

Некоторые физико-химические характеристики отходов углеобогатительного предприятия ПАО ЦОФ «Березовская»*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-6-80-84>

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

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

ПИЛИН М.О.

Старший преподаватель
Института химических и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ),
650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

БАРАНЦЕВ Д.А.

Ассистент
Института химических и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ),
650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: kemche@yandex.ru

ТИХОМИРОВА А.В.

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

При сжигании и обогащении угля образуются шлаковые и шламовые отходы, являющиеся источником загрязнения окружающей среды. В то же время эти техногенные образования можно рассматривать как источник ценного сырья, лежащего на поверхности, используемого в высокотехнологичных производствах и имеющего высокую добавленную стоимость. В данной работе рассматриваются шламы предприятия ПАО ЦОФ «Березовская». Определены физико-химические характеристики, зольность и растворимость согласно ГОСТ 11022-95, ГОСТ 25818-2017. Исследования показали возможность и перспективность комплексной переработки отходов с последовательным извлечением нескольких компонентов, в том числе редких и редкоземельных элементов.

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

Для цитирования: Некоторые физико-химические характеристики отходов углеобогатительного предприятия ПАО ЦОФ «Березовская» / Т.Г. Черкасова, М.О. Пилин, Д.А. Баранцев и др. // Уголь. 2023. № 6. С. 80-84. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-80-84.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности экологической обстановки в Кузбассе обусловлены высокой техногенной нагрузкой на территорию, связанной преимущественно с функционированием предприятий горного и теплоэнергетического комплексов [1].

Климатические зоны, в которых расположена большая часть территории Российской Федерации, предполагают долгий отопительный сезон с большими затратами топлива. В России функционируют более 150 ТЭС, работающих на угле, который, являясь одним из наиболее эксплуатируемых природных энергоносителей,

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



в настоящее время чаще всего просто сжигается, в лучшем случае перед сжиганием подвергается простому механическому обогащению.

В Сибирском регионе сосредоточена значительная часть мировых ресурсов угля. Уникальный ресурсный потенциал и высокие перспективы роста угледобычи требуют научно обоснованного подхода к его дальнейшему освоению. Результаты исследований металлоносности углей Сибири и геохимическая специализация угольных бассейнов и месторождений показали, что угли Сибири перспективны на выявление промышленных месторождений Au, Sc, Ge и литофильных редких металлов (Zr, Hf, Y, Nb, Ta, U и лантаноидов). Выполнена оценка перспектив промышленного освоения ресурсов редких металлов в углях и отходах их использования в регионе [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ЗШМ относят к неопасным отходам 5 класса [3, 4]. Однако, по статистике, в России каждый год образуется около 30 млн т этих отходов, что создает определенную экологическую угрозу.

Как правило, ЗШО используются в строительстве в качестве замены песка (основной компонент – оксид кремния (IV)), могут быть добавлены к строительным смесям. Однако, учитывая то, что помимо таких распространенных матричных компонентов, как оксиды кремния, железа, алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов, в золе, полученной при сжигании углей, содержатся РиРЗЭ, использование данного материала только в строительстве без извлечения ценных компонентов является в некоторой степени расточительством. Кроме того, в ЗШМ имеются как промышленно ценные, так и экологически опасные элементы [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. ЗШМ можно рассматривать как сырье (фактически месторождения руды), находящееся на поверхности.

В состав шлаков входит небольшое количество редких и редкоземельных элементов (РиРЗЭ), для извлечения которых необходимы высокоселективные технологии, причем при извлечении комплекса РЗЭ, редких и благородных металлов повышается рентабельность отходов углепереработки. На данный момент монополистом на рынке РиРЗЭ является Китай. В России извлекают только 2% этих ценнейших компонентов.

Извлечением полезных компонентов с высокой добавленной стоимостью, с учетом извлечения РиРЗЭ, в совокупности из техногенного сырья можно перерабатывать до 1/3 от общей массы отходов. Кроме того, сложная экологическая обстановка в Кемеровской области, перегруженной отходами угледобывающих предприятий, делает особенно актуальной проблему глубокой переработки сырья с целью улучшения качества жизни населения региона [12].

В самом Кузбассе исследования ЗШМ предприятий теплоэнергетики как потенциальных поставщиков сырья для производства редких и редкоземельных элементов либо не проводились, либо разрозненны и несистематизированы. К тому же, состав золошлаковых отходов предприятий все время меняется в зависимости от сырья, поэтому данные, полученные в прошлом году, могут быть неактуальны для дня сегодняшнего. В работе [13] отмечается,

что в связи с дефицитом редких и РЗМ для инновационного развития экономики РФ проблема извлечения этих металлов из техногенного сырья является очень актуальной, и в качестве перспективных объектов предлагается рассматривать золошлаковые отходы углей и отходы углеобогащения. Проведена оценка содержания РиРЗМ в углях и золеуглях Ленинского и Прокопьевско-Киселевского геолого-экономических районов Кемеровской области, а также в отходах углеобогащения (кеке) обогатительных фабрик «Комсомолец», «Полысаевская» и «Талдинская». В кеке выявлены редкие (Cd, Ti, Ta) и редкоземельные (La, Nd, Gd) металлы с концентрациями, близкими по содержанию к рекомендуемым к оценке в углях. Эти же металлы выявлены в золах углей в концентрациях, представляющих интерес для извлечения. Обоснована целесообразность извлечения этих ценных металлов и из золошлаковых отходов углей и из отходов углеобогащения.

В настоящее время отсутствует необходимая пообъектная информация о содержаниях всего комплекса особо ценных и токсичных микрокомпонентов в продуктах переработки углей на территории Кузбасса. Необходимо проводить работы, включающие комплексное эколого-геохимическое изучение и, в случае необходимости, площадное картирование районов размещения ТЭС, что позволит объективно оценить промышленную значимость рассматриваемых компонентов в накопленных и текущих отходах сжигания углей.

Свойства и поведение сыпучих тел необходимо учитывать при осуществлении ряда механических процессов – измельчение, гранулирование, транспортировка и хранение. Пренебрежение или недоучет свойств сыпучих материалов приводит к нарушению технологического режима, ухудшению качества продукции, нарушению режимов работы оборудования. Поэтому необходимо помнить, что выпуск продукции высокого и стабильного качества зависит не только от использования современного технологического оборудования, но и от методов получения оперативной информации о составе и свойствах используемых веществ.

Проведены исследования некоторых физико-химических характеристик отходов производства ЦОФ «Березовская».

Выполнено озоление отходов обогатительной фабрики ЦОФ «Березовская» и установлено содержание золы в отходах и продуктах флотации (табл. 1).

Результаты определения зольности отходов обогатительной фабрики ЦОФ «Березовская» согласно ГОСТ 11022-95 [14] представлены в табл. 2.

После проведения дополнительной флотации отходов БФ-1, БФ-3 также произведен процесс озоления флотационных отходов. Результаты представлены в табл. 3, 4.

При использовании сырья с низким содержанием целевого компонента часто целесообразно использовать химическую переработку с разложением сырья и получением химических концентратов. Использование метода выщелачивания позволяет перевести ценные компоненты минерального сырья в раствор [15].

Разложение золы в растворах кислот проводилось следующим образом. Навеску массой около 1 г помещали в химический стакан на 50 мл и приливали 10 мл раствора, на-

Образцы отходов углепереработки и флотации
Samples of coal processing and flotation waste

Образец	Размерность	Примечание
БФ-1	0-0,5	Отходы ФПО АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-2	0,5-13	Промпродукт АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-3	+13	Промпродукт АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-4	+13	Порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-5	0,5-13	Порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БЦ-КВ	–	ЦОФ «Березовская», Золоотвал пгт. Березовский
КФ-1,2	–	Отходы ФПО 0-0,5 (БФ-1) после 1,2 флотации
КФ- 3,4	–	Отходы ФПО 0-0,5 (БФ-1) после 3,4 флотации
КФ- 5,6	–	Отходы ФПО 0-0,5 (БФ-1) после 5,6 флотации
ФХ	–	Флотационные хвосты, отходы ФПО 0-0,5 (БФ-1)
ПФ- 1	–	Промпродукт + 13 (БФ-3) после 1 флотации
ПФ- 2	–	Промпродукт + 13 (БФ-3) после 2 флотации
ПФ- 3	–	Промпродукт + 13 (БФ-3) после 3 флотации

Таблица 2

Зольность отходов ЦОФ «Березовская»
(ГОСТ 11022-95)

Ash content in waste products of the Berезovskaya Central Concentrating Mill (GOST 11022-95)

Проба	Зольность, %
БФ-1	71,9
БФ-2	62,5
БФ-3	43,0
БФ-4	78,0
БФ-5	83,8

Таблица 3

Зольность после флотации БФ-1
(ГОСТ 11022-95)

Ash content after flotation at the BF-1 machine (GOST 11022-95)

Проба	Зольность, %
БФ-1:	
КФ-1,2	31,1
КФ-3,4	50,7
КФ-5,6	45,0
ФХ	89,6

крывали часовым стеклом и оставляли на трое суток, периодически перемешивая для наступления равновесия. После этого содержимое стакана перенесли в предварительно высушенный и взвешенный стеклянный фильтр (40 пор) и отфильтровали. Стеклянный фильтр высушивали до постоянной массы. Проводили два параллельных измерения. Массу остатка после растворения определяют по формуле:

$$m_o = m_{\phi.o} + m_{\phi}$$

где m_o – масса остатка пробы после растворения, г; $m_{\phi.o}$ – масса стеклянного фильтра с остатком пробы, г; m_{ϕ} – масса стеклянного фильтра, г.

Результаты измерений представлены в табл. 5.

Таблица 4

Зольность после флотации БФ-3(ГОСТ 11022-95)

Ash content after flotation at the BF-3 machine (GOST 11022-95)

Проба	Зольность, %
БФ-3:	
ПФ-1	43,6
ПФ-2	50,3
ПФ-3	33,1

Таблица 5

Результаты определения растворимости отходов углеобогащения и золы после их прокалывания

Results of determining the solubility of coal processing wastes and ashes upon their firing

Образец	Растворитель				
	H ₂ O (дис.)	HNO ₃ ω = 30%	HNO ₃ ω = 58%	H ₂ SO ₄ ω = 30%	H ₂ SO ₄ ω = 91%
	Растворимость г/100 г растворителя				
БЦ-КВ	0,0023	0,0631	0,0561	0,0464	0,0364
БФ-1	0,0046	0,0207	0,014	0,0619	0,0463
БФ-2	0,0086	0,0850	0,0751	0,0319	0,0351
БФ-3	0,0076	0,3775	0,3501	0,0265	0,0554
БФ-4	0,0032	0,0562	0,0629	0,0413	0,0220
БФ-5	0,0079	0,0297	0,0253	0,0123	0,0102

ВЫВОДЫ

1. Зольность отходов производства ЦОФ «Березовская» от 43 до 81% связана с содержанием углерода в образцах, для снижения содержания углерода следует проводить дополнительную флотацию.

2. Определение растворимости ЗШО важно для дальнейшей переработки отходов, так как ряд обогатительных процедур ведется в воде, а также для понимания, какая кислота больше подходит для перевода ценных компонентов в раствор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ отходов переработки ЦОФ «Березовская» с целью выбора сырья для извлечения РнР-ЗЭ, а также приведены результаты исследования зольности и растворимости образцов отходов углеобогащения.

Список литературы

1. Журавлева Н.В. Обоснование, разработка и развитие методов оценки влияния добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды: дисс.... докт. техн. наук. Новокузнецк, 2017. 341 с.
2. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Изв. ТПУ. 2007. Т. 311. № 1. С. 77-83.
3. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду». Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 N 40330. [Электронный ресурс]. URL: <http://fcao.ru/pasportizatsiya-otkhodov.html> (дата обращения: 15.05.2023).
4. Приказ Минприроды России от 05.12.2014 № 541 «Об утверждении Порядка отнесения отходов I - IV классов опасности к конкретному классу опасности». Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 № 40331. [Электронный ресурс]. URL: <http://fcao.ru/pasportizatsiya-otkhodov.html> (дата обращения: 15.05.2023).
5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 656 с.
6. Шпирт М.Я., Пуанова С.А. Особенности накопления ртути в нефтях, углях и продуктах их переработки // Химия твердого топлива. 2011. № 5. С. 42-49.
7. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ртуть в углях. Сыктывкар: ИГ Коми научный центр УрО РАН, 2007. 96 с.
8. Крылов Д.А. Токсичность угольной тепло-электрогенерации // Горная промышленность. 2016. № 5. С. 66-71.
9. Сидорова Г.П., Овсейчук В.А., Крылов Д.А. Проблемы угольной энергетики, связанные с радиоактивностью углей // Вестник ЗабГУ. 2013. № 8. С. 38-45.
10. Нифантов Б.Ф. Ценные и токсичные элементы в углях. Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. С. 77-88.
11. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. Кемерово, 2001. 246 с.
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. Оценка содержания редких и редкоземельных металлов в углях и отходах углей Кузбасса / В.А. Салихов, В.М. Страхов, М.А. Волков и др. // Кокс и химия. 2022. № 4. С. 31-37.
14. ГОСТ 11022-95 «Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности».
15. ГОСТ 25818-2017 «Золы уноса тепловых электростанций для бетонов».

Original Paper

UDC 662.613.654.1:669.85 © T.G. Cherkasova, M.O. Pilin, D.A. Barancev, A.V. Tikhomirova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 6, pp. 80-84
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-6-80-84>

Title

SOME PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WASTE PRODUCTS OF THE BEREZOVSKAYA CENTRAL CONCENTRATING MILL

Authors

Cherkasova T.G.¹, Pilin M.O.¹, Barancev D.A.¹, Tikhomirova A.V.¹

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

Authors Information

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

Pilin M.O., Senior lecturer of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

Barancev D.A., Assistant of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: kemche@yandex.ru

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

Abstract

During the combustion and enrichment of coal, 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 raw materi-

als lying on the surface, used in high-tech industries and having a high added value. In this paper we consider the sludge of the enterprise "Berezovskaya". Determination of physical and chemical properties of ash content and solubility according to GOST 11022-95 "Method of slow ashing" and GOST 25818-2017 "Fly ash from thermal power plants for concrete". Studies have shown the possibility and prospects of complex waste processing with the successive extraction of several components, including rare elements and rare earth elements.

Keywords

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

References

1. Zhuravleva N.V. Justification, creation and development of methods to assess the impact of coal mining and processing of the Kuznetsk coal basin on the natural environment, Dr. eng. sci. diss., Novokuznetsk, 2017, 341 p. (In Russ.).

2. Arbuzov S.I. Metal bearing properties of Siberian coals. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2007, Vol. 311, (1), pp. 77-83. (In Russ.).
3. Order No. 536 of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation as of December 4, 2014, "On approval of criteria for classifying waste to I-V hazard classes according to the degree of negative impact on the environment". Registered with the RF Ministry of Justice on December 29, 2015, No. 40330. [Electronic resource]. Available at: <http://fcao.ru/pasportizatsiya-otkhodov.html> (accessed 15.05.2023).
4. Order No. 541 of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation as of December 4, 2014, "On Approval of the Procedure for assignment of wastes of I - IV hazard classes to a specific hazard class". Registered with the RF Ministry of Justice on December 29, 2015, No. 40331. [Electronic resource]. Available at: <http://fcao.ru/pasportizatsiya-otkhodov.html> (accessed 15.05.2023).
5. Yudovich Ya.E. & Ketris M.P. Toxic impurity elements in fossil coals, Yekaterinburg, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005, 656 p. (In Russ.).
6. Shpirt M.Ya. & Punanova S.A. Specific features of mercury accumulation in oils, coals and refined products. *Himiya tverdogo topliva*, 2011. (5), pp. 42-49. (In Russ.).
7. Yudovich Ya.E. & Ketris M.P. Mercury in coals. Syktyvkar, Institute of Geology, Komi Scientific Centre, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 96 p. (In Russ.).
8. Krylov D.A. "Toxicity" of coal-fired thermal power generation. *Gornaya promyshlennost'*, 2016, (5), pp. 66-71. (In Russ.).
9. Sidorova G.P., Ovseychuk V.A. & Krylov D.A. Challenges of coal energy related to radioactive properties of coals. *Vestnik Zabajkalskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, (8), pp. 38-45. (In Russ.).
10. Nifantov B.F. Valuable and toxic elements in coals. Coal resource base of Russia. Coal basins and fields in Western Siberia (Kuznetsky, Gorlovsky,

- West Siberian basins, fields in Altai Krai and the Altai Republic), Moscow, Geoinformcenter Publ., 2003, pp. 77-88. (In Russ.).
11. Arbuzov S.I., Ershov V.V. & Potseluev A.A. Rare elements in coals of the Kuznetsk Basin, Kemerovo, 2001, 246 p. (In Russ.).
12. Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tichomirova 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. Salikhov V.A., Strakhov V.M., Volkov M.A. et al. Assessment of rare and rare-earth metals content in coals and coal wastes of Kuzbass. *Koks i khimiya*, 2022, (4), pp. 31-37. (In Russ.).
14. GOST 11022-95 "Solid mineral fuels. Methods for determination of ash". (In Russ.).
15. GOST 25818-2017 "Thermal plant fly-ashes for concretes". (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., Pilin M.O., Barancev D.A. & Tikhomirova A.V. Some physical and chemical characteristics of waste products of the Berezovskaya Central Concentrating Mill. *Ugol'*, 2023, (6), pp. 80-84. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-80-84.

Paper info

Received April 24, 2023

Reviewed May 10, 2023

Accepted May 26, 2023

Юные футболисты из Бородино стали призерами турнира «Кубок Победы»

Юные футболисты команды «Шахтер-СУЭК», подопечные крупнейшей в России угольной энергетической компании и инструктора по спорту Бородинского разреза, предприятия СУЭК в Красноярском крае, Ивана Трикопенко, стали серебряными призерами турнира «Кубок Победы» на призы ФК «Тотем». Масштабные соревнования прошли в Красноярске и собрали сорок футбольных команд из краевого центра и других городов.

«Воспитание патриотов страны через спорт – одна из главных задач, поставленная государством, – отметил на открытии турнира **первый заместитель министра спорта Красноярского края Марк Пнев**. – Каждый из нас должен быть готов физически и нравственно встать на защиту Родины, своего народа по примеру наших дедов и прадедов. Такие состязания, как «Кубок Победы», вносят весомый вклад в популяризацию спорта и развитие патриотизма у детей и молодежи».

В ходе турнира было разыграно пять комплектов медалей. Борьба за победу была напряженной. «Соперники сильные, – признает **футболист команды «Шахтер-СУЭК» Павел Шаклеин**. – Но мы часто выезжаем на разные турниры, поэтому знаем – каждый должен играть изо всех сил на своих позициях, тогда будет отличный результат!»



Бородинские спортсмены в своей возрастной группе завоевали серебряные медали, уступив золото «Омге» из Красноярска. Бронзовым призером стала команда «Тотем» из краевого центра.

«Этот турнир показал, как много у нас талантливых, спортивных ребят, – подчеркнул **член комитета по спорту и молодежной политике, депутат Законодательного собрания Красноярского края Сергей Горбунов**. – И наша задача – создавать условия для их развития, основанного на здоровом образе жизни, увлечении спортом и патриотизме».

Поддержку детскому спорту и, в частности, мини-футболу СУЭК оказывает на протяжении многих лет, содействуя тем самым реализации федеральной программы «Мини-футбол – в школу». В Бородино футбольная секция при участии Компании была организована в 2018 г. Для юных футболистов СУЭК приобретает инвентарь и форму, привлекает тренеров, финансирует поездки на соревнования и проводит собственные турниры. Как результат – количество участников секции за прошедшие годы увеличилось вдвое, в наградной копилке ребят – десятки медалей различного достоинства с соревнований городского, зонального и краевого уровней, с турниров Сибирского федерального округа.

Пресс-служба АО «СУЭК»