

## References

1. Koroteeva L.I. Technology and equipment for the production of fibers and threads for special purposes. Moscow, INFRA-M Publ., 2019, 288 p. (In Russ.).
2. Sidorov O.F. & Seleznev A.N. Prospects of production and improvement of consumer properties of coal electrode pitches. *Rossiyskij khimicheskij zhurnal*, 2006, Vol. 1, (1), pp. 16-25. (In Russ.).
3. Rudyka V.I. & Malina V.P. Steel, coke, coal in 2010 and beyond – state, post-crisis forecasts and prospects. *Koks i Khimiya*, 2010, (12), pp. 2-11. (In Russ.).
4. Kuznetsov P.N., Marakushina E.N., Buryukin F.A. & Ismagilov Z.R. Obtaining alternative pitches from coal. *Khimiya v interesakh ustojchivogo razvitiya*, 2016, No. 24, pp. 325-333. (In Russ.).
5. Kuznetsov P.N., Safin V.A., Avid B., Kuznetsova L.I., Purevsuren B. & Ismagilov Z.R. Thermal dissolution of coals of a series of metamorphism in the anthracene fraction of coking resin: analysis of correlations with chemical and technological properties of coals. *Khimiya tveyordogo topliva*, 2021, (2), pp. 3-12. (In Russ.).
6. Andreikov E.I. Obtaining of oil-coal pitches by joint distillation of coal tar and heavy pyrolysis resin. *Koks i Khimiya*, 2010, (8), pp. 39-46. (In Russ.).
7. Coal production in Kuzbass increased by 10% in 2021, 2022. [Electronic resource]. Available at: URL:m <https://neftegaz.ru/news/coal/721858-dobycha-uglya-v-kuzbasse-v-2021-g-uvlechilas-na-10/> (accessed 15.02.2023). (In Russ.).
8. Vetoshkina I.S., Solodov V.S., Subbotin S.P., Vasileva E.V., Cherkasova T.G. & Nevedrov A.V. Valuable products from coal tar. *Coke and Chemistry*, 2019, Vol. 62, (2), pp. 66-68.

9. Vetoshkina I.S., Solodov V.S., Subbotin S.P., Cherkasova T.G., Vasileva E.V. & Nevedrov A.V. Solution of coking coal in the anthracene fraction of coal tar at PAO Koks. *Coke and Chemistry*, 2019, Vol. 62, (6), pp. 245-248.
10. Russo G., Giajolo A., Stanzione F. et al. Investigation on chemical and structural properties of coal- and petroleum derived pitches and implications on physic-chemical properties. *Fuel*, 2019, (245), pp. 479-486.
11. Guoli Zhang, Taotao Guan, Juncheng Wu et. al. Tailor-made C-CL bond towards rapid homogeneous stabilization of low-softening-point coal tar pitch. *Fuel*, 2020, (284), pp. 1-9.
12. List of coal enterprises of Russia, 2021. [Electronic resource]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_coal\\_enterprises\\_Russia\\_federation#Kemerovo\\_region](https://ru.wikipedia.org/wiki/List_of_coal_enterprises_Russia_federation#Kemerovo_region) (accessed 15.02.2023). (In Russ.).

## Acknowledgements

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1193).

## For citation

Cherkasova T.G., Nevedrov A.V. & Papin A.V. Analysis of the Kuzbass coal base for selection of raw materials for the pitch production technology. *Ugol*, 2023, (2), pp. 62-65. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-62-65.

## Paper info

Received February 7, 2023

Reviewed February 15, 2023

Accepted February 27, 2023

Оригинальная статья

УДК 662.613.654.1:669.85 © Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова, А.А. Головачев, 2023

## Редкие элементы в отходах углепереработки Кузбасса\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-65-68>

При сгорании и обогащении углей образуются шлаковые и шламовые отходы, являющиеся источником загрязнения окружающей среды. Вместе с тем эти техногенные образования можно рассматривать как лежащий на поверхности источник ценных компонентов, используемых в высокотехнологичных производствах и имеющих высокую добавленную стоимость. Для оценки содержания редких элементов выполнен анализ золошлаковых и шламовых отходов некоторых предприятий теплоэнергетики и обогатительных фабрик Кемеровской области – Кузбасса. Настоящая работа посвящена результатам изучения шламов одного из предприятий Кузбасса – ПАО ЦОФ «Березовская». Исследования показали возможность и перспективность комплексной переработки отходов с последовательным извлечением ряда компонентов, в том числе редких и редкоземельных элементов.

**Ключевые слова:** уголь, золошлаки, угольные шламы, элементный анализ, редкие и редкоземельные элементы.

**Для цитирования:** Редкие элементы в отходах углепереработки Кузбасса / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова и др. // Уголь. 2023. № 3. С. 65-68. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-65-68.

**ЧЕРКАСОВА Т.Г.**

Доктор хим. наук, профессор,  
директор Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

**ЧЕРКАСОВА Е.В.**

Канд. хим. наук, доцент,  
доцент Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: chev.htnv@kuzstu.ru

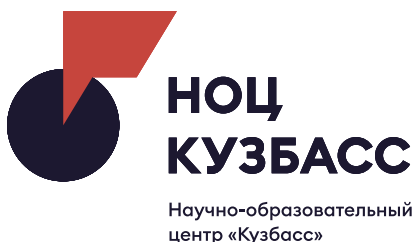
\* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

**ТИХОМИРОВА А.В.**

Канд. хим. наук, доцент,  
доцент Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

**ГОЛОВACHEV А.А.**

Магистрант Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: andrei\_golovachevbotik@mail.ru



**ВВЕДЕНИЕ**

Редкие и редкоземельные металлы являются высоколиквидным коммерческим ресурсом [1]. В настоящее время в мире в соответствии с созданием и развитием высокотехнологичных производств сохраняется устойчивый рост потребления и производства редких и редкоземельных элементов (РиРЗЭ), являющийся показателем экономического развития и национальной безопасности [2]. В России практически отсутствует собственное производство РиРЗЭ, необходимые объемы импортируются, хотя разведанные запасы, в частности РЗЭ, составляют 15% от общемировых [3]. Помимо рудных месторождений для получения РиРЗЭ интерес представляют отходы предприятий теплоэнергетики и обогатительных фабрик: угольные шлаки и шламы. Их переработка, в частности, в угледобывающем регионе – Кемеровской области – Кузбассе, где накапливаются гигантские по масштабам массы угольных отходов, крайне актуальна и является важным направлением природоохраненных мер, уменьшающих экологический ущерб [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Однако, являясь дешевым материалом, практически лежащим на поверхности, угольные отходы имеют сложный и непостоянный состав, что требует разработки отдельных концептуальных технологических решений.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Настоящая работа является продолжением наших исследований содержания РиРЗЭ в золошлаковых и шламовых отходах некоторых предприятий теплоэнергетики и обогатительных фабрик Кемеровской области – Кузбасса с целью выбора сырья для возможности выделения ценных компонентов [12, 13, 14]. Редкие, редкоземельные и рассеянные элементы в промышленно значимых концентрациях имеются во всех угледобывающих районах Кузбасса. Так, например, в среднем в кузнецких углях присутствуют: редкоземельные элементы, ниобий, иттрий, цирконий, серебро, золото, стронций, ванадий и др. С учетом извлечения элементов в совокупности из техногенного сырья полезных компонентов с высокой добавленной стоимостью можно получать до 1/3 от общей массы отходов. Существующие к настоящему времени кондиции для извлечения суммы РЗЭ составляют 0,1-0,5% для эндогенных руд, в коре выветривания – до 10,0%. Для каменных углей кондиции по сумме РЗЭ не разработаны, но их предельные содержания в кузнецких ЗШМ могут составить не менее 1,4%. Следует отметить, что элементный состав шламов обогатительных фабрик изучен в значительно меньшей степени, чем шлаковые отходы теплоэнергетики. В данной работе представлены результаты исследования шламов одного из предприятий Кузбасса – ПАО ЦОФ «Березовская», представляющих собой смесь горных пород и угля. Эти отходы направляются в отвалы, негативно действующие на атмосферу, почву и воду.

Исследованы: порода (после тяжелосредней сепарации и отсадки); промпродукт (в основном после тяжелосредней сепарации); флотационный кек (после флотации) [15]. В табл. 1 представлены результаты определения зольности отходов обогащения.

Полученные результаты показывают уменьшение содержания горючей части отходов обогащения каменного угля в следующем порядке: промпродукт с тяжелосредней сепарации – кек с флотации – порода с отсадки – порода с тяжелосредней сепарации. Высокое содержание горючей составляющей в промпродукте и

Таблица 1

**Зольность отходов обогащения каменного угля**

Ash content in coal washery refuse

Название пробы	A <sup>d</sup> , %
Порода с тяжелосреднего сепаратора	85,3
Промпродукт с тяжелосреднего сепаратора	37,7
Порода с отсадки	85,3
Флотационный кек	58,5

**Химический состав минеральной части отходов обогащения каменного угля**

Chemical composition of the mineral fraction of coal washery refuse

Минеральный компонент	Порода с сепаратора	Промпродукт с сепаратора	Порода с отсадки	Кек
	% (масс.)			
SiO <sub>2</sub>	61,472	47,726	64,310	56,067
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,818	18,004	19,155	18,553
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,337	8,380	4,648	8,474
CaO	5,889	15,660	3,946	8,156
K <sub>2</sub> O	4,202	3,339	4,585	3,821
Na <sub>2</sub> O	1,500	1,450	1,300	1,220
TiO <sub>2</sub>	0,827	0,896	0,845	0,850
SO <sub>3</sub>	0,625	4,004	0,876	2,444
MnO	0,094	0,188	0,067	0,079
ZnO	0,015	0,027	0,016	0,023
CuO	0,009	0,011	0,010	0,011
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,044	0,047	0,059	0,043
PbO	0,003	0,003	0,003	0,002
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,054	0,077	0,058	0,073
SrO	0,037	0,121	0,035	0,093
ZrO <sub>2</sub>	0,029	0,022	0,030	0,031
Rb <sub>2</sub> O	0,019	0,017	0,021	0,016
Ir <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,007	0,007	0,007	0,006
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,007	0,007	0,005	0,010
NiO	0,007	0,013	0,009	0,006
ThO <sub>2</sub>	0,001	–	0,002	–
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	–	0,004	–
Ag <sub>2</sub> O	–	–	0,008	–
Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	0,001	–
PdO	–	–	–	0,016
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	0,003
NbO	–	–	–	0,003

кеке позволяет предполагать возможность их использования в качестве высокозольного топлива. Значительное содержание минеральных компонентов в породе с сепараторов и отсадочных машин дает возможность рассматривать их применение в качестве строительных материалов и сырья для получения концентратов ценных элементов [16,17].

Химический состав минеральной части образцов определялся на рентгенофлуоресцентном спектрометре «SHIMADZU EDX-7000P». Данные по определению химического состава золы, полученной после сжигания образцов, представлены в табл. 2.

Химический состав золы представлен преимущественно оксидами кремния, алюминия, железа и кальция; в меньшей степени – оксидами магния, калия, натрия, серы, фосфора, титана и марганца. Суммарное содержание этих элементов составляет 99,7-99,8 масс.%. К ценным компонентам минеральной части отходов углеобогащения относятся редкие, рассеянные и редкоземельные элементы. Их суммарное содержание составляет 0,2-0,3 масс.%.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Рентгенофлуоресцентный метод дает лишь оценочную картину содержания микрокомпонентов в отходах.

Однако проведенные исследования дали возможность обнаружить в образцах стронций, рубидий, иттрий, иридий и другие редкие и цветные металлы. Следует отметить высокое содержание алюминия, что может быть интересно в качестве сырья для промышленности.

**Список литературы**

1. Данилов О.С., Белов А.В., Гребенюк И.В. Переработка золошлаковых отходов с извлечением редких металлов как ключевой фактор социально-экономического и экологического благополучия угледобывающих стран // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 7. С.16-22.
2. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий // Труды ВИАМ. 2013. № 2. С.1-14.
3. Яценко В.А. Формирование новых редкоземельных минерально-сырьевых источников сырья на примере Республики Саха (Якутия) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т.3. № 1. С.248-256.
4. Арбузов С.И., Ершов В.В., Рихванов А.П. Редкие элементы в углях Кузбасса. Кемерово, 1999. 248 с.
5. Новиков Н.И., Салихов В.А. Некоторые аспекты экономической оценки техногенных месторождений как перспективного сырья для металлургической промышленности // Вестник ТГУ. 2016. № 1. С. 38-53.

6. Комплексное использование золошлаковых отходов / О.В. Афанасьев, Г.Р. Мингалеева, А.Д. Добронравов и др. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 26-36.
7. Hlopitskiy A. Study of Complex Recovery of Solid Slag Waste from Thermal Power Plants in the Target Components // Chemical and Materials Engineering. 2015. No 3. P. 1-5.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 538 с.
9. Маркидонов А.В., Салихов В.А., Лубяной Д.А. Кластерный анализ содержания примесей в золошлаковых отходах кузнецких углей // Вестник КузГТУ. 2019. № 6. С. 29-36.
10. Мелентьев Г.Б. Перспективы развития промышленности редкоземельных металлов в России // Цветная металлургия. 2016. № 1. С. 54-61.
11. Мелентьев Г.Б. Редкоземельные приоритеты в России // Редкие земли. 2014. № 3. С.18-32.
12. Investigation of content and possibility of extracting matrix and rare elements from ash and slag wastes of heat power plant / T.G. Cherkasova, E.V. Cherkasova, A.V. Tichomirova et al. // Metallurgist. 2021. Vol. 65. No 11. P. 96-100.
13. Отходы углепотребления – перспективное сырье для комплексной переработки с извлечением ценных минеральных компонентов / Т.Г. Черкасова, А.В. Тихомирова, Е.В. Черкасова и др. // Кокс и химия. 2022. № 6. С.26-30.

14. Анализ отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения месторождений Кузнецкого угольного бассейна / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова и др. // Вестник КузГТУ. 2022. № 6. С. 59-66.
15. Технологическая инструкция (регламент) «Исследовать и разработать основные требования к технологическим процессам обогащения угля в ОАО ЦОФ «Березовская». Кемерово, 2013.
16. Федотов К.В., Никольская Н.И., Власова В.В. Экономические и технологические решения проблемы золоотвалов ТЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2003. № 8. С. 234-236.
17. Шпирт М.Я., Артемьев С.А., Силютин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. М.: Горное дело, 2013. 432 с.

Original Paper

UDC 662.613.654.1:669.85 © T.G. Cherkasova, E.V. Cherkasova, A.V. Tikhomirova, A.A. Golovachev, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 3, pp. 65-68  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-65-68>

**Title**  
**RARE EARTH ELEMENTS IN KUZBASS COAL PROCESSING WASTES**

**Authors**

Cherkasova T.G.<sup>1</sup>, Cherkasova E.V.<sup>1</sup>, Tikhomirova A.V.<sup>1</sup>, Golovachev A.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Authors Information**

**Cherkasova T.G.**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Cherkasova E.V.**, PhD (Chemical), Associate Professor, Associate Professor of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: chev.htnv@kuzstu.ru

**Tikhomirova A.V.**, PhD (Chemical), Associate Professor, Associate Professor of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: tav.httt@kuzstu.ru

**Golovachev A.A.**, PhD student of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: andrei\_golovachevbotik@mail.ru

**Abstract**

During the combustion and enrichment of coals, slag and sludge wastes are formed, which are a source of environmental pollution. At the same time, these technogenic formations can be considered as a source of valuable components lying on the surface, used in high-tech industries and having high added value. To assess the content of rare elements, the analysis of ash and slag and sludge waste of some heat power plants and processing plants of the Kemerovo region – Kuzbass was carried out. This work is devoted to the results of studying the sludge of one of the enterprises of Kuzbass – the central processing plant “Berezovskaya”. Researches have shown the possibility and prospects of complex waste processing with the sequential extraction of a number of components, including rare and rare earth elements.

**Keywords**

Coal, Ash slags, Coal sludge, Elemental analysis, Rare and rare earth elements.

**References**

1. Danilov O.S., Belov A.V. & Grebenyuk I.V. Processing of ash and slag waste with extraction of rare metals as a key factor of socio-economic and environmental well-being of coal-mining countries. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2018, (7), pp.16-22. (In Russ.).
2. Kablov E.N., Ospennikova O.G. & Vershkov A.V. Rare metals and rare earth elements – materials of modern and future high technologies. *Trudy VIAM*, 2013, (2), pp.1-14. (In Russ.).
3. Yatsenko V.A. Formation of new rare-earth mineral raw materials sources on the example of the Republic of Sakha (Yakutia). *Interexpo Geo-Sibir*, 2021, Vol. 3, (1), pp.248-256. (In Russ.).
4. Arбузов S.I., Ershov V.V. & Rikhvanov A.P. Rare elements in coals of Kuzbass. Kemerovo, 1999, 248 p. (In Russ.).
5. Novikov N.I. & Salikhov V.A. Some aspects of the economic assessment of technogenic deposits as promising raw materials for the metallurgical industry. *Vestnik TGU*, 2016, (1), pp. 38-53. (In Russ.).

**COAL PREPARATION**

6. Afanasyev O.V., Mingaleeva G.R., Dobronravov A.D. & Shamsutdinov E.V. Complex use of ash and slag waste. *Izvestiya vuzov. Problemy Energetiki*, 2015, (7-8), pp. 26-36. (In Russ.).
7. Hlopitskiy A. Study of Complex Recovery of Solid Slag Waste from Thermal Power Plants in the Target Components. *Chemical and Materials Engineering*, 2015, (3), pp. 1-5.
8. Yudovich Ya.E. & Ketris M.P. Valuable elements-impurities in coals. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2006, 538 p. (In Russ.).
9. Markidonov A.V., Salikhov V.A. & Lubyanyov D.A. Cluster analysis of the content of impurities in ash and slag waste of Kuznetsk coals. *Vestnik KuzGTU*, 2019, (6), pp. 29-36. (In Russ.).
10. Melentyev G.B. Prospects for the development of the rare earth metals industry in Russia. *Tsvetnaya metallurgiya*, 2016, (1), pp.54-61. (In Russ.).
11. Melentyev G.B. Rare earth priorities in Russia. *Redkie zemli*, 2014, (3), pp.18-32. (In Russ.).
12. Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V. et al. Investigation of content and possibility of extracting matrix and rare elements from ash and slag wastes of heat power plant. *Metallurgist*, 2021, Vol. 65, (11), pp. 96-100.
13. Cherkasova T.G., Tikhomirova A.V., Cherkasova E.V. & Shabanov E.A. Coal consumption waste-promising raw materials for complex processing with the extraction of valuable mineral components. *Koks i Khimiya*, 2022, (6), pp. 26-30. (In Russ.).
14. Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V., Pilin M.O. & Barantsev D.A. Analysis of waste from coal mining, coal refining and coal enrichment of deposits of the Kuznetsk coal basin. *Vestnik KuzGTU*, 2022, (6), pp. 59-66. (In Russ.).
15. Technological instruction (regulation) “To investigate and develop the basic requirements for technological processes of coal enrichment at JSC “Berezovskaya”. Kemerovo, 2013. (In Russ.).
16. Fedotov K.V., Nikolskaya N.I. & Vlasova V.V. Economic and technological solutions to the problem of TPP ash dumps. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2003, (8), pp. 234-236. (In Russ.).
17. Shpirt M.Ya., Artemyev S.A., Silyutin S.A. The use of solid waste from coal mining and processing. Moscow, Gornoe Delo Publ., 2013, 432 p. (In Russ.).

**Acknowledgements**

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1194).

**For citation**

Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V. & Golovachev A.A. Rare earth elements in Kuzbass coal processing wastes. *Ugol'*, 2023, (2), pp. 65-68. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-65-68.

**Paper info**

Received February 7, 2023

Reviewed February 15, 2023

Accepted February 27, 2023