

## ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44

УДК 669.054.8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННО ЗНАЧИМЫХ КОНДИЦИЙ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ КУЗБАССА

**Черкасова Татьяна Григорьевна,**  
директор, докт. хим. наук, ctg.htnv@kuzstu.ru

**Исакова Ирина Валериевна,**  
доцент, канд. хим. наук, ivi.htnv.@kuzstu.ru

**Тихомирова Анастасия Владимировна,**  
доцент, канд. хим. наук, tav.htnv.@kuzstu.ru

**Черкасова Елизавета Викторовна,**  
зав. кафедрой, канд. хим. наук, chev.htnv.@kuzstu.ru

**Головачев Андрей Алексеевич,**  
магистрант, andrei\_golovachevbotik@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

#### **Аннотация.**

Использование углей в качестве топлива привело к росту выбросов пыли от теплоэнергетических производств, что катастрофически загрязняет атмосферу Кузбасса, также при работе предприятий теплоэнергетики образуется огромное количество отходов золошлаковых материалов. В связи с этим разработка мероприятий по переработке выше указанных отходов весьма актуальна. Одним из направлений высокоселективных технологий рециклинга является выделение редкоземельных элементов из всех возможных источников, и это весьма целесообразно как с экономической, так и с экологической точек зрения. Проводится работа с целью комплексной разведки и анализа на запасы полезных компонентов золошлаковых материалов для вовлечения этих отходов во вторичную переработку. В статье показано, что для группового определения матричных элементов экономически выгодно использование метода атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) в сочетании с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС). Предпочтение в анализе элементов-примесей в последнее время отдается методу масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Эксперимент проводился с золошлаковыми материалами Кемеровской ГРЭС с целью определения содержания редкоземельных элементов и соответствия требованиям их запаса промышленному кондиционному минимуму по содержанию. Результаты испытаний образцов позволяют заключить, что в золошлаковых отходах имеется значительное количество редкоземельных металлов иттриевой группы, которые обладают большой востребованностью в высокотехнологичных отраслях современной экономики.



#### **Информация о статье**

Поступила:  
01 октября 2021 г.

Рецензирование:  
14 октября 2021 г.

Принята к печати:  
25 октября 2021 г.

#### **Ключевые слова:**

золошлаковые материалы,  
оптико-эмиссионная  
спектроскопия, масс-  
спектрометрия с индуктивной  
плазмой, извлечение,  
переработка, матричные  
элементы, микропримеси

**Для цитирования:** 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 (147). – С. 37-44 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44

В условиях санкционных ограничений ключевым фактором развития страны является разработка новых российских высокотехнологичных материалов и технологий их получения. Климатические зоны, в которых расположена большая часть территории Российской Федерации, предполагают долгий отопительный сезон с большими затратами топлива. В России функционирует более 150 ТЭС, которые работают на угле. В стране утилизируется и используется около 2,5 млн т/г или 10% золошлаковых отходов. Ежегодно размещается в золоотвалах угольных ТЭС 22,5 млн т отходов при уже накопленных 1,5 млрд т [1-10].

Кузбасс – это прежде всего угольный регион. Необходимо рассматривать уголь как комплексное сырье, в котором содержатся ценные химические элементы. При этом традиционное использование угля угрожает экологии региона. Ежегодно на территории Кемеровской области образуется 150-160 млн т отходов углепереработки. При работе предприятий теплоэнергетики образуется огромное количество отходов золошлаковых материалов (ЗШМ), которые загрязняют окружающую среду, причем только 10% всех золошлаковых отходов направляется на утилизацию. Золошлаки являются лежащим на поверхности доступным и практичным сырьем, однако используются их незначительные объемы.

Золошлаковые отходы от ТЭС и местных котельных в Кузбассе ранее не представляли почти никакого интереса для их передела. На территории Кемеровской области отвалы золошлаков от крупных теплоэлектростанций занимали площадь свыше 1125 га с учтенными к 2000 г. ресурсами свыше 70,1 млн т. Ежегодно к ним добавлялось до 5-7 млн т твердых отходов, хранящихся, главным образом, на поверхности. Рост выбросов пыли от теплоэнергетических производств и других источников привел к катастрофически высокому уровню загрязнения атмосферы на территории Кузбасса.

Для вовлечения отходов во вторичную переработку необходима их комплексная разведка и анализ на запасы полезных компонентов. Разработка высокоселективных технологий для выделения РЗЭ из всех возможных источников являются актуальными задачами как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Извлечение ценных цветных и редких металлов возможно из углей и из золошлаковых отвалов энергетических предприятий. В углях так же, как и в рудах, отмечаются повышенные концентрации ряда ценных металлов – галлия, германия, ванадия, вольфрама, ниобия, титана, циркония и некоторых других. По данным многих авторов, эти концентрации достигают г/т, десятков г/т, и даже сотен г/т (Ti, Zr) и промышленная переработка может дать от одного до нескольких десятков тонн редких металлов в год. Следовательно, попутные полезные компоненты углей Кузбасса можно считать перспективной местной минерально-сырьевой базой для ряда ценных металлов (галлия, германия, ванадия, вольфрама, РЗЭ), обеспечивающей в перспективе часть потребности промышленности Кемеровской области и Сибирского региона, а также перспективных для экспорта.

Следует выделить следующие особенности отходов горнопромышленного производства, представляющих собой потенциальные техногенные месторождения:

1. Локализация на территориях промышленно развитых районов.
2. Нахождение горной массы (руды) на поверхности Земли.
3. Проведение поисковых работ не требуется.
4. Небольшие по величине запасы полезных ископаемых по сравнению с рудными месторождениями.
5. Горная масса является полиминеральной.

С учетом относительно невысоких содержаний большинства цветных и редких металлов в углях (в основном это эпигенетические и реже сингенетические аномалии) практический интерес представляет извлечение ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов ТЭС, где их запасы могут составить тысячи, десятки тысяч тонн и более. Ценные металлы можно также извлекать из зол уноса, где их содержание в 2-3 раза выше, чем в золоотвалах. Поэтому при выборе сырьевой базы необходимо исследовать состав не углей, а золоотвалов предприятий

Таблица 1. Результаты анализа матричных, редких и редкоземельных элементов шлаковых отходов Кемеровской ГРЭС

Table 1. Results of the analysis of matrix, rare and rare-earth elements of slag waste from Kemerovo SDPP

Прямой анализ – лазерный пробоотбор		Анализ экстракта	
Название	Содержание, %	Название	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	70,1±0,9	Sr	1,9·10 <sup>-2</sup>
TiO <sub>2</sub>	0,49±0,01	Zr	4,7·10 <sup>-3</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,2±0,6	Nb	8,0·10 <sup>-5</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,3±0,1	Ga	1,0·10 <sup>-4</sup>
MnO	0,0246±0,0001	Y	3,0·10 <sup>-4</sup>
CaO	3,0±0,1	Mo	–
MgO	0,79±0,06	Au	–
Na <sub>2</sub> O	0,83±0,05	Ag	1,0·10 <sup>-5</sup>
K <sub>2</sub> O	1,5±0,1	Eu	1,5·10 <sup>-5</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18±0,01	La	4,7·10 <sup>-4</sup>
Ba	0,20±0,01	Pr	1,7·10 <sup>-4</sup>
		Sm	1,1·10 <sup>-4</sup>
		V	6,6·10 <sup>-4</sup>

Таблица 2. Результаты анализа матричных, редких и редкоземельных элементов золы уноса Кемеровской ГРЭС

Table 2. Results of analysis of matrix, rare and rare-earth elements of fly ash of Kemerovskaya SDPP

Прямой анализ – лазерный пробоотбор		Анализ экстракта	
Название	Содержание, %	Название	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	63,5±0,1	Sr	1,1·10 <sup>-1</sup>
TiO <sub>2</sub>	0,64±0,03	Zr	2,3·10 <sup>-4</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,5±0,1	Nb	7,0·10 <sup>-4</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,3±0,6	Ga	9,0·10 <sup>-4</sup>
MnO	0,018±0,001	Y	1,4·10 <sup>-3</sup>
CaO	5,3±0,3	Mo	8,7·10 <sup>-4</sup>
MgO	0,86±0,08	Au	1,2·10 <sup>-4</sup>
Na <sub>2</sub> O	0,97±0,06	Ag	–
K <sub>2</sub> O	1,1±0,1	Eu	6,8·10 <sup>-5</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29±0,06	La	1,9·10 <sup>-3</sup>
Ba	0,28±0,06	Pr	7,0·10 <sup>-4</sup>
		Sm	1,5·10 <sup>-4</sup>
		V	5,3·10 <sup>-3</sup>

теплоэнергетики. Такие исследования проводились только ограниченным количеством авторов и отходы от сжигания исследованы гораздо менее, чем собственно угли. Для анализа в данной работе выбраны золошлаковые материалы Кемеровской ГРЭС [11-15].

Круг экономически выгодных методов определения микропримесей сводится к оптико-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ОЭС ИСП и МС ИСП) благодаря возможности одновременного определения большого количества определяемых элементов. Основные матричные элементы – Fe, Si, Al, Ti, Mn, Mg, Ca, K, P, Na. Среди элементов-примесей выделяют Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th, U.

Содержание основных минеральных компонентов в золошлаковых материалах Кемеровской ГРЭС, определенное методом оптико-эмиссионной спектрометрии на спектрометре iCAP 6500 DUO, приведено в таблицах 1 и 2. Результаты второй части анализов приведены в таблицах 3 и 4.

Анализ литературных данных и проведенных исследований показывает, что преимущественную долю в золошлаковых отходах составляют матричные элементы. Редкие и редкоземельные элементы по их содержанию в ЗШМ можно отнести к микроэлементам.

Таблица 3. Результаты ИСП-МС- анализа порошка золошлаковой смеси Кемеровской ГРЭС  
 Table 3. Results of ICP-MS analysis of ash-and-slag powder from Kemerovo State District Power Plant

Элемент	Содержание, млн <sup>-1</sup>	
	X	±Δ
Литий (Li)	47	10
Бериллий (Be)	3,2	1,0
Скандий (Sc)	15,7	3,3
Ванадий (V)	97	20
Хром (Cr)	61	13
Кобальт (Co)	21	4
Никель (Ni)	70	15
Медь (Cu)	54	11
Цинк (Zn)	106	22
Галлий (Ga)	19	4
Рубидий (Rb)	64	13
Стронций (Sr)	139	29
Иттрий (Y)	30	6
Цирконий (Zr)	222	47
Ниобий (Nb)	19	4
Молибден (Mo)	4,6	1,5
Цезий (Cs)	5,1	1,6
Барий (Ba)	365	77
Лантан(La)	39	8
Церий (Ce)	73	15
Празеохим (Pr)	8,0	2,6
Неодим (Nd)	34	7
Самарий (Sm)	6,9	2,2
Европий (Eu)	1,3	0,4
Гадолиний (Gd)	5,8	1,9
Тербий (Tb)	0,92	0,30
Диспрозий (Dy)	5,0	1,6
Гольмий (Ho)	1,05	0,34
Эрбий (Er)	3,1	1,0
Тулий (Tm)	0,55	0,18
Иттербий (Yb)	3,5	1,1
Лютеций (Lu)	0,38	0,12
Гафний (Hf)	5,4	1,7
Свинец (Pb)	35	7
Торий (Th)	13,0	2,7
Уран (U)	6,1	2,0
Германий (Ge)	0,69	0,28
Селен (Se)	5,4	1,9
Рутений (Ru)	0,007	0,0034
Серебро (Ag)	0,13	0,05
Кадмий (Cd)	0,61	0,25
Германий (Ge)	0,69	0,28
Олово (Sn)	5,0	1,8
Теллур (Te)	0,18	0,07
Тантал (Ta)	0,89	0,36
Вольфрам (W)	2,2	0,8
Золото (Au)	0,06	0,03
Висмут (Bi)	0,25	0,10

Таблица 4. Результаты ИСП-ОЭС-анализа образцов матричных элементов порошка золошлаковой смеси Кемеровской ГРЭС  
 Table 4. Results of ICP-OES analysis of matrix elements of ash-and-slag powder from Kemerovskaya SDPP

Оксид	Содержание, млн <sup>-1</sup>	
	X	±Δ
SiO <sub>2</sub>	62,4	0,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,6	1,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,4	0,6
MnO	0,042	0,019
MgO	1,18	0,21
CaO	4,4	0,6
Na <sub>2</sub> O	<0,74	
K <sub>2</sub> O	1,9	0,4
TiO <sub>2</sub>	0,95	0,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,77	0,09

Таким образом, наличие больших количеств матричных элементов предполагает возможности извлечения железа, а также создания производства строительных материалов. Содержание редких и редкоземельных элементов в ЗШМ невелико, однако чем выше ценность этих компонентов, тем ниже промышленный кондиционный минимум по требованиям к их запасам и содержанию.

Сопоставление полученных данных с имеющимися литературными источниками свидетельствует о том, что в ЗШМ кузнецких углей содержатся промышленно значимые кондиции циркония, ниобия, галлия, молибдена, ванадия, селена, гафния и золота. Содержания скандия, иттрия, церия, неодима, иттербия, самария близки к промышленно значимым. Нет данных по минимальным содержаниям вольфрама, рутения, празеодима, гадолиния, диспрозия, гольмия, эрбия, тулия, определяющим промышленную значимость зол углей как источников рудного сырья, минимальные содержания остальных редких и редкоземельных металлов ниже промышленно значимых кондиций, однако все они содержатся в кузнецких углях. Особенно важно отметить, что в золошлаковых отходах имеется значительное количество редкоземельных металлов иттриевой группы, представляющих высокую и непрерывно растущую ценовую категорию вследствие большой востребованности в высокотехнологичных отраслях современной экономики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов С.И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев. – Кемерово, 2001. – 246 с.
2. Арбузов С.И. Геохимия, минералогия и генезис редкометалльно-угольного месторождения в пласте XI на юге Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, А.В. Вергунов, С.С. Ильенок, В.А. Иванов, В.П. Иванов // Геосферные исследования. – 2019. – №2. – С.35-61.
3. Юдович Я.Э. Ценные элементы-примеси в углях / Я.Э. Юдович, Л.П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 с.
4. Нифантов Б.Ф. Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в Кузнецких углях. Перспективы переработки / Б.Ф. Нифантов, В.П. Потапов, Н.В. Митина. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. – 104 с.
5. Кондаков А.Н. Минеральные ресурсы недр Кемеровской области. Кн. 1. Металлические полезные ископаемые / А.Н. Кондаков, А.А. Возная. – Кемерово: КузГТУ; ООО «ИНТ», 2013. – 290 с.
6. Скурский М.Д. Золото-редкометалльно-нефтегазоугольные месторождения и их прогноз в Кузбассе / М.Д. Скурский. – ГОУ ВПО «Кузбасский государственный технический ун-т» – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. – 627 с.
7. Скурский М.Д. Прогноз месторождений алмазов, редкоземельных металлов Сибири. Становление производительных сил России / М.Д. Скурский. – Кемерово: АИ «Кузбассвузиздат», 2017. – 231 с.
8. Нифантов Б.Ф. О высоких концентрациях ниобия и тантала в кузнецких углях / Б.Ф. Нифантов, А.Н. Заостровский // Вестник КузГТУ. – 2007. – № 5. – С. 68-72.

9. Нифантов Б.Ф. Возможности выгодной переработки углей и вторичного минерального сырья-отходов промышленных предприятий Кемеровской области / Б.Ф. Нифантов, А.Н. Заостровский // Вестник КузГТУ. – 2007. – № 4. – С. 60-64.

10. Нифантов Б.Ф. Угли Кузбасса Химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений / Б.Ф. Нифантов, В.П. Потапов, Б.А. Анферова, Л.В. Кузнецова // Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2011. – 310 с.

11. Зоря В.Н. Исследование техногенных отходов черной металлургии, в том числе отходов от обогащения и сжигания углей, и разработка технологий их переработки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.07 / Зоря Вячеслав Николаевич; СибГИУ; науч. рук. Е.П. Волынкина. – Новокузнецк, 2015. – 207 с.

12. Краснов О.С. Стимулирование извлечения ценных цветных и редких металлов из золо-шлаковых отходов углей, накапливаемых на энергетических предприятиях Кемеровской области / О.С. Краснов, В.А. Салихов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – №1. – С. 299-303.

13. Краснов О.С. Оценка перспектив извлечения ценных цветных и редких металлов из золо-шлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области / О.С. Краснов, В.А. Салихов // Записки Горного института, т. 201 «Проблемы развития минерально-сырьевого и топливно-энергетического комплексов России». – СПб. – 2013. – С. 191-195.

14. Маркидонов А.В. Кластерный анализ содержания примесей в золошлаковых отходах Кузнецких углей / А.В. Маркидонов, В.А. Салихов, Д.А. Лубяной // Вестник КузГТУ. – 2019. – № 6. – С. 29-36.

15. Максимова А.М. Извлечение редких и редкоземельных металлов из техногенных объектов как путь к рациональному освоению недр / А.М. Максимова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8. – № 5. – С. 1-11.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44

UDS 669.054.8

## DEFINITION OF INDUSTRIAL SIGNIFICANT CONDITIONS RARE ELEMENTS IN ASH WASTE KUZBASS

**Tatiana G. Cherkasova,**

director, professor, Dr. Sc. in Chemistry [ctg.htnv@kuzstu.ru](mailto:ctg.htnv@kuzstu.ru)

**Irina V. Isakova,**

Associate Professor, C. Sc. in Chemistry, e-mail: [ivi.htnv@kuzstu.ru](mailto:ivi.htnv@kuzstu.ru)

**Anastasiya V. Tihomirova,**

Associate Professor, C. Sc. in Chemistry, [tav.htnv@kuzstu.ru](mailto:tav.htnv@kuzstu.ru)

**Elizaveta V. Cherkasova,**

Associate Professor, C. Sc. in Chemistry, [chev.htnv@kuzstu.ru](mailto:chev.htnv@kuzstu.ru)

**Andrey A. Golovachev,**

undergraduate, [andrei\\_golovachevbotik@mail.ru](mailto:andrei_golovachevbotik@mail.ru)

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennya, Kemerovo, 650000, Russian Federation



### Abstract.

*The use of coal as a fuel has led to an increase in dust emissions from thermal power industries, which catastrophically pollutes the atmosphere of Kuzbass. Also, during the work of thermal power plants, a huge amount of ash and slag material waste is formed. In this regard, the development of measures for the processing of the above-mentioned wastes is very relevant. One of the areas of co-selective recycling technologies was the separation of rare earth elements*

### Article info

Received:

01 October 2021

Revised:  
14 October 2021

Accepted:  
25 October 2021

**Keywords:** ash and slag materials, optical emission spectrometry, inductive plasma mass spectrometry, extraction, processing, matrix elements, micro-impurities

from all possible sources, and that was very useful from both an economic and an environmental point of view. Work is being carried out with a view to comprehensive exploration and analysis of the reserves of useful components of ash and slag materials for the involvement of these wastes in secondary processing. The article shows that for the group determination of matrix elements, the use of the atomic emission spectrometry (NPP) method in combination with a multi-channel emission spectrum analyzer (MAES) is economically profitable. Preference in the analysis of impurity elements has recently been given to the method of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The experiment was conducted with ash and slag materials of the Kemerovo State District Power Station in order to determine the content of rare earth elements and meet the requirements of their stock to an industrial conditioning minimum in content. The test results of the samples make it possible to conclude that in ash and slag waste there is a significant amount of rare earth metals of the yttrium group, which are in great demand in high-tech sectors of the modern economy

**For citation** Cherkasova T.G., Isakova I.V., Tihomirova A.V., Cherkasova E.V., Golovachev A.A. Definition of industrial significant conditions rare elements in ash waste Kuzbass. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.5 (147), pp. 37-44. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44

## REFERENCES

1. Arbuzov S.I. Redkie elementy v uglyakh Kuznetskogo basseyna / S.I. Arbuzov, V.V. Ershov, A.A. Potseluev. – Kemerovo, 2001. – 246 s.
2. Arbuzov S.I. Geokhimiya, mineralogiya i genezis redkometall'no-ugol'nogo mestorozhdeniya v plaste XI na yuge Kuznetskogo basseyna / S.I. Arbuzov, A.V. Vergunov, S.S. Il'enok, V.A. Ivanov, V.P. Ivanov // Geosfernye issledovaniya. – 2019. – №2. – S.35-61.
3. Yudovich Ya.E. Tsennye elementy-primesi v uglyakh / Ya.E. Yudovich, L.P. Ketris. – Ekaterinburg:UrO RAN, 2006. – 538 s.
4. Nifantov B.F. Geokhimiya i otsenka resursov redkozemel'nykh i radioaktivnykh elementov v Kuznetskikh uglyakh. Perspektivy pererabotki / B.F. Nifantov, V.P. Potapov, N.V. Mitina. – Kemerovo: Institut uglya i uglekhemii SO RAN, 2003. – 104 s.
5. Kondakov A.N. Mineral'nye resursy nedr Kemerovskoy oblasti. Kn. 1. Metallicheskie poleznye iskopaemye / A.N. Kondakov, A.A. Voznaya. – Kemerovo: KuzGTU; OOO «INT», 2013. – 290 s.
6. Skurskiy M.D. Zoloto-redkometall'no-neftegazougol'nye mestorozhdeniya i ikh prognoz v Kuzbasse / M.D. Skurskiy. – GOU VPO «Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii un-t» – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2005. – 627 s.
7. Skurskiy M.D. Prognoz mestorozhdeniy almazov, redkozemel'nykh metallov Sibiri. Stanovlenie proizvoditel'nykh sil Rossii / M.D. Skurskiy. – Kemerovo: AI «Kuzbassvuzizdat», 2017. – 231 s.
8. Nifantov B.F. O vysokikh kontsentratsiyakh niobiya i tantala v kuznetskikh uglyakh / B.F. Nifantov, A.N. Zaostrovskiy // Vestnik KuzGTU. – 2007. – № 5. – S. 68-72.
9. Nifantov B.F. Vozmozhnosti vygodnoy pererabotki ugley i vtorichnogo mineral'nogo syr'ya-otkhodov promyshlennykh predpriyatii Kemerovskoy oblasti / B.F. Nifantov, A.N. Zaostrovskiy // Vestnik KuzGTU. – 2007. – № 4. – S. 60-64.
10. Nifantov B.F. Ugli Kuzbassa Khimicheskie elementy-primesi i tekhnologii ikh izvlecheniya pri kompleksnom osvoenii mestorozhdeniy / B.F. Nifantov, V.P. Potapov, B.A. Anferova, L.V. Kuznetsova // Kemerovo: Institut uglya i uglekhemii SO RAN, 2011. – 310 s.
11. Zorya V.N. Issledovanie tekhnogennykh otkhodov chernoy metallurgii, v tom chisle otkhodov ot obogashcheniya i szhiganiya ugley, i razrabotka tekhnologii ikh pererabotki: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.16.07 / Zorya Vyacheslav Nikolaevich; SibGIU; nauch. ruk. E.P. Volynkina. – Novokuznetsk, 2015. – 207 s.
12. Krasnov O.S. Stimulirovanie izvlecheniya tsennykh tsvetnykh i redkikh metallov iz zolo-shlakovykh otkhodov ugley, nakaplivaemykh na energeticheskikh predpriyatiyakh Kemerovskoy oblasti / O.S. Krasnov, V.A. Salikhov // Interekspo Geo-Sibir'. – 2014. – №1. – S. 299-303.
13. Krasnov O.S. Otsenka perspektiv izvlecheniya tsennykh tsvetnykh i redkikh metallov iz zolo-shlakovykh otvalov

energeticheskikh predpriyatiy Kemerovskoy oblasti / O.S. Krasnov, V.A. Salikhov // Zapiski Gornogo instituta, t. 201 «Problemy razvitiya mineral'no-syr'evogo i toplivno-energeticheskogo kompleksov Rossii». – SPb. – 2013. – S. 191 – 195.

14. Markidonov A.V. Klasternyy analiz sodержaniya primesey v zoloshlakovykh otkhodakh Kuznetskikh ugley / A.V. Markidonov, V.A. Salikhov, D.A. Lubyany // Vestnik KuzGTU. – 2019. – № 6. – S. 29-36.

15. Maksimova A.M. Izvlechenie redkikh i redkozemel'nykh metallov iz tekhnogennykh ob'ektov kak put' k ratsional'nomu osvoeniyu neдр / A.M. Maksimova // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2016. – T. 8. – № 5. – S. 1-11.

### **Conflicts of Interest**

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).