

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 546.05:546.2: 546.65, 661.1

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-47-54

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СУЛЬФАТИЗАЦИИ****Черкасова Татьяна Григорьевна, Исакова Ирина Валериевна,
Гиниятуллина Юлия Радиковна, Ченская Валентина Васильевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

29 августа 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

20 ноября 2023 г.

Принята к публикации:

22 ноября 2023 г.

Опубликована:

05 декабря 2023 г.

Ключевые слова:*отходы углеобогащения, выщелачивание, извлечение, спек, кек, концентрат, редкие и редкоземельные элементы***Аннотация.**

Возможность комплексной переработки техногенных месторождений полезных ископаемых приведет к высвобождению значительных территорий, занятых отходами, снижению экологической нагрузки на атмосферу, импортозамещению, получению положительного экономического, экологического и социального эффектов. Спрос на редкоземельные элементы (РЗЭ) растет в связи с их использованием в различных передовых технологических сферах: радиоэлектронике, «зеленой» энергетике, авиа- и ракетостроении, судостроении, атомном промышленном комплексе и военно-промышленном секторе, отсутствием материалов, способных их заменить по характеристикам и свойствам. Россия должна закрепить статус страны, обладающей высокими технологиями в области переработки отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения. В статье представлена апробированная схема переработки отходов углеобогащения с получением концентрата редкоземельных металлов (РЗМ) и кремнийсодержащего кек. Составлена методика проведения эксперимента, приведены режимные параметры проведения операций сульфатизации, выщелачивания водой, осаждения, выщелачивания РЗМ-содержащего кек и получения оксалатных солей (температура и время проведения процессов, соотношение компонентов, частота вращения мешалки). Эксперимент проводился с отходом углеобогащения ЦОФ «Березовская» (после тяжелосредней сепарации и гидросайзеров). Полученные образцы исследованы методом рентгенофлуоресцентного анализа, обнаружены оксиды иттрия и иридия.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Исакова И.В., Гиниятуллина Ю.Р., Ченская В.В. Разработка методики комплексной переработки отходов углеобогащения с применением сульфатизации // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 5 (159). С. 47-54. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-47-54, EDN: IDWNTH

Введение

Возможность решения широкого круга проблем, таких как высвобождение значительных территорий, занятых отходами, снижение экологической нагрузки на атмосферу, импортозамещение и достижение при этом положительного экономического, экологического и социального эффектов за счет комплексной переработки техногенных месторождений полезных ископаемых, к которым, в частности, относятся отходы углеобогащения,

углепереработки и золошлаковые отходы, привлекает все большее внимание. Также комплексный подход позволит сократить объемы геолого-разведочных и горных работ на особо охраняемых территориях [1-5].

Огромные объемы накопленных золошлаковых отходов (согласно [6] в РФ накоплено более 2 млрд тонн золы и шлаков ТЭС и металлургических предприятий, а в Кемеровской области-Кузбассе ежегодно накапливается около 3 млн тонн золошлаковых отходов) и наличие ряда ценных дефицитных металлов: циркония, ниобия, галлия, молибдена, ванадия, селена, гафния и золота в промышленно-значимых количествах, а также в значительных количествах РЗМ цериевой и иттриевой групп в золошлаковых отходах Кузнецких углей создают перспективы для извлечения и получения концентратов редких и редкоземельных элементов из отходов углеобогащения, углепереработки и золошлаковых отходов [7-9].

Мировой спрос на РЗЭ и другие стратегические металлы быстро растет из-за их использования в различных передовых технологических сферах: радиоэлектронике, «зеленой» энергетике, авиа- и ракетостроении, судостроении, атомном промышленном комплексе, военно-промышленном секторе [10-13].

«Материалов, способных полностью заменить данные элементы по своим характеристикам и свойствам, фактически нет. В современных реалиях именно наличие этих уникальных компонентов может определить успех или же, наоборот, неудачу в достижении научно-технического прогресса. Неслучайно их считают «новой нефтью», а экономически развитые страны выстраивают целые стратегии, чтобы обеспечить текущие и будущие потребности в необходимых элементах» [13].

Авторами [14-15] озвучены проблемы использования отходов угледобычи, сделаны выводы, что для решения проблемы утилизации минеральных отходов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики необходима поддержка и разработка мероприятий со стороны государства, чтобы Россия смогла закрепить за собой статус прогрессивной угольной страны за счет развития применения высоких технологий в области переработки угля и отходов углеобогащения.

Целью данной исследовательской работы является разработка возможной цепочки превращений по переработке отходов углеобогащения и углепереработки последовательным выделением макрокомпонентов, таких как соединения алюминия, железа и кремния, и получением концентрата редкоземельных металлов.

Экспериментальная часть, Результаты и их обсуждение

Особенностью доступных отходов как сырьевых источников является низкое содержание РЗМ и сложный минералогический состав, заключающийся в высоком содержании соединений железа, алюминия и кремния.

Объектом исследования являлся отход тяжелосредней сепарации ЦОФ «Березовская», % (масс.): 62,50 SiO₂, 21,7 Al₂O₃, 4,60 Fe₂O₃, 0,05 MnO, 1,70 SO₃, 3,00 CaO, 5,30 K₂O, 0,94 TiO₂ и др., сумма редкоземельных элементов составляла Σ РЗМ = 228,66 г/т.

В работе представлена апробированная схема переработки отхода углеобогащения (Рис. 1) с получением концентрата оксидов РЗМ и кремнийсодержащего кека.

Схема переработки отхода (Рис. 1) включает следующие операции: сульфатизацию, выщелачивание полученного спека водой, осаждение гидроксидом натрия гидратного осадка, содержащего РЗМ, выщелачивание полученного осадка, получение оксалатных солей РЗМ, прокаливание до оксидов РЗМ. Содержание основных компонентов проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре (спектроскан МАКС-GV).

Сульфатизация. Исходные образцы отхода тяжелосредней сепарации ЦОФ «Березовская» массой по 200 г подвергали сульфатизации 9М серной кислотой объемом 24 мл при $t = 200^\circ\text{C}$ в течение 2 часов.

Выщелачивание водой. Измельченный сульфатный спек подвергали водному выщелачиванию. Температура проведения эксперимента составляла 80-90°C, масса воды 500 г, время выщелачивания 4 ч, частота перемешивания ~ 500 об/мин. После фильтрования был получен кремнийсодержащий кек и РЗМ-содержащий раствор. Часть РЗМ-содержащего раствора подвергали выпариванию, чтобы определить его состав. Данные по составу кека и РЗМ-содержащего раствора приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения элементного состава кремнийсодержащего кека и раствора после фильтрации

Table 1. Results of determination of the elemental composition of silicon-containing cake and solution after filtration

Оксид	Содержание оксидов в кремнийсодержащем кеке, %	Масса оксидов элементов в кремнийсодержащем кеке (масса кремнийсодержащего кека составляла 222 г)	Содержание оксидов в РЗМ-содержащем растворе, %	Масса оксидов элементов в РЗМ-содержащем растворе (масса навески РЗМ-содержащего раствора после прокаливания, 19,437 г)	Степень разделения (кек/раствор), %
SiO ₂	65,441	145,279	-	-	100/0
Al ₂ O ₃	17,634	39,147	42,023	8,168	83/17
SO ₃	6,495	14,419	22,126	4,301	77/23
K ₂ O	5,063	11,240	9,738	1,893	86/14
Fe ₂ O ₃	3,086	6,851	23,146	4,499	60/40
CaO	1,180	2,620	1,975	0,384	87/13
TiO ₂	0,914	2,029	-	-	100/0
V ₂ O ₅	0,050	0,110	0,031	0,006	95/5
ZrO ₂	0,041	0,091	-	-	100/0
SrO	0,028	0,062	0,018	0,003	95/5
Rb ₂ O	0,023	0,051	0,012	0,002	96/4
CuO	0,010	0,022	0,025	0,005	81/19
MnO	0,007	0,016	0,409	0,079	17/83
Cr ₂ O ₃	0,006	0,013	0,028	0,005	72/28
Y ₂ O ₃	0,006	0,013	0,008	0,002	87/13
Ga ₂ O ₃	0,004	0,009	-	-	100/0
PbO	0,004	0,009	-	-	100/0
ZnO	0,004	0,009	0,098	0,019	32/68
NbO	0,002	0,004	-	-	100/0
ThO ₂	0,001	0,002	-	-	100/0
P ₂ O ₅	-		0,351	0,068	0/100
NiO			0,008	0,002	0/100
Ir ₂ O ₃			0,005	0,001	

Осаждение. В полученный сульфатный раствор при постоянном перемешивании и температуре 50-60°C добавляли раствор гидроксида натрия концентрацией 7,75 моль/л до pH 7. После окончания добавления раствора NaOH полученную пульпу перемешивали в течение 2 ч.

Выщелачивание РЗМ-содержащего гидратного осадка. Полученный РЗМ-содержащий гидратный осадок выщелачивали раствором гидроксида натрия при интенсивном перемешивании и заданных температуре и времени процесса. Полученный алюминатный раствор высушивали и прокаливали, масса остатка после прокаливания составила 3,157 г. Результаты анализа приведены в Таблице 2.

Получение оксалатных солей и прокаливание. Получение оксалатных солей осуществляли при постоянном перемешивании и контактировании РЗМ-содержащего кека с раствором щавелевой кислоты H₂C₂O₄ с концентрацией 2 моль/дм³ при температуре 90°C, соотношении Т:Ж = 1:5 в течение 3 ч. Затем проводили промывку твердого продукта, сушку и его прокаливание при температуре 900°C в течение 2 ч. Также выпаривали и подвергали прокаливанию фильтрат. Результаты определения состава высушенного и прокаленного фильтрата и твердого продукта приведены в Таблице 3.

Как видно из Таблицы 3, в остатке после прокаливания обнаружены редкие элементы иттрий и иридий.

Таблица 2. Результаты определения содержания оксидов в алюминатном растворе после прокаливания
Table 2. Results of determination of the content of oxides in the aluminate solution after calcination

Оксид	Содержание оксидов в алюминатном растворе, %
SO ₃	52,553
Al ₂ O ₃	45,516
K ₂ O	1,712
ZnO	0,100
V ₂ O ₅	0,030
Ag ₂ O	0,022
CuO	0,018
Cr ₂ O ₃	0,018
Fe ₂ O ₃	0,011
Sc ₂ O ₃	0,010
Rb ₂ O	0,006
Ir ₂ O ₃	0,003

Таблица 3. Результаты определения содержания оксидов в фильтрате и твердом продукте
Table 3. Results of determination of the content of oxides in the filtrate and solid product

Оксид	Содержание оксидов в фильтрате, %	Содержание оксидов в твердом остатке, %
SO ₃	35,229	5,037
Al ₂ O ₃	35,138	5,116
Fe ₂ O ₃	24,920	84,535
CaO	1,853	0,548
K ₂ O	1,781	0,246
P ₂ O ₅	0,530	
MnO	0,275	2,263
ZnO	0,095	1,686
V ₂ O ₅	0,052	
Cr ₂ O ₃	0,043	
CuO	0,033	0,345
SrO	0,029	0,006
Y ₂ O ₃	0,015	
Ir ₂ O ₃	0,007	
NiO	-	0,218

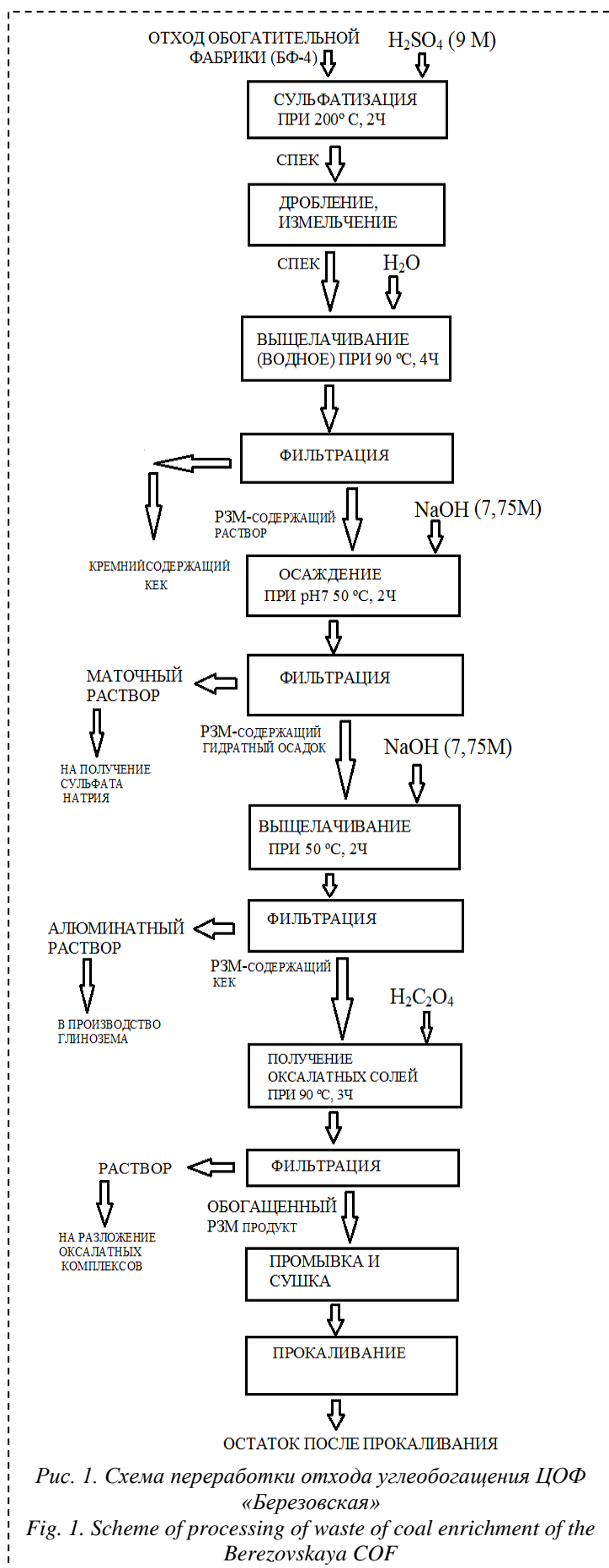
Выводы

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать вывод, что предложенная методика позволяет выделять РЗМ, но требует доработки в подборе условий, особенно на стадии получения оксалатных солей.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салихов В. А., Краснов О. С. Геолого-экономическая оценка ценных цветных и редких металлов в углях Кузбасса / В. А. Салихов, О. С. Краснов // Записки Горного института. 2008. Т. 179. С. 42–47.
2. Салихов В. А. [и др.] Перспективы комплексной переработки отходов углей // Кокс и химия, 2023. № 1. С. 51–59. DOI: 10.52351/00232815_2023_01_51.
3. Черкасова Е. В. [и др.] Выделение концентратов редких и редкоземельных элементов из золошлаковых отходов Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 2. С. 35–39. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-35-39.
4. Иванков С. И. [и др.] Систематизация методов переработки отходов горно-металлургического комплекса // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2020. – № 6. – С. 2–93. DOI: 10.36535/0869-1002-2020-06-1.
5. Троицкий А. В. [и др.] Перспективы привлечения техногенных отходов неметаллического сырья в процесс их переработки и утилизации // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2021. № 2. С. 40–58. DOI: 10.36535/0869-1002-2021-02-2.
6. Новиков Н. И., Салихов В. А. Обоснование факторов для стимулирования извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отходов углей, накапливаемых на энергетических предприятиях Кемеровской области // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2014. № 4. С. 74–86.
7. Черкасова Т. Г. [и др.] Анализ отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения месторождений Кузнецкого угольного бассейна // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 6. С. 59–64. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66.
8. Черкасова Т. Г. [и др.] Определение промышленно значимых кондиций редких элементов в золошлаковых отходах Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 5. С. 37–44. (DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44)
9. Максимова А. М. Извлечение редких и редкоземельных металлов из техногенных объектов как путь к рациональному освоению недр [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8. №5. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/24EVN516.pdf> – [20.08.2023].



10. Pan J. [et al.] Study on Solvent Extraction of Rare Earth Elements from Leaching Solution of Coal Fly Ash by P204 [Электронный ресурс] // Minerals. 2022. Vol. 12. № 12. P. 1547. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/365895339_Study_on_Solvent_Extraction_of_Rare_Earth_Elements_from_Leaching_Solution_of_Coal_Fly_Ash_by_P204. DOI: 10.3390/min12121547.

11. Peiravi M. [et al.] Chemical extraction of rare earth elements from coal ash // Minerals & Metallurgical Processing. 2017. Vol. 34. № 4. P. 170–177. DOI: 10.19150/mmp.7856.

12. Dodbiba G., Fujita T. Trends in Extraction of Rare Earth Elements from Coal Ashes: A Review [Электронный ресурс] // Recycling, 2023. Vol. 8. № 1. P. 17. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2313-4321/8/1/17> [20.08.2023] DOI: 10.3390/recycling8010017.

13. Череповицын А. Е., Соловьева В. М. Концептуальные подходы к формированию промышленной политики развития отрасли редкоземельных металлов // Известия УГТУ. 2022. Вып. 2 (66). С. 122–134. DOI: 10.21440/2307-2091-2022-2-122-134.

14. Блошенко Т. А., Дамбаева Р. Д. Глубокая переработка угля в России: экономические проблемы и перспективы развития // Финансовая жизнь, 2021. № 3. С. 12–15.

15. Харионовский А. А. [и др.] Проблемы использования отходов угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 10(1). С. 45–55. (DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_45)

© 2023 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, д.х.н., профессор, 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

Исакова Ирина Валериевна, доцент кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, канд. хим. наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: ivi.htnv@kuzstu.ru

Гиниятуллина Юлия Радиковна, доцент кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, канд. хим. наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: giniyatullinayur@kuzstu.ru

Ченская Валентина Васильевна, и.о. зав. кафедрой химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, канд. хим. наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: cvv.htnv.@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Черкасова Татьяна Григорьевна – постановка исследовательской задачи;

Исакова Ирина Валериевна – обзор соответствующей литературы, эксперимент, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Гиниятуллина Юлия Радиковна – обзор соответствующей литературы, эксперимент, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Ченская Валентина Васильевна – обзор соответствующей литературы, эксперимент, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR COMPLEX PROCESSING OF CARBON ENRICHMENT WASTE USING SULFATIZATION

Tatiana G. Cherkasova, Irina V. Isakova,
Yuliya R. Giniyatullina, Valentina V. Chenskaya

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: ctg.htnv@kuzstu.ru



Article info

Received:

29 August 2023

Accepted for publication:

20 November 2023

Accepted:

22 November 2023

Published:

05 December 2023

Keywords: coal enrichment waste, leaching, extraction, sintering, cake, concentrate, rare and rare earth elements

Abstract.

The possibility of complex processing of technogenic mineral deposits will lead to the release of significant territories occupied by waste, reduce the environmental impact on the atmosphere, import substitution, and obtain positive economic, environmental and social effects. The demand for rare earth elements (REE) is growing due to their use in various advanced technological fields: radio electronics, "green" energy, aviation and rocket engineering, shipbuilding, nuclear industrial complex and military-industrial sector, and the lack of materials capable of replacing them in terms of characteristics and properties. Russia should consolidate the status of a country with high technologies in the field of processing of coal mining waste, coal processing and coal enrichment. The article presents a proven scheme for processing carbon enrichment waste to obtain a concentrate of rare earth metals (REM) and silicon-containing cake. The methodology of the experiment is compiled, the mode parameters of the operations of sulfatization, leaching by water, precipitation, leaching of the REM-containing cake and the production of oxalate salts (temperature and time of the processes, the ratio of components, the speed of rotation of the agitator) are given. The experiment was carried out with the waste of coal enrichment of the Berezovskaya Coal processing Plant (after heavy-medium separation and hydrosizers). The obtained samples were examined by X-ray fluorescence analysis, yttrium and iridium oxides were detected.

For citation: Cherkasova T.G., Isakova I.V., Giniyatullina Yu.R., Chenskaya V.V. Development of a method for complex processing of carbon enrichment waste using sulfatization. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo*

tekhnicheskogo universiteta=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 5(159):47-54. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-47-54, EDN: IDWNTH

REFERENCES

1. Abdrakhimov V.Z., Laukhin V.M. Ecological and economic efficiency of ash slag recycling in the production of porous aggregate. *XXI century. Technosphere safety*. 2023; 8(1):8–17. DOI:10.21285/2500-1582-2023-1-8-17
2. Anikeev V.V., Silka D.N. From waste from coal-fired power plants to the production of building materials. *Energy policy*. 2021; 1(155):48–55. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_1155_48
3. Kopytov A.I., Antonov Yu.V. Waste disposal of Kuzbass energy enterprises. Problems and prospects. *Bulletin of KuzSTU*. 2013; 4(98):89–91.
4. Dismukhamedov N.K., Kaplan V.A., Daruesh G.S. Innovative technology of complex processing of ash from coal combustion. *Coal*. 2020; 1:58–63. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-58-63
5. Cherkasova T.G. [et al.]. Analysis of waste from coal mining, coal refining and coal enrichment of deposits of the Kuznetsk coal basin. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022; 6:61–66. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66
6. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Churushova O.V. Complex processing of nepheline concentrates by hydrochemical method. *Mining information and analytical bulletin*. 2016; 8:346–359.
7. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Girenko I.V. Complex processing of anorthosites by the fluoride-ammonium method. *Mining information and analytical bulletin*. 2017; 6:113–124.
8. Rimkevich V.S. [et al.] Complex processing of aluminum ores by fluoride method. *BULLETIN OF IrSTU*. 2011; 2(49):163–169.
9. Krysenko G.F. [et al.] Complex processing of loparite concentrate by fluoride technology. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018; 9(2-1):145–149.
10. Krysenko G.F., Epov D.G., Medkov M.A. Complex processing of perovskite concentrate by fluoride technology. *Bulletin of the FEB RAS*. 2015; 4:113–117.
11. Medkov M.A., Krysenko G.F., Epov D.G. Complex processing of datolite concentrate with ammonium hydrodifluoride. *Bulletin of the FEB RAS*. 2010; 5:63–66.
12. Krysenko, G.F. Epov, D. G., Medkov, M.A. Ammonium hydrodifluoride is a promising reagent for opening and concentrating useful components of polymetallic and technogenic raw materials. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Chemistry and Materials Science, special issue: II All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the memory of V. T. Kalinnikov "Research and development in the field of chemistry and technology of functional materials"*. 2015; 5(31):76–80.
13. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Churushova O.V. Complex processing of coal ash of CHP. *Mining information and analytical bulletin*. 2015; 6:250–259.
14. Medkov M.A., Krysenko G.F., Epov D.G. Ammonium hydrodifluoride – a promising reagent for complex processing of mineral raw materials. *Bulletin of the FEB RAS*. 2011; 5:60–65.
15. Tripathy A.K., Behera B., Aishvarya V. [et al.] *Minerals Engineering*. 2019; 131:140–145. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.10.019

© 2023 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 the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Irina V. Isakova, associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, C. Sc. in Chemistry, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: ivi.htnv@kuzstu.ru

Yuliya R. Giniyatullina, associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, C. Sc. in Chemistry, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: giniyatullinayur.@kuzstu.ru

Valentina V. Chenskaya, associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, C. Sc. in Chemistry, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: cvv.htnv.@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Cherkasova Tatiana Grigorievna – statement of the research problem;

Isakova Irina Valerievna – review of relevant literature, experiment, data collection and analysis, conclusions, text writing;

Giniyatullina Yulia Radikovna – review of relevant literature, experiment, data collection and analysis, conclusions, writing text;

Chenskaya Valentina Vasilyevna – review of relevant literature, experiment, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final version of the manuscript

All authors have read and approved the final manuscript.

