

УДК 504.064.45

БЕЛОУСОВА К.О., студент гр. ХНм-251 (КузГТУ)
Научный руководитель ЗОЛУТУХИНА Н.А., к.х.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

**КУЗБАСС КАК ЗОНА ВЫСОКОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ**

Кемеровская область является активно развивающимся регионом, промышленность которого сосредоточена в таких отраслях, как добыча угля, металлургия, химическая промышленность и энергетика. Именно эти производства вносят основной вклад в техногенную нагрузку на окружающую среду [1].

Кузбасс возглавляет строчку антирейтинга по объему вырабатываемых промышленных отходов в стране: в 2024 г данный показатель достиг 3,31 млрд т, что составило 38,9% от общероссийского показателя. Столь высокий уровень напрямую связан с угледобычей, которая составляет почти половину от всего российского производства. Существенно меньшие объемы зафиксированы в Якутии (946,6 млн т) и Красноярском крае (632,5 млн т). При этом именно Кемеровская область демонстрирует наилучший результат по абсолютному сокращению отходов: несмотря на то, что регион остаётся бессменным антилидером по их выработке, за год этот показатель снизился на 769,7 млн т (18,9%) по сравнению с 2023 годом. На втором месте с большим отрывом – Сахалинская область (-130,2 млн т), а на третьем – Иркутская область (-92,9 млн т) [1-2].

Несмотря на отнесение отходов добывающей промышленности к V классу опасности, ввиду своих колоссальных объёмов они наносят существенный ущерб природным ландшафтам и приводят к нарушению экологического баланса [3]. Снижение техногенного воздействия на окружающую среду стимулирует исследования по переработке угольных отходов — в частности, извлечению из них полезных компонентов, что открывает альтернативные пути получения ценных металлов, таких как редкоземельные элементы (РЗЭ), которые являются критически важными материалами из-за их ключевой роли в экологически чистой энергетике, электронике и оборонной промышленности [4-5].

В работе [6] предоставлены данные по перколяционному выщелачиванию гранулированного материала, состоящего из отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» с предварительным внесением в него оксида лантана (III) La_2O_3 . Результаты показали, что наиболее подходящим выщелачивающим агентом является 0,1М раствор серной кислоты со скоростью подачи 4,29 мл/ч. При таких условиях выход лантана в фильтрат составил 96,1%.

Наиболее распространенным реагентом для осаждения РЗЭ является щавелевая кислота, что обусловлено её высоким сродством к данной группе элементов [7]. Исследования подтверждают, что она эффективно осаждает РЗЭ при низких значениях pH, причем, согласно данным работы [8], наилучшие результаты достигаются в нитратной среде. Селективность осаждения и чистота получаемого осадка напрямую зависят от выбора осадителя и контроля уровня pH.

Для перевода лантана в нитратную форму сернокислый раствор, полученный после перколяционного выщелачивания, обрабатывали 25%-ым раствором гидроксида аммония NH_4OH до достижения $\text{pH}=7,50$ с целью полного осаждения РЗЭ [9]. Образовавшийся осадок отделяли, высушивали при 100°C и растворяли в 3М растворе азотной кислоты HNO_3 . После полного растворения осадка в раствор вносили щавелевую кислоту до перенасыщения при температуре 50°C , после чего нейтрализовали 25%-ым раствором NH_4OH . Данный этап проводили для определения оптимального уровня pH , обеспечивающего минимальное содержание примесей железа и алюминия в целевом продукте. Затем суспензию перемешивали в течение 120 минут при 50°C , после охлаждали до комнатной температуры и фильтровали. Отмечено, что цвет осадка изменялся от белого до светло-оранжевого в зависимости от pH осаждения из-за присутствия примесных соединений. Полученные осадки высушивали при 90°C . В таблицах 1-3 предоставлены данные о распределении элементов в твердой и жидкой части.

Таблица 1. Сравнительный элементный состав твёрдой и жидкой фаз на различных стадиях ($\text{pH} = 2,0$)

Образец	La, %	Al, %	Fe, %	Mg, %
Исходные гранулы	0,0853	7,7410	2,4273	1,0600
Гранулы после выщелачивания	0,0059	7,9820	0,9360	0,9054
Осадок после осаждения 25%-ым раствором гидроксида аммония до $\text{pH}=7,50$	0,7646	14,8876	12,2369	0,7288
Фильтратная часть после осаждения 25%-ым раствором гидроксида аммония	0,0046	-	0,2760	1,3676
Осадок после осаждения щавелевой кислотой при $\text{pH}=2,0$	0,0594	0,0509	0,1506	0,0682
Фильтратная часть после осаждения щавелевой кислотой при $\text{pH}=2,0$	-	1,4292	1,1624	0,2091

Таблица 2. Сравнительный элементный состав твёрдой и жидкой фаз на различных стадиях ($\text{pH} = 4,9$)

Образец	La, %	Al, %	Fe, %	Mg, %
Исходные гранулы	0,0853	7,7410	2,4273	1,0600
Гранулы после выщелачивания	-	9,8133	0,8031	1,1653
Осадок после осаждения 25%-ым раствором гидроксида аммония до $\text{pH}=7,50$	0,7030	8,6349	12,6086	1,2024
Фильтратная часть после осаждения 25%-ым раствором гидроксида аммония	-	-	0,1059	0,9080
Осадок после осаждения щавелевой кислотой при $\text{pH}=4,9$	0,0304	0,0496	0,1963	0,0924
Фильтратная часть после осаждения щавелевой кислотой при $\text{pH}=4,9$	-	0,9540	0,7641	0,1098

Таблица 3. Сравнительный элементный состав твёрдой и жидкой фаз на различных стадиях (pH = 8,0)

Образец	La, %	Al, %	Fe, %	Mg, %
Исходные гранулы	0,0853	7,7410	2,4273	1,0600
Гранулы после выщелачивания	0,0033	7,8023	0,7566	0,7485
Осадок после осаждения 25%-ым раствором гидроксида аммония до pH=7,50	0,7909	13,8974	13,0335	0,6815
Фильтратная часть после осаждения 25%-ым раствором гидроксида аммония	-	-	0,4232	2,8509
Осадок после осаждения щавелевой кислотой при pH=8,0	0,0327	0,2927	0,5131	0,0949
Фильтратная часть после осаждения щавелевой кислотой при pH=8,0	-	0,9342	0,2863	-

Распределение основных элементов в полученном осадке в зависимости от кислотности среды представлено на рис. 1. Полученные данные визуально подтверждают эффективность селективного осаждения лантана в кислой среде.

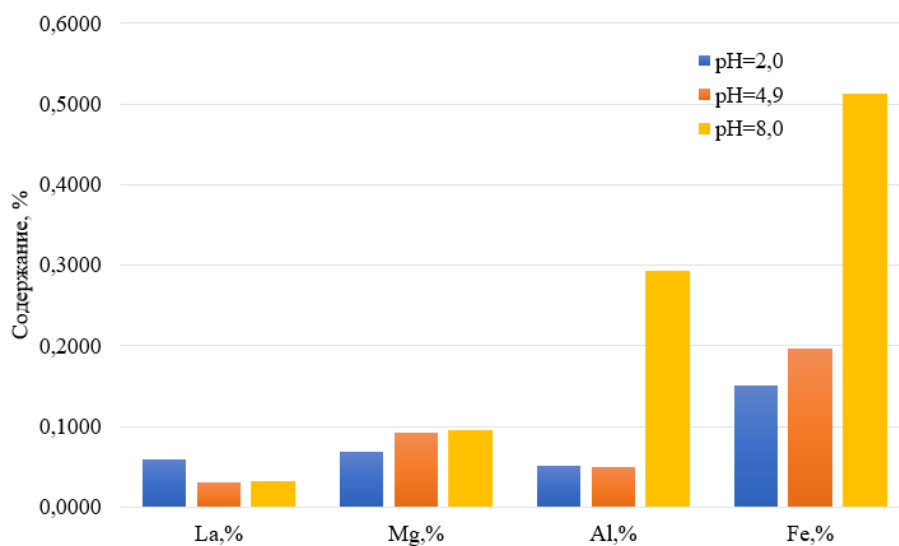


Рисунок 1. Распределение элементов в осадке после осаждения щавелевой кислотой в зависимости от pH

Проведенные исследования подтверждают принципиальную возможность и технологическую эффективность переработки отходов углеродной переработки Кузбасса с целью извлечения РЗЭ. Наиболее перспективной является схема, включающая сернокислотное выщелачивание с последующим селективным осаждением лантана щавелевой кислотой в кислой среде (pH=2,0), что позволяет концентрировать целевой продукт при минимальном содержании примесей железа и алюминия. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию параметров процесса (pH, концентрация реагентов, температура и методы очистки осадков на промежуточных стадиях) с целью получения высокочистого редкоземельного концентрата.

Список литературы:

1. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2024 году». Кемерово, 2025, 205 с. Режим доступа URL: <https://eco.kemobl.ru/informaciya/doklady-o-sostoyanii-okruzhayushej-sredy/> (дата обращения 05.11.2025).
2. Минус 760 млн т: российские предприятия задекларировали на 8% меньше отходов [Электронный ресурс] // Экспертно-аналитический центр «Финэкспертиза». – 2025. – 24 января. – URL: https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2025/otkhodov-menshe/?sphrase_id=39753 (дата обращения: 05.07.2024).
3. Харионовский А. А., Гришин В. Ю., Коликов К. С., Удалова Н. П. Проблемы использования отходов угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10-1. – С. 45-55.
4. Черкасова, Т. Г. Определение состава отходов углеперерабатывающего предприятия ПАО ЦОФ «Березовская»/ Т.Г. Черкасова, М.О. Пилин, А.В. Тихомирова и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 90-95.
5. Blengini, G.A.; Nuss, P.; Dewulf, J.; Nita, V.; Talens Peiró, L.; Vidal-Legaz, B.; Latunussa, C.; Mancini, L.; Blagoeva, D.; Pennington, D.; et al. EU methodology for critical raw materials assessment: Policy needs and proposed solutions for incremental improvements. *Resour. Policy* 2017, 53, 12–19
6. Белоусова К.О, Извлечение лантана из отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» методом перколяционного выщелачивания // Россия молодая: Сборник материалов XVII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2025.
7. Chi, R.; Xu, Z. A solution chemistry approach to the study of rare earth element precipitation by oxalic acid. *Metall. Mater. Trans. B* 1999, 30, 189–195.
8. Kenneth N. Han. Characteristics of Precipitation of Rare Earth Elements with Various Precipitants. *Minerals* 2020, 10(2), 178.
9. Большаков, К. А. Химия и технология редких и рассеянных элементов. Ч. II : учеб. пособие для вузов / К. А. Большаков. Москва : Высшая школа, 1976. – 360 с.