

УДК 62-665.4

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЛАНТАНА ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ АО  
ЦОФ «БЕРЕЗОВСКАЯ» МЕТОДОМ ПЕРКОЛЯЦИОННОГО  
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Белоусова К.О., студентка гр. ХНби-221, III курс  
Научный руководитель: Золотухина Н.А., к.х.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Потребление редкоземельных элементов (РЗЭ) - скандия, иттрия и лантаноидов, с развитием научно-технического прогресса приобретает важное значение во многих сферах деятельности человека [1]. Благодаря своим уникальным свойствам они находят широкое применение в стекольной промышленности, производстве магнитов, катализаторов, электроники, медицинского оборудования и др. [2, 3].

В связи с масштабным потреблением РЗЭ большое внимание уделяется поиску и разработке новых месторождений ценных ископаемых. Добыча и переработка редкоземельных элементов оказывает прямое влияние на экономическое и социальное развитие страны, а также на промышленную и энергетическую безопасность и национальную оборону. Основными источниками резерва РЗЭ являются такие страны, как Китай – монополист данной сферы (40 % от их общемирового запаса). На втором месте по данным Industrial Mineral располагаются страны СНГ (РФ, Казахстан, Киргизия и Белоруссия) [4, 5, 6].

С увеличением потребления РЗЭ, истощаются природные ископаемые, добыча и переработка которых ведет за собой к образованию отходов технологического цикла, что негативно влияет на окружающую среду. Кроме того, высокая значимость редкоземельных металлов делает их подверженными к глобальным рискам, связанных с поставками, особенно в условиях, когда производство данных элементов осуществляется из ограниченных запасов руды. Поэтому поиск альтернативных источников ценных компонентов из отходов может стать эффективным способом по их извлечению и решить проблему истощения редкоземельных элементов [6, 7].

В настоящее время дополнительным источником получения РЗЭ и полезных макрокомпонентов, таких как железо (Fe), алюминий (Al), кремний (Si), кальций (Ca) и др., являются отходы углеобогащения, образующиеся при добыче и обогащения угля на обогатительных фабриках, который используется в качестве источника тепловой энергии для нужд регионов, в частности, в отопительный сезон [8, 9]. Учитывая растущий объем отходов угольной промышленности, их переработка становится перспективным решением проблемы накопления больших объемов отходов [10].

В работе представлены исследования извлечения РЗЭ - лантана (La) методом перколяционного (кучного) выщелачивания. Данный способ находит широкое применение для выделения ценных элементов из обедненных руд, а также из техногенного сырья. К достоинствам данного метода относят простоту технологического оформления и включает следующие стадии: поставка сырья, ее подготовка – гранулирование; подготовка площадки для кучного выщелачивания, а также обустройство системы сбора и хранения продуктов и оборотных растворов [11].

Экспериментальная работа по извлечению La проведена на модельной системе, путем искусственного введения оксида лантана (III) –  $\text{La}_2\text{O}_3$ . Для выполнения эксперимента использовали отходы БФ-4 и БФ-5, отличающиеся размерностью частиц [12], которые предварительно измельчали и смешивали в пропорции 1:1. Гранулирование проводили на дисковом грануляторе, где в подготовленную смесь массой 999 г вносили 1 г  $\text{La}_2\text{O}_3$ . В качестве связующего выступал раствор серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) с массовой долей 92%. Далее полученные окатыши высушивали на воздухе и спустя 3 суток прокаливали 1,5 часа при температуре 350 °С. Гранулы массой 25 г загружали в стеклянную колонку площадью поперечного сечения 3,14 см<sup>2</sup>. Затем проводили перколяционное выщелачивание путем введения  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,1 моль/л) в качестве выщелачивающего агента в соотношении твердой и жидкой фазы: Т:Ж÷1:10. Скорость падения капель раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на гранулы составила каждые 55 с.

С помощью приемника, установленного под стеклянной колонкой, периодически отбирали пробы фильтрата, которые выпаривали и высушивали при 120 °С. Полученные образцы исследовались на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM».

Результаты анализов приведены в табл. 1, 2. Исследования показали, что выход лантана в фильтратную часть составил 96,1% при использовании 0,1 М раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  со скоростью падения капель каждые 55 с и соотношением твердой и жидкой фаз Т:Ж÷1:10. Данный показатель выше по сравнению с ранее проведенным экспериментом, в ходе которого применяли более разбавленный раствор выщелачивающего агента (0,05 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), где выход

Таблица 1

Массовое содержание основных элементов при соотношении твердой и жидкой фазы Т:Ж÷1:10 и скорости падения капель каждые 55 с

Время, ч	Al, %	Fe, %	La, %	Ca, %	Mg, %
3	6,36813	6,32414	0,05049	0,38318	1,64506
8	7,51222	5,31317	0,11869	0,79168	1,81840
11	8,43389	4,03553	0,47281	1,15190	0,94978
14	3,77150	3,51856	0,71872	5,13012	0,27734
17	2,23764	8,18284	1,71877	6,80854	0,74126
>28	1,23369	5,44763	1,04464	8,67483	0,90303
Гранулы	7,47081	0,90134	0,00656	0,67912	0,99718

Исходный образец	7,74096	2,42726	0,08525	1,04919	1,06004
------------------	---------	---------	---------	---------	---------

лантана в жидкую часть составил 90,3 %.

Это свидетельствует о достаточно существенном влиянии концентрации выщелачивающего агента на извлечение РЗЭ – лантана из отходов углеобогащения [13].

Таблица 2

Выход элементов при соотношении твердой и жидкой фазы Т:Ж÷1:10 и скорости падения капель каждые 55 с

Время, ч	Масса Al, г	Масса Fe, г	Масса La, г	Масса Ca, г	Масса Mg, г
3	0,1618	0,1606	0,0013	0,0097	0,0418
8	0,2716	0,1921	0,0043	0,0286	0,0658
11	0,0804	0,0385	0,0045	0,0110	0,0091
14	0,0105	0,0098	0,0020	0,0143	0,0008
17	0,0059	0,0217	0,0046	0,0180	0,0020
>28	0,0045	0,0200	0,0038	0,0319	0,0033
Гранулы	1,3530	0,1632	0,0012	5,6180	0,1230
Исходный образец	1,9352	0,6068	0,0213	0,2623	0,2650

На рис. 1 и 2 приведены данные выхода лантана в зависимости от длительности процесса выщелачивания.

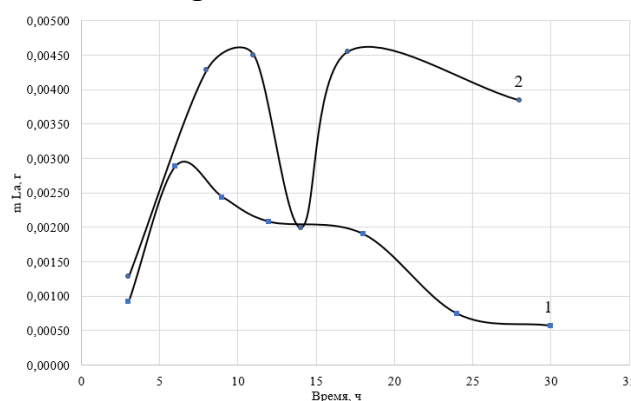


Рисунок 1. Периодический контроль извлечения лантана в фильтратную часть: 1 – 0,05 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [13], 2 – 0,1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

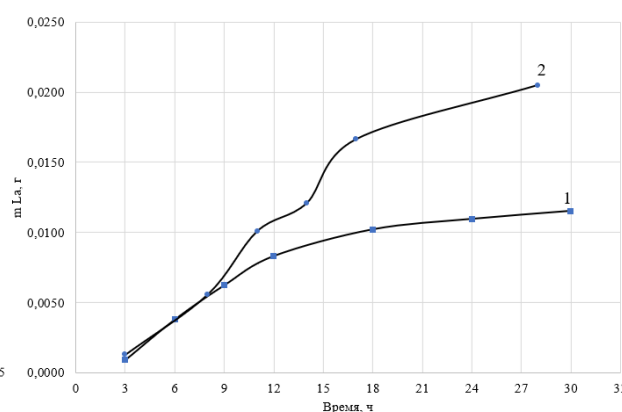


Рисунок 2. Зависимость извлечения лантана в фильтратную часть с продолжительностью выщелачивания: 1 – 0,05 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [13], 2 – 0,1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Согласно данным графиков выявлено, что максимальный выход лантана в фильтрат приходится в среднем на 6-11 часов после начала выщелачивания, а после выделения извлекаемого компонента выходит на плато или вовсе падает. Однако, извлечение лантана продолжается спустя 30 часов, что свиде-

тельствует о необходимости подбора оптимального времени извлечения РЗЭ – лантана.

Результаты исследования показали, что данный способ может стать эффективным методом извлечения не только РЗЭ, но и других ценных компонентов необходимых для развития современных технологий. В конечном итоге это способствует уменьшению нагрузки, как на экологию, так на экономику нашей страны, связанной с накоплением отходов. Минимизация загрязненных территорий уменьшает риск негативного воздействия на окружающую среду.

### Список литературы:

1. Despina A. Gkika, Michail Chalaris, George Z. Kyzas. Review of Methods for Obtaining Rare Earth Elements from Recycling and Their Impact on the Environment and Human Health, Processes. 2024, 12(6), 1235.

2. Полякова, О.Р. Дезинфекция в системе противозпизоотических мероприятий / О. Р. Полякова, В. А. Кузьмин, Ю. Ю. Данко [и др.]. — Санкт-Петербург : СПбГАВМ, 2016. — 72 с.

3. Bennet Sam Thomas, Piet Dimitriadis, Chandan Kundu, Sai Sree Varsha Vuppaladadiyam, R.K. Singh Raman, Sankar Bhattacharya. Extraction and separation of rare earth elements from coal and coal fly ash: A review on fundamental understanding and on-going engineering advancements. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2024, 12(3), 112769.

4. Guocai Tian, Zhongbin Xu, Xiaofen Li, Zhiqiang Hu, Baichuan Zhou. Research Progress on the Extraction and Separation of Rare-Earth Elements from Waste Phosphors. Minerals. 2025, 15(1), 61

5. Белоусова К.О, Извлечение ценных компонентов из золошлаковых отходов котельной АО ЦОФ «Березовская» // Россия молодая: Сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». — Кемерово, 2024.

6. Укелеева, А.З. Селективная экстракция и определение скандия промышленных отходов (штейн) комплексонометрическим методом / А. З. Укелеева, А. Ukeleeva, Э. Ш. Джумабекова [и др.] // Бюллетень науки и практики. — 2024. — № 7. — С. 376-380.

7. Emmanuel Ohene Opare, Ethan Struhs, Amin Mirkouei. A comparative state-of-technology review and future directions for rare earth element separation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021, 143, 110917.

8. Черкасова, Т.Г. Распределение химических элементов в гранулометрических фракциях отходов углеобогащения АО ЦОФ "Березовская" / Т. Г. Черкасова, Т. G. Cherkasova, Д. А. Баранцев, D. A. Barantsev // Техника и технология горного дела. — 2023. — № 4 (23). — С. 26-40.

9. Белоусова, К.О. Проблемы отходов углепереработки и пути их решения/ К.О. Белоусова, А.А. Мальцева// «Экология и безопасность жизнедеятельности: Сборник материалов II Всероссийской научно-практической кон-

ференция студентов и школьников/ ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2024.

10. Евменова, Г. Л. Направление комплексного использования минерального сырья : учебное пособие / Г. Л. Евменова. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. — 115 с.

11. Физико-химическая геотехнология : учебник / В. Ж. Аренс, Э. И. Богуславский, О. М. Гридин [и др.]. — Москва : Горная книга, 2021. — 816 с.

12. Черкасова, Т.Г. Анализ состава отходов углеперерабатывающего предприятия АО ЦОФ «Березовская» / Т.Г. Черкасова, М.О. Пилин, А.В. Тихомирова и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 98-103. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-98-103.

13. Черкасова, Т.Г. Перколяционное выщелачивание гранул образцов АО ЦОФ «Березовская» 0,05 М раствором серной кислоты / Т.Г. Черкасова, Н.А. Золотухина, Д.А. Баранцев и др. // Уголь. 2024;(8):71-75. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-8-71-75