то из рассмотрения выпал тербий, хотя из «магнитных» РЗЭ он наиболее ценен и дефицитен, так как позволяет наряду с диспрозием повысить рабочую температуру неодим-железо-боровых магнитов.
3. На рисунке 7 необходимо исправить формулу карбонатов РЗЭ на правильную –  $\text{Ln}_2(\text{CO}_3)_3$ .

Данные замечания не являются принципиальными и не влияют на высокую оценку данной работы в целом.

Диссертация «**Кинетические закономерности и технологические принципы экстракционного извлечения тяжелых 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 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 Елене Сергеевна** – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Советник генерального директора,  
главный научный сотрудник,  
доктор технических наук  
по специальности 05.17.02 –  
технология редких и рассеянных элементов

Маслобоев Владимир Алексеевич

11/09/2026 г.

Подпись, должность и ученую степень Маслобоева Владимира Алексеевича  
удостоверяю:



Подпись *Маслобоев В. А.*  
ПО МЕСТУ РАБОТЫ УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник общего отдела  
ФИЦ КНЦ РАН

*В. В. Костюков*  
11 сентября 2026 года

Федеральный исследовательский центр  
Кольский научный центр Российской академии наук  
Почтовый адрес: 184209 г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, 14  
Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.ksc.ru>  
эл. почта: [v.masloboev@ksc.ru](mailto:v.masloboev@ksc.ru)  
телефон: +7 (911) 303-08-70