

ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ TECHNOLOGY OF INORGANIC SUBSTANCES

Научная статья

УДК 669.054.82.83

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66

АНАЛИЗ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ, УГЛЕПЕРЕРАБОТКИ И УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Черкасова Татьяна Григорьевна, Черкасова Елизавета Викторовна,
Тихомирова Анастасия Владимировна, Пилин Максим Олегович,
Баранцев Денис Александрович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

для корреспонденции: ctg.htnv@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

28 Ноября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

16 декабря 2022 г.

Принята к публикации:

20 декабря 2022 г.

Ключевые слова:

угольные отходы, извлечение,
матричные, редкие и
редкоземельные элементы

Аннотация.

В статье проведен анализ содержания и состава отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения месторождений Кузнецкого угольного бассейна. Рассмотрено использование редкоземельных элементов в различных отраслях промышленности. Проанализирована сырьевая база редких земель в Российской Федерации и возможность использования золошлаковых отходов предприятия теплоэнергетики в качестве сырья для извлечения полезных компонентов. Одна из крупнейших в мире минерально-сырьевая база редкоземельных элементов располагается в Российской Федерации, на долю которой приходится 18 миллионов тонн доказанных запасов редкоземельных элементов (в пересчете на оксиды), что составляет 15% от общемировых запасов. Переработка угольной золы для Российской Федерации наиболее актуальна, т.к. ежегодное количество производимых золошлаковых отходов оценивается в 90 млн. тонн (без учета отвалов пород горнодобывающей промышленности). При этом накопленные объемы золошлаков составляют около 2 млрд. тонн. Также рассмотрено влияние золошлаковых отвалов на экологическую обстановку и схема воздействия этих отходов на окружающую среду. Влияние золошлаковых отходов определены содержания матричных, редких и редкоземельных элементов в угольных отвалах различных регионов Кузбасса. Сделаны выводы о возможности использования отходов как сырья для извлечения полезных компонентов с высокой добавочной стоимостью, а также были определены пути переработки каждого вида отходов.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Черкасова Е.В., Тихомирова А.В., Пилин М.О., Баранцев Д.А. Анализ отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения месторождений Кузнецкого угольного бассейна // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 6 (154). С. 59-66. doi: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66

В современной экономике значительное место занимает использование редкоземельных элементов (РЗЭ), что объясняется их особыми физическими и химическими свойствами, которые имеют решающее значение для производства широкого спектра высокотехнологичных

продуктов, устройств и технологий с широким применением в медицинской, оборонной, аэрокосмической и автомобильной промышленности. Традиционно к группе редкоземельных элементов относят 17 элементов (14 лантаноидов, лантан, иттрий и скандий), кроме скандия из этой группы выделяют легкие редкоземельные элементы (РЗЭ), которые более распространены в природе и легче извлекаются (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний) и тяжелые РЗЭ, которые менее доступны и более сложны для добычи (тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, туллий, иттербий, лютеций, иттрий) [1].

Благоприятными факторами, влияющими на мировой рост потребления РЗЭ, являются развитие микроэлектроники, автомобильной промышленности (электромобили) и переход на возобновляемую энергетику. Так за 2020 год потребление РЗЭ выросло до 240 тыс. т., что по сравнению с двумя последними годами, превысило рост на 10 и 15% соответственно [2] вместо ожидаемого ежегодного темпа роста на 5% [3]. Первенство в потреблении РЗЭ заняли страны-лидеры мировой экономики: Китай (54 %), Япония и Южная Корея (24 %), страны Европы (Германия и Франция, 13 %), США (8 %). Годовой объем мирового рынка РЗЭ превышает 15 млрд долларов [4] и на 2016 год большая часть производства приходилась на Китай (85%) и Австралию (10%), а остальная часть распределялась между Малайзией, Бразилией, Индией, Россией и Вьетнамом. При этом мировой рынок промышленных товаров, содержащих РЗЭ, оценивается в 1,5 - 2 триллиона долларов США [1].

Одна из крупнейших в мире минерально-сырьевая база РЗЭ располагает в Российской Федерации, на долю которой приходится 18 миллионов тонн доказанных запасов РЗЭ (в пересчете на оксиды), что составляет 15% от общемировых запасов [5]. На внутреннем российском рынке спрос на РЗЭ невысок, около 2 тыс. т в год (2-3 % от мирового потребления), с соотношением легкой и среднетяжелой группы 90 и 10 % соответственно [4]. При таких небольших масштабах выпускаемой продукции от 65 до 98% произведенного продукта экспортируется. Основным потребителям редкоземельных элементов в России являются: «Ростех» 70%, «Росатом» 20 - 25%, остальные 5 - 10% используют в металлургии, нефтехимии (ОАО «Газпром нефтехим Салават», ОАО «Газпром-ОНПЗ») и других сферах [6]. К причинам столь низкого спроса относятся:

- техническое отставание ряда отраслей промышленности России от мирового уровня, что не позволяет вносить весомый вклад в экономику страны за счет высокой добавленной стоимости конечной продукции;

- разброс процентного содержания РЗЭ в рудах и различный состав металлов, требующий наличия сложных и дорогостоящих технологий отделения РЗЭ друг от друга и выделения индивидуальных металлов [4];

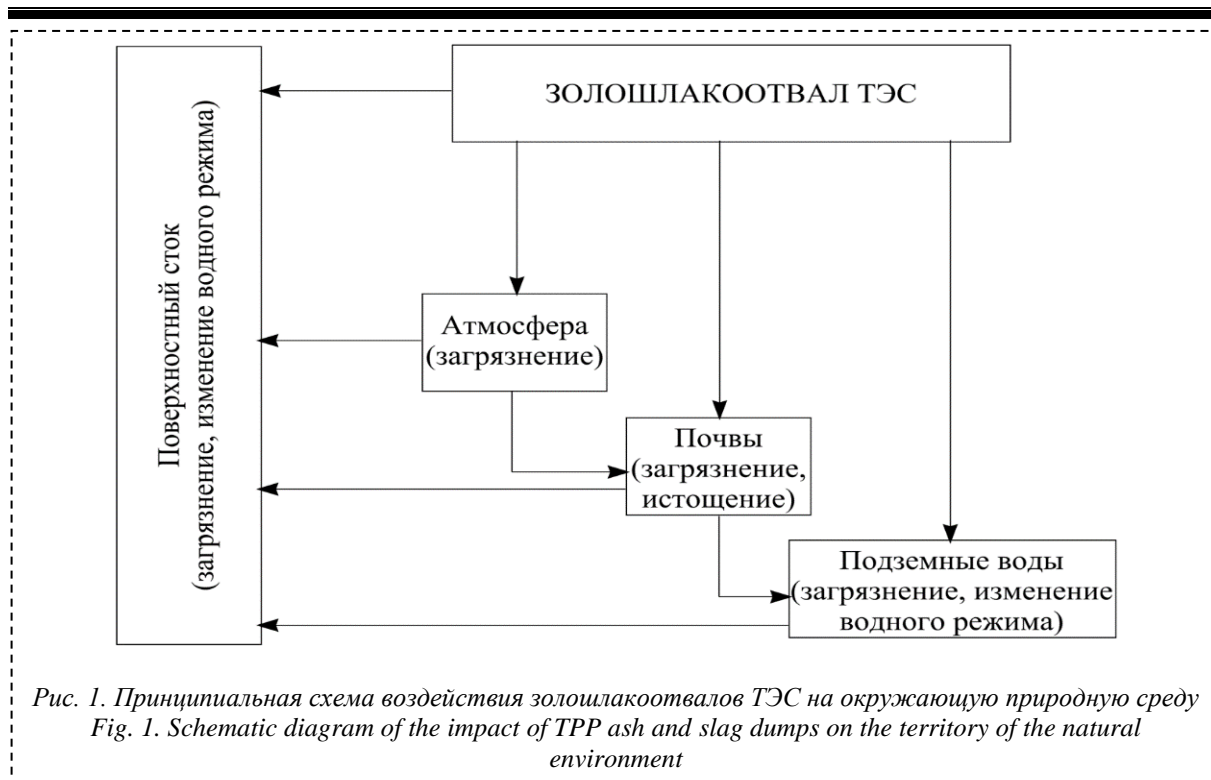
- большая часть минерально-сырьевой базы находится в бедных комплексных рудах, где редкие металлы являются попутными компонентами и имеют низкое содержание 0,32 % (в пересчете на оксиды) против 5 % в зарубежных месторождениях.

- отдаленное расположение месторождений.

Большое внимание уделяется проектам по поиску перспективных источников редкоземельного сырья, таких как переработка промышленных отходов и вторичного сырья, глубоководная добыча пород, переработка угольной золы и рециркуляция отходов, содержащих РЗЭ [2, 5].

Переработка угольной золы для Российской Федерации наиболее актуальна, т.к. ежегодное количество производимых золошлаковых отходов (ЗШО) оценивается в 90 млн. тонн (без учета отвалов пород горнодобывающей промышленности). При этом накопленные объемы ЗШО составляют около 2 млрд. тонн [7]. Данная проблема требует решение в ближнесрочной перспективе так как является природоохранной проблемой. Золошлаки, образующиеся от сжигания угля на ТЭС, являются крупнотоннажными отходами. Для их транспортировки применяются системы гидро- и пневмозолоудаления. В основном, золошлаки транспортируются в виде пульпы низкой концентрации для размещения в гидрозолоотвалах, которые являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды при производстве энергии [8].

Строительство и эксплуатация технологического хозяйства на ТЭС по сбору, транспортировке и хранению золошлаковых отходов требует значительных капитальных затрат, а также расходов на его обслуживание. Отвалы золошлаковых материалов занимают большие площади, уход за ними требует значительных эксплуатационных расходов. Размещение



золошлаков на золоотвале сопряжено с определенным воздействием на окружающую природную среду и значительными затратами. Срок службы золоотвала ограничен технической возможностью, условием надежности и экологической безопасностью.

Золошлакоотвалы являются объектами повышенной экологической опасности за счет:

- фильтрации в подземные горизонты отвалной воды, обогащенной растворимыми зольными компонентами;
- неизбежного сброса избытков осветленной воды в поверхностные водоисточники;
- отчуждения земель;
- деформации поверхности, изменение рельефа;
- загрязнения токсичными элементами, тяжелыми металлами;
- снижения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур;
- загрязнения дымовыми газами;
- пыления золоотвалов при транспортировке, складировании и ветровой эрозии;
- сокращения численности видов лесов, растительности, животных, биоты; изменение биоразнообразия;
- ухудшения эколого-эстетического состояния поверхностных водотоков [9].

В процессе временного или постоянного складирования золошлакового материала формируется фильтрационный поток, содержащий находящиеся в золошлаковых материалах водорастворимые соединения, многие из которых являются токсичными (соединения мышьяка, селена, ванадия, фтора, хрома). Фильтрационный поток оказывает неблагоприятное воздействие как на золоотвал в целом, включая его основание, так и на окружающую среду [10].

Почвы испытывают воздействие золоотвала за счет осаждения пыли из атмосферного воздуха.

В связи с незначительными выбросами загрязняющих веществ в атмосферу при складировании золошлаков специальных мер по контролю над загрязнением атмосферного воздуха не предусмотрено. Предприятием осуществляется только визуальное наблюдение за степенью запыленности [11].

Золошлаковые отходы создают опасность загрязнения окружающей среды содержащимися в них токсичными веществами и тяжелыми металлами. Золоотвалы способствуют возникновению техногенно-трансформированных ландшафтов и условий развития антропогенно-преобразованных почв - хемозёмов. В зонах воздействия золоотвалов формируются неблагоприятные экологические ситуации из-за пылеобразования, а также вымывания компонентов золы, попадания их в почву и подземные воды, что, в свою очередь,

Таблица 1. Минимальные содержания малых элементов, определяющие возможную их промышленную значимость как источников рудного сырья
 Table 1. Minimum contents of minor elements, which determine their possible industrial significance as sources of ore raw materials

Элемент	Содержание, г/т		Элемент	Содержание, г/т	
	угли	зола		угли	зола
Бериллий	5	20	Ниобий	10	50
Бор	2000	10000	Олово	20	100
Ванадий	100	500	Палладий	0,005	0,025
Висмут	1	5	Платина	0,005	0,025
Вольфрам	30	150	Рений	0,1	0,5
Галлий	20	100	Рубидий	35	175
Гафний	5	25	Ртуть	1	5
Германий (кокс.)	3,5	-	Серебро	1	5
Германий (энерг.)	30	150	Селен	1	5
Золото	0,02	0,1	Свинец	240	1200
Индий	0,2	1	Скандий	10	50
Иттербий	1,5	7,5	Сурьма	30	150
Иттрий	15	75	Стронций	400	2000
Кадмий	1	5	Таллий	1	5
Кобальт	20	100	Тантал	1	5
Лантан	150	750	Теллур	1	5
Литий	35	175	Титан	1500	7500
Марганец	2000	10000	Хром	1400	7000
Медь	100	500	Цезий	30	150
Молибден	6	30	Цинк	400	2000
Никель	100	500	Цирконий	120	600

оказывает негативное воздействие на растительность и здоровье человека. Между тем, в золах и шлаках концентрируется большое количество ценных элементов. По содержанию алюминия, меди, лития, титана, галлия, скандия зола приближаются к рудам, имеющим промышленное значение. Утилизация золошлаков позволяет использовать техногенное сырье взамен природного и решать экологические проблемы.

В результате возрастания потребительских тенденций в экономическом развитии стремительно нарастает экологический кризис, вызванный загрязнением окружающей среды отходами производства и потребления, так называемый кризис «редуцентов». На сегодняшний день остро встала проблема с уже образовавшимися и накопившимися промышленными и бытовыми отходами, среди которых одно из первых мест по объему занимают зола и шлаки. Их опасные свойства усугубляются в процессе длительного хранения, так как токсичные компоненты концентрируются [12].

Под золоотвалами крупнейших теплоэлектростанций находятся тысячи гектаров земли, выведенной из сельскохозяйственного оборота. Количество образующихся золошлаковых отходов неуклонно растёт и в Кемеровской области-Кузбассе.

Для выявления того, какие именно отходы пригодны к переработке и выделению редких и редкоземельных элементов, необходимо проводить исследование содержания в них этих элементов. Не каждая концентрация пригодна для выделения без дополнительного концентрирования. Минимальные содержания малых элементов, определяющие возможную их промышленную значимость, как источников рудного сырья представлены в таблице 1 [13-15].

При проведении исследований отходов (золошлаки) теплоэнергетических предприятий Кемеровской области-Кузбасса выявлены следующие содержания малых элементов (Табл.2)

Сравнивая данные, представленные в таблицах 1 и 2, можно сделать вывод о том, что золошлаки Кузнецких углей содержатся промышленно значимые кондиции циркония, ниобия, галлия, молибдена, ванадия, селена, гафния и золота. Особенно важно отметить, что в золошлаковых отходах имеется значительное количество редкоземельных металлов иттриевой группы, представляющих высокую и непрерывно растущую ценовую категорию вследствие

Таблица 2. Средние содержания редких и редкоземельных элементов в золошлаковых отходах теплоэнергетических предприятий Кемеровской области-Кузбасса
Table 2. Average content of rare and rare earth elements in ash and slag wastes of thermal power enterprises of the Kemerovo region-Kuzbass

Малые элементы			
Название	Интервалы содержания, г/т	Название	Интервалы содержания, г/т
Стронций	139 – 1100	Германий	0,69 – 1,00
Цирконий	200 – 2000	Уран	4,0 – 7,8
Ниобий	15,1 – 570,0	Теллур	0,055 – 0,630
Тантал	0,63 – 2,20	Свинец	8,8 – 50,0
Галлий	7,8 – 320,0	Олово	1,1 – 6,2
Молибден	0,62 – 420,00	Кадмий	0,093 – 0,99
Вольфрам	0,94 – 2,90	Селен	4,4 – 8,9
Ванадий	670 – 1600	Сурьма	0,74 – 4,20
Рубидий	25 – 106	Скандий	11,8 – 21,0
Цезий	3,1 – 7,5	Иттрий	26 – 50
Литий	41 – 63	Лантан	36 – 42
Бериллий	2,3 – 4,8	Церий	65 – 119
Хром	44 – 134	Празеодим	7,6 – 10
Кобальт	14,1 – 51,0	Неодим	30 – 100
Никель	34 – 141	Самарий	6,6 – 30
Барий	365 – 2016	Европий	1,1 – 1,9
Селен	4,4 – 8,9	Гадолиний	5,3 – 8,9
Висмут	0,027 – 0,83	Тербий	0,82 – 1,5
Серебро	0,6-0,087	Диспрозий	4,5 – 7,4
Золото	0,028 – 4,6	Гольмий	0,93 – 1,80
Рутений	0,001 – 0,02	Эрбий	2,8 – 4,8

большой востребованности в высокотехнологичных отраслях современной экономики. Содержание редких и редкоземельных элементов в образцах всех исследованных золошлаковых отходов имеет фактически одинаковый порядок, поэтому при предварительном обогащении в качестве сырья могут быть использованы золы всех представленных предприятий Кузбасса.

При комплексной переработке отходов с изготовлением, например, сторойматериалов и выделением магнитной фракции, золошлаковые отходы Кузнецких углей перспективны для извлечения концентратов ценных редких и редкоземельных элементов, и отработанные технологии их извлечения создадут возможности для получения востребованных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dutta T. Global demand for rare earth resources and strategies for green mining // Environmental Research, 2016. – V. 150. – P. 182-190.
2. Patil A. B. Separation and Recycling Potential of Rare Earth Elements from Energy Systems: Feed and Economic Viability Review // Separations, 2022. – V. 9. - Is. 56. – P. 1-15.
3. Baolu Z. Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies // Minerals, 2017. – V. 7. – P. 1-14.
4. Сергеев И. Б. Стимулы создания конкурентоспособной редкоземельной промышленности в России в условиях глобальной конкуренции. // Записки Горного института. 2015. - Т. 211. – С.104-116.
5. Яценко В. А. Формирование новых редкоземельных минерально-сырьевых источников сырья на примере Республики Саха (Якутия) // Журнал Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. – Т. 3. - № 1. - С. 248-256.
6. Крюков В.А., Зубкова В.А. Реиндустриализация без своих РЗМ? // ЭКО. 2016. – №8. – С. 5–24.
7. Пичугин Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. - № 4. – С. 77-87.
8. Мешалкин В., Гарабаджу А. О пользе бесполезного. Газета Поиск. - М: 2021. С.10-11.

9. Альбов М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1975. - С. 18-23.
10. Галинов Ю.Н., Култышев В.И., Решетников А.А. Твердеющая закладка при разработке месторождений урановых руд // Горн. журн. 1993. - № 3.
11. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды в Челябинской области за 2010г. Санкт-Петербург, 2010. - 157 с.
12. Бочаров В. Л. Крамарев П. Н., Строганова Л. Н. Геоэкологические аспекты прогноза изменения окружающей среды в районах полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Вестник Воронежского университета. Геология. - 2005. - № 1. - С. 233-240.
13. Рашевский В.В., Артемьев В.Б., Силютин С.А. Качество углей ОАО «СУЭК». – М Кучково поле, 2011. – 576 с.
14. Черкасова Т.Г., Исакова И.В., Тихомирова А.В., Черкасова Е.В., Головачев А.А. Выделение концентратов редких и редкоземельных элементов из золошлаковых отходов Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – №2. – С. 35-39.
15. Черкасова Т.Г., Исакова И.В., Тихомирова А.В., Черкасова Е.В., Головачев А.А. Определение промышленно значимых кондиций редких элементов в золошлаковых отходах Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – №5. – С. 37-44.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Черкасова Татьяна Григорьевна, доктор химических наук, проф., директор института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Черкасова Елизавета Викторовна, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: chev.htnv@kuzstu.ru

Тихомирова Анастасия Владимировна, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Пилин Максим Олегович, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

Баранцев Денис Александрович, ассистент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kemche@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Черкасова Татьяна Григорьевна - постановка исследовательской задачи;

Черкасова Елизавета Викторовна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных;

Тихомирова Анастасия Владимировна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Пилин Максим Олегович - обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Баранцев Денис Александрович - обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ANALYZES OF WASTE FROM COAL MINING, COAL REFINING AND COAL ENRICHMENT OF DEPOSITS OF THE KUZNETSK COAL BASIN

Tatiana G. Cherkasova, Elizaveta V. Cherkasova,
Anastasia V. Tikhomirova, Maxim O. Pilin,
Denis A. Barancev

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

for correspondence: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Article info**

Submitted:

28 November 2022

Approved after reviewing:

16 December 2022

Accepted for publication:

20 December 2022

Keywords: coal waste,
extraction, matrix, rare and rare
earth elements

Abstract.

The article analyzes the content and composition of waste from coal mining, coal refining and coal enrichment of deposits of the Kuznetsk coal basin. The use of rare earth elements in various industries is considered. The raw material base of rare earths in the Russian Federation and the possibility of using ash and slag waste of a thermal power plant as raw materials for extracting useful components are analyzed. One of the world's largest mineral resource base of rare earth elements is located in the Russian Federation, which accounts for 18 million tons of proven reserves of rare earth elements (in terms of oxides), which is 15% of the global reserves. Coal ash processing is the most relevant for the Russian Federation, since the annual amount of ash and slag waste produced is estimated at 90 million tons (excluding dumps of rocks of the mining industry). At the same time, the accumulated volumes of ash and slag amount to about 2 billion tons. The influence of ash and slag dumps on the ecological situation and the scheme of the impact of these processes on the environment are also considered. Influence of ash and slag waste The contents of matrix, rare and rare earth elements in coal dumps of various regions of Kuzbass were determined. Conclusions were drawn about the possibility of using waste as a raw material for extracting useful components with high added value, and ways of processing each type of waste were determined.

For citation: Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V., Pilin M.O., Barancev D.A. Analyzes of waste from coal mining, coal refining and coal enrichment of deposits of the kuznetsk coal basin. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 6(154):59-66. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66

REFERENCES

1. Dutta T. Global demand for rare earth resources and strategies for green mining // *Environmental Research*, 2016. – V. 150. – P. 182-190.
2. Patil A. B. Separation and Recycling Potential of Rare Earth Elements from Energy Systems: Feed and Economic Viability Review // *Separations*, 2022. – V. 9. - Is. 56. – P. 1-15.
3. Baolu Z. Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies // *Minerals*, 2017. – V. 7. – P. 1-14.
4. Sergeev I. B. Incentives for creating a competitive rare earth industry in Russia in the context of global competition. // *Notes of the Mining Institute*. 2015. - T. 211. - P.104-116.
5. Yatsenko V. A. Formation of new rare earth mineral sources of raw materials on the example of the Republic of Sakha (Yakutia) // *Journal of Interexpo Geo-Siberia*. 2021. - T. 3. - No. 1. - P. 248-256.
6. Kryukov V.A., Zubkova V.A. Reindustrialization without their REM? // *ECO*. 2016. - No. 8. – P. 5–24.
7. Pichugin E. A. Analytical review of the experience accumulated in the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants in the economic turnover // *Problems of regional ecology*. 2019. - No. 4. - P. 77-87.
8. Meshalkin V., Garabadjju A. O polze bespoleznogo. *Gazeta Poisk*. – M: 2021. P.10 - 11.
9. Albov M.N. Oprobovanie mestorojdenii poleznych iskopaemih. 5 – e izd. _pererab. i dop. - M.- Nedra- 1975. - P. 18 - 23.
10. Galinov Y.N., Kultishev V.I., Reshetnikov A.A. Tverdeyuschaya zakladka pri razrabotke mestorojdenii uranovih rud // *Gorn. jum.* 1993. – № 3.

11. Gosudarstvennii doklad o sostoyanii okrujayuschei prirodnoi sredi v Chelyabinskoi oblasti za 2010g. Sankt – Peterburg. – 2010. – 157 s.
12. Bocharov V.L., Kramarev P.N., Stroganova L.N. Geoekologicheskie aspekty prognoza izmeneniya okrujayuschei sredi v raionah poligonov zahoroneniya zoloshlakovich othodov teploelektrostantsii // Vestnik Voronejskogo universiteta. Geologiya. – 2005. – № 1. – P. 233-240.
13. Rashevskii V.V., Artemev V.B., Silyutin S.A. Kachestvo uglei OAO «SUEK». – M Kuchkovo pole, 2011. – 576 p.
14. Cherkasova T.G., Isakova I.V., Tikhomirova A.V., Cherkasova E.V., Golovachev A.A. Isolation of concentrates of rare and rare earth elements from ash and slag waste of Kuzbass // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2021. – No. 2. – P. 35-39.
15. Cherkasova T.G., Isakova I.V., Tikhomirova A.V., Cherkasova E.V., Golovachev A.A. Determination of industrially significant standards of rare elements in ash and slag wastes of Kuzbass // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2021. – No. 5. – P. 37-44.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Tatiana G. Cherkasova, Dr. Sc. in Chemistry, Professor, Director of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyyaya Str., 28), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Elizaveta V. Cherkasova, C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyyaya Str., 28), e-mail: chev.htnv@kuzstu.ru

Anastasia V. Tikhomirova, C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyyaya Str., 28), e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Maxim O. Pilin, senior lecturer, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyyaya Str., 28), e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

Denis A. Barancev, assistant, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyyaya Str., 28), e-mail: kemche@yandex.ru

Contribution of the authors:

Tatiana G. Cherkasova - statement of the research problem;

Elizaveta V. Cherkasova – review of relevant literature, collection and analysis of data;

Anastasia V. Tikhomirova – review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, text writing;

Maxim O. Pelin - review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, text writing;

Denis A. Barantsev - review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing of the text.



All authors have read and approved the final manuscript.