

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

ЛЕНСКАЯ Ксения Владимировна

студент

КУЗНЕЦОВ Иван Сергеевич

студент

Омский государственный технический университет

г. Омск, Россия

Спрос на редкоземельные элементы (РЗЭ) увеличился за последнее десятилетие из-за их широкого использования в нескольких областях, связанных с электроникой, нефтепереработкой, в технологиях получения возобновляемой энергии, биомедицинских устройствах и других промышленных продуктах. Однако традиционные методы извлечения РЗЭ имеют ряд недостатков, таких как длительная переработка, низкая степень извлечения и образование большого количества опасных отходов. С уменьшением доступных минералов для добычи редкоземельных элементов, извлечение РЗЭ из промышленных отходов привлекло много внимания и может являться альтернативным источником РЗЭ. В данном обзоре представлены исследования по извлечению РЗЭ из некоторых отходов промышленности.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, выщелачивание, биосорбция, альтернативные источники, отходы.

Одним из нетрадиционных источников редкоземельных элементов является угольная зола, остаточные твердые отходы от сжигания угля на электростанциях. Авторы Laura Stoy, Victoria Diaz, Ching-Hua Huang сообщают о процессе выщелачивания РЗЭ из угольной летучей золы с помощью ионной жидкости – бис(трифторметилсульфонил) имида ( $[\text{Hbet}][\text{Tf}_2\text{N}]$ ). Были исследованы невыветренные и выветренные породы. Невыветренные угольные золы были произведены недавно и не подвергались выветриванию, в то время как выветренные были произведены много лет назад и получены из пруда для хранения золы. Эффективное извлечение основано на термоморфном поведении  $[\text{Hbet}][\text{Tf}_2\text{N}]$  с водой: при нагревании вода и ионная жидкость образуют одну жидкую фазу, и РЗЭ выщелачиваются из угольной летучей золы через механизм протонного обмена. При охлаждении вода и ионная жидкость разделяются, и выщелоченные элементы распределяются между двумя фазами. РЗЭ были преимущественно извлечены из золы в фазу ионной жидкости, а затем восстановлены на последующем этапе слабокислотной десорбции, восстанавливая ионную жидкость. Эффективность выщелачивания РЗЭ была выше в экспериментах с выветренной угольной золой, чем

невыветренной. Важно, что этот метод демонстрирует особенно высокую эффективность извлечения скандия из угольной золы [2].

Электронные отходы являются доминирующей глобальной проблемой, ежегодно их образуется несколько миллионов тонн. Извлечь металлы из таких отходов можно с помощью биовыщелачивания. Исследователи Camino García-Balboa, Paloma Martínez-Alesón García и соавторы описывают двухэтапный процесс извлечения РЗЭ с использованием ацидофильных бактерий и микроводорослей. Консорциум бактерий *Acidiphilium multivorum* и *Leptosidillum ferriphilum* был инокулирован в раствор порошка электронных отходов и культивирован в течение 15 дней. Сорок пять элементов были проанализированы в жидкой фазе с течением времени, включая серебро, золото и 15 РЗЭ. Эффективность биовыщелачивания консорциума составила >99% для Cu, Co, Al и Zn, 53% для Cd и около 10% для Cr и Li на 7-й день. Второй этап состоял из поглощения микроводорослями из фильтрата электронных отходов. Используемые штаммы представляли собой два ацидофильных экстремально толерантных штамма микроводорослей *Euglena* sp. И *Chlamydomonas* sp. Биопоглощение *Chlamydomonas* sp. составило 14,9, 20,3, 13,7, 8,3 нг Gd, Pr, Ce, La

при плотности пульпы 1%. Между тем, *Euglena* sp. поглощала 1,1, 1,5, 1,4 и 7,5 соответственно. Результаты показали, что эта биотехнологическая методология может быть использована для извлечения металлов из электронных отходов [1].

Отработанные катализаторы крекинга – это твердые отходы, которые в больших количествах образуются в нефтеперерабатывающей и биотопливной промышленности и содержат в составе РЗЭ. Для извлечения редкоземельных элементов из катализаторов псевдоожиженного каталитического использовалась гетеротрофная бактерия *Glucobacter oxydans*, которая продуцирует органические кислоты из глюкозы. Наибольшая эффективность экстракции была достигнута при самой низкой плотности пульпы, испытанной в ходе эксперимента (1,5%). Исследования выщелачивания проводились с использованием

фильтрованного биоликсивианта и катализатора жидкого каталитического крекинга. Перед началом процесса твёрдые вещества были подвергнуты автоклавированию три раза. Испытания на выщелачивание проводились в конических пробирках объёмом 50 мл. Плотность пульпы варьировалась от 1,5 до 50% (массовое отношение твёрдого вещества к жидкости). Пробирки инкубировали в течение 24 часов при температуре 30 °С и перемешивали со скоростью 150 оборотов в минуту [3].

Редкоземельные элементы обладают уникальными свойствами, которые делают их полезными в самых разных областях применения. Следовательно, спрос на эти элементы растёт, и извлечение РЗЭ становится важной проблемой. Использование альтернативных источников РЗЭ может снизить зависимость от рудных месторождений и негативное воздействие на окружающую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *García-Balboa C., Martínez-Alesón García P., López-Rodas V., Costas E., Baselga-Cervera B.* Microbial biominers: Sequential bioleaching and biouptake of metals from electronic scraps // *MicrobiologyOpen*. 2022. Vol. 11. No. 1.
2. *Stoy L., Diaz V., Huang CH.* Preferential Recovery of Rare-Earth Elements from Coal Fly Ash Using a Recyclable Ionic Liquid // *Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 55. No.13.
3. *THOMPSON V. L. et al.* Techno-economic and Life Cycle Analysis for Bioleaching Rare-Earth Elements from Waste Materials // *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 2017. Vol. 6. No. 2. P. 1602-1609.

## EXTRACTION OF RARE EARTH ELEMENTS FROM ALTERNATIVE SOURCES

**LENSKAYA Kseniya Vladimirovna**

Student

**KUZNETSOV Ivan Sergeyevich**

Student

Omsk State Technical University

Omsk, Russia

*The demand for rare earth elements (REE) has increased over the past decade due to their widespread use in several fields related to electronics, oil refining, renewable energy technologies, biomedical devices, and other industrial products. However, the traditional methods of REE extraction have several drawbacks, such as long-term processing, low recovery rates, and the generation of large amounts of hazardous waste. With the decrease in available minerals for the extraction of rare earths, the extraction of REE from industrial waste has attracted a lot of attention and may be an alternative source of REE. This review presents studies on the extraction of REE from some industrial wastes.*

**Keywords:** rare earth elements, leaching, biosorption, alternative sources, waste.