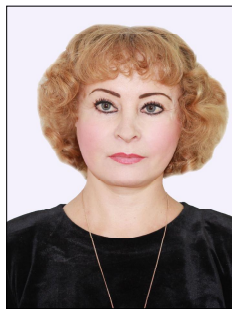


УДК 622,7

DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-8-23-34

ПРИМЕНЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

APPLICATION OF THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES TO IMPROVE ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE DISPOSAL OF ASH AND SLAG WASTE



Л. В. Шумилова,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
shumilovalv@mail.ru

L. Shumilova,
Transbaikal State
University, Chita



А. Н. Хатькова,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
alisa1965.65@mail.ru

A. Khatkova,
Transbaikal State
University, Chita



К. К. Размахнин,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
igdranchita@mail.ru

K. Razmakhnin,
Transbaikal State
University, Chita



Т. С. Номоконова,
Забайкальский
государственный
университет, Чита
krutikova_1995@mail.ru

T. Nomokonova,
Transbaikal State
University, Chita

Ликвидация объектов, негативно влияющих на окружающую среду, занимающих большие площади, является задачей государственного масштаба в сфере экономики и экологии. *Объект исследования* – золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании углей на Читинской ТЭЦ-2. *Предмет исследования* – возможности использования отходов топливного комплекса Забайкальского края для повышения экологической безопасности территории при их утилизации на основе применения наилучших доступных технологий. *Цель работы* – систематизация сведений по вещественному составу углей Забайкалья и комплексному использованию золошлаковых отходов (ЗШО) посредством применения наилучших доступных технологий с минимизацией эмиссий в окружающую среду на основе определения химического состава зол Читинской ТЭЦ-2. В работе применяли информационный анализ (литературных и фондовых источников, нормативно-технической и научно-методической документации), гранулометрический и фракционный методы; атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой, полуколичественный и приближенно-количественный спектральные анализы. Систематизированы сведения по вещественному составу углей Забайкалья с целью выявления достаточности содержания в них металлов для извлечения; проведены аналитические исследования элементного и количественного состава геосистемы: «уголь – зола – золошлак»; изучены основные направления рационального использования ЗШО топливного комплекса Забайкальского края. Установлено, что золошлаковые отходы имеют повышенное содержание промышленно значимых элементов (La, Y, Li, Ti). Сделан вывод о том, что техногенные отходы топливного комплекса г. Чита можно рассматривать как нетрадиционный минеральный источник для извлечения редких и редкоземельных металлов наилучшими доступными технологиями, а также как вторичное сырьё в строительной и дорожной отраслях промышленности, в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве

Ключевые слова: месторождения угля, токсичность углей, золошлаковые отходы, редкие и редкоземельные металлы, утилизация, золоотвалы, переработка золошлаков, теплоэлектростанция, экологическая безопасность, наилучшие доступные технологии

The elimination of objects that have a negative impact on the environment, occupying an impressive area, is a national-scale task in the field of economics and ecology. *The object of the research* is ash and slag waste generated during the burning of coal at Chita CHP–2. *The subject of research* is the study of the possibility of using waste from the fuel complex of the Transbaikalian Territory to improve the environmental safety of the territory during their disposal based on the use of the best available technologies. *The purpose of the work* is to systematize information on the material composition of coal in Transbaikalia and the integrated use of ash and slag waste (ASH) through the use of the best available technologies to minimize emissions into the environment based on the determination of the chemical composition of the ashes of Chita CHP–2. Information analysis (literary and stock sources, normative-technical and scientific-methodological documentation), granulometric and fractional methods were used in the work; atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, semi-quantitative and approximate quantitative spectral analyses. Systematized information on the material composition of Transbaikalian coals in order to determine the content of metals in them; conducted analytical studies of the elemental and quantitative composition of the geosystem: «coal – ash - ash slag»; studied the main directions of rational use of the fuel complex of the Transbaikalian Territory. It has been established that ash and slag wastes have an increased content of industrially significant elements (La, Y, Li, Ti). It is concluded that the technogenic waste of the Chita fuel complex can be considered as an unconventional mineral source for the extraction of rare and rare earth metals, as well as secondary raw materials in the construction and road industries, in housing and communal services and agriculture

Key words: coal deposits, coal toxicity, ash and slag waste, rare and rare earth metals, recycling, ash dumps, ash and slag processing, thermal power plant, environmental safety, best available technologies

Введение. Важным звеном топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России является угольная промышленность. По запасам угля наша страна занимает второе место в мире. Согласно отчету Министерства энергетики, на 1 января 2020 г. в России функционировали 187 угольных предприятий – 57 шахт и 130 разрезов, на которых добыто 486,9 млн т полезного ископаемого [12]. Ежегодно 172 угольные теплоэлектростанции (ТЭС) страны сжигают более 123 млн твердого топлива, образуя техногенные выбросы в атмосферу и твердые отходы в виде золы и шлака. Итоги работы угольной промышленности России за январь-март 2021 г. подтвердили неизменность трековых линий [14].

Актуальность исследований. Современные экологические проблемы энергетических комплексов России, работающих на угольном топливе, остаются нерешёнными [4]. Золошлакоотходы (ЗШО) складываются на открытых территориях и из-за воздействия природных явлений (дождь, таяние снега, ветер) несут угрозу загрязнения воздушного и водного бассейнов, а также способствуют ухудшению химического состава почв [3]. Зачастую полигоны ЗШО находятся вблизи жилых построек.

Проблема использования золошлаковых материалов (ЗШМ), образующихся на ТЭС при сжигании углей, не решена как в целом по России, так и в г. Чита, в частности. Поэтому утилизация золошлаков ТЭС в России рассматривается как новая кросс-отраслевая задача

[13]. Актуальность исследований заключается в необходимости комплексной переработки и утилизации продуктов сжигания угольных теплоэлектростанций г. Чита.

Объект исследования – золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании углей на Читинской ТЭС-2.

Предмет исследования – возможности использования отходов топливного комплекса Забайкальского края для повышения экологической безопасности территории при их утилизации на основе применения наилучших доступных технологий.

Цель работы – систематизация сведений по вещественному составу углей Забайкалья и комплексному использованию золошлаковых отходов посредством применения наилучших доступных технологий с минимизацией эмиссий в окружающую среду на основе определения химического состава зол Читинской ТЭС-2.

Задачи исследования – систематизация сведений по вещественному составу углей Забайкалья с целью выявления достаточности содержания (промышленного значения) в них металлов для последующего извлечения наилучшими доступными технологиями с минимизацией эмиссий в окружающую среду; проведение аналитического исследования количественного и качественного состава геосистемы: «уголь – зола – золошлак»; изучение основных направлений рационального использования ЗШО топливного комплекса Забайкальского края.

Методы исследования. В работе использованы информационный анализ (литературных и фондовых источников, нормативно-технической и научно-методической документации), гранулометрический, фракционный методы; атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, полуколичественный и приближенно-количественный спектральный анализы, статистическая обработка данных, корреляционный и регрессионный анализ.

Разработанность темы. В России и за ее пределами вопрос об утилизации ЗШО стал звучать гораздо чаще. За последние 60...70 лет работы ТЭС образовалось огромное количество отходов, которые требуют пристального внимания. Суммарный запас отходов, складываемых на разных производствах, составляет 80...120 млрд т, причем ежегодный прирост варьируется от 5 до 7 млрд т [15].

Изучение металлоносности углей месторождений Забайкалья началось в середине 50-х гг. Эти исследования, как и в других регионах страны, имели преимущественно «германиевую» направленность, максимум интенсивности пришелся на 1955-1965 гг. В 1988–1989 гг. проведено опробование товарной продукции действовавших на тот момент угледобывающих предприятий региона (Забайкалье), базировавшееся на обновленной аналитической основе. Результаты этого цикла работ нашли отражение в справочнике, изданном в 1996 г.¹ В последующие годы массив геохимической информации пополнился данными по Апасатскому, Читкиндскому месторождениям и ряду других объектов.

В производственных и научно-исследовательских работах приняли участие геолого-разведочные и тематические экспедиции Читинского и Бурятского территориальных геологических управлений, Геолого-разведочного треста № 1, Геолого-геохимического треста, а также подразделения ЛОПИ, ИМГРЭ, Иркутского университета и других организаций. Главный итог исследований – выявление промышленной германиеносности на Тарбагатайском месторождении. Научное руководство исследованиями металлоносности углей региона осуществлялось д-ром геол.-минерал. наук В. Ф. Череповским и канд. геол.-минерал. наук

В. Р. Клером. В практическом воплощении результатов исследования неопределима роль д-ра техн. наук А. З. Юровского, д-ра геол.-минерал. наук В. М. Ратынского (ИГИ), канд. геол.-минерал. наук А. В. Внукова (ВНИГРИуголь, Читинское ГУ, ЗабНИИ) и В. Р. Клера. Плодотворна помощь, оказанная в проведении работ главными специалистами Мингео Б. И. Меттихом и И. А. Смирновым.

При утилизации отходов и извлечении металлов необходимо иметь в виду, что 1 сентября 2022 г. вступила в силу новая редакция Положения о составе разделов проектной документации (Постановление Правительства РФ от 27.05.2022 № 963, раздел 8 «Перечень мероприятий по охране окружающей среды»). В связи с необходимостью получения до 01.01.2025 г. предприятиями, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду, комплексного экологического разрешения, в пояснительной записке проекта (технологического регламента) теперь требуется указывать информацию о планируемых мероприятиях по рекультивации нарушенных земель. Виды воздействия ЗШО на окружающую среду представлены на рис. 1 [10].

С учётом международного опыта (достижение баланса между экологическими, социальными и экономическими интересами общества) одним из важных критериев выбора наилучших доступных технологий (НДТ) для повышения ресурсной эффективности стало применение малоотходных процессов и технологий (технологические отходы от 1,5 до 10,0 %) и безотходных (технологические отходы до 1,5 %), в том числе и переработка отходов ТЭЦ.

Результаты исследования и их обсуждение. Несмотря на сложившуюся экологическую ситуацию, отказ от твердого топлива и переход на «зеленую» энергетику займет десятилетия, а объём переработки отходов в России крайне низок, не превышает 10 %. Выполненные по ряду месторождений Забайкалья лабораторные исследования полукоксования разнометаморфизованных углей, изложенные в т. 9 справочника «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», издательства «Недра» (1973) свидетельствуют, по мнению В. П. Плотникова и Н. Ф. Карпова, о положительных результатах.

¹Жаров Ю. Н., Мейтов Е. С., Шарова И. Г. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России (справочник) / Под ред. В. Ф. Череповского, В. М. Рогового, и В. Р. Клера. – М.: Недра, 1996.

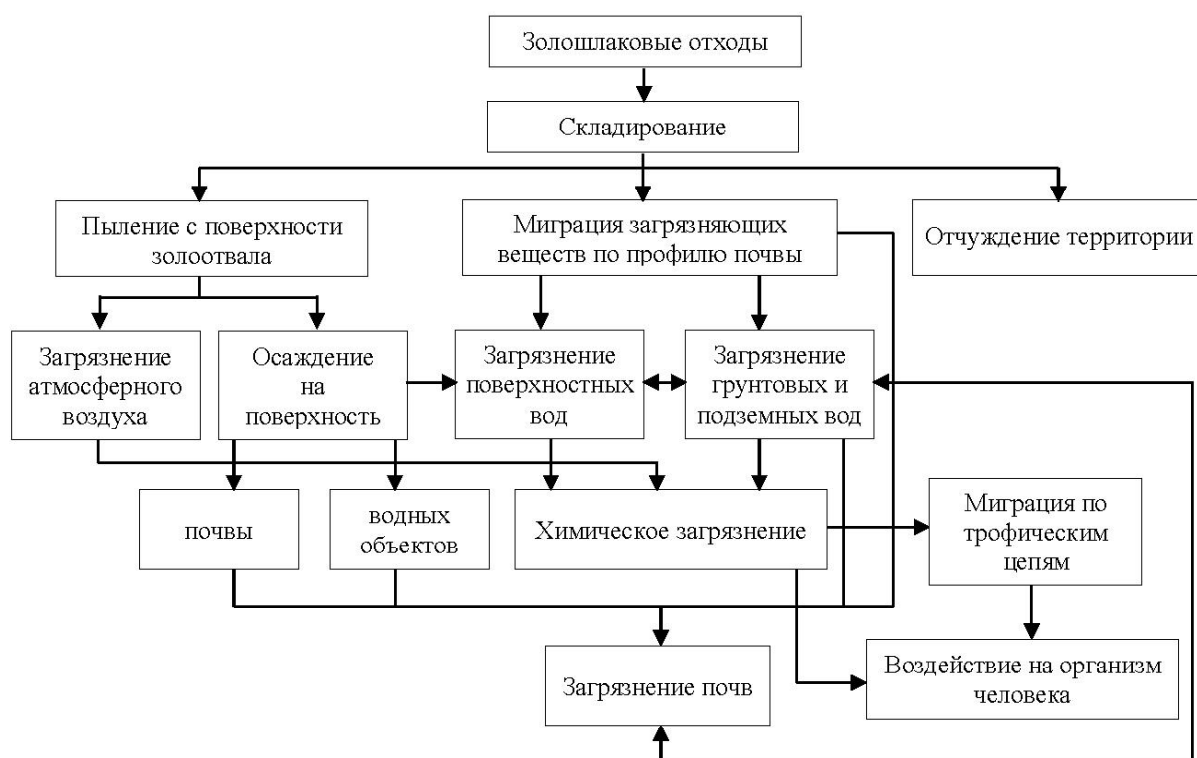


Рис. 1. Воздействие ЗШО на окружающую среду / Fig. 1. The impact of the ASH on the environment

Поскольку забайкальские энергетические угли используются без предварительной обработки, специальные исследования их обогатимости практически не проводились (исключение составляют лишь угли Читкандинского месторождения, для которых установлена трудная обогатимость). В большой массе высокозольные разности углей обычно характеризуются средней обогатимостью и дают выход концентрата до 60...65 %, удовлетворительного по зольности. Апсатские коксующиеся угли являются очень труднообогатимыми.

Оценка металлоносности углей дается преимущественно по результатам полуколичественных и приближенно-количественных спектральных анализов оголенных проб углей. Количественные определения содержания в углях редких и других элементов в заметных количествах стали выполняться в последние годы (с 1988 г.).

Оценка металлоносности углей состоит из определения положительной геохимической специализации углей объекта. Положительная геохимическая специализация углей того или иного объекта представляет собой перечень элементов, коэффициент концентрации (КК) которых ≥ 2 . Показатель КК элемента – отношение среднего содержания элемента в углях

оцениваемого объекта к кларку этого элемента в углях по В. Р. Клеру. Суммарная металлоносность углей объекта есть сумма КК всех определявшихся в его углях элементов (Σ КК). В целом по региону изучена металлоносность углей около 30 месторождений. Наибольший интерес представляет германий-вольфрамовое оруденение двух участков Тарбагатайского бурого угольного месторождения в Забайкальском крае.

Товарные угли рудных участков Тарбагатайского месторождения высокометаллоносны: суммарный коэффициент концентрации составляет 104. Мажоритарный ряд накапливающихся в углях элементов выглядит следующим образом: германий (КК = 50); вольфрам (28,3); лантан (4,7); молибден (2,7); ниобий (2,5); фтор (2,2). При этом решающую роль в геохимическом облике углей рудных участков играют германий и вольфрам, хотя содержание последнего ниже, чем «оценочные кондиции» (50 г / т угля). Концентрации многих элементов ниже кларковых.

В товарных углях рудных участков месторождения незначительно концентрируются бериллий, мышьяк, ртуть, фтор, ванадий и другие потенциально токсичные элементы. Геохимическая информация обобщена и генерализирована в табл. 1 (признаки токсичности

Таблица 1 / Table 1

Признаки токсичности углей месторождений Забайкалья, *в/т угля /*
Signs of toxicity of coal deposits of Transbaikalia, g/t of coal

Месторождения, угледобывающие предприятия / Deposits, coal mining enterprises	Выявленные признаки токсичности, отвечающие требованиям / Identified signs of toxicity that meet the requirements						
	Бериллий / Beryllium	Мышьяк / Arsenic/	Ртуть / Mercury	Фтор / Fluorine	Ванадий / Vanadium	Никель / Nickel	Хром / Chrome
Гусиноозерское, шахта, разрез / Gusinoozersk, mine, section		Единичные пробы / Single samples	Низкие содержания / Low content	480-560			
Сангинское, шахта / Sanninskoye, mine		То же / Single samples	То же / Low content	Низкие содержания / Low content			
Окино-Ключевское / Okino-Klyuchevskoe		Низкие содержания / Low content	-"	>500			300
Тарбагатайское, разрез, рудные участки / Tarbagatayskoye, section, ore sites	Локальное поле в пласте «Спутник», 5,8 / Local field in the Sputnik formation, 5.8	То же / Low content	-"	Низкие содержания / Low content	Локальное поле в пласте «Мощный», 126 / Local field in the «Mosghny» formation, 126	Локальное поле в пласте «Тигнинский», 126 / Local field in the Tigninsky formation, 126	
Харанорское, разрез / Kharanorsky section		-"	-"	То же / Low content			
Букачачинское, шахта / Bukachacinskoye mine		-"	-"	-"			
Татауровское. Разрез / Tataursky section		-"	-"	-"			
Олонь-Шибирское, разрез / Olon-Shibirsky section		-"		-"	До 100 / Up to 100		
Иргенское / Irgenskoye	Повышенное содержание / Increased content		В углях найдена киноварь / Cinnabar found in the coals				

углей). Выделяются три группы месторождений с низкометаллоносными (ХКК<50), металлоносными (50...100) и высокометаллоносными (> 100) углями. В «структуре» суммарной

металлоносности высокометаллоносных углей решающую роль играют концентрации германия и вольфрама (%): Тарбагатайское – 48 и 27, Мордойское – 10 и 64 соответственно. Для

металлоносных углей картина иная, %: ведущими элементами здесь являются стронций (52) и лантан (15) – Татауровское месторождение, лантан (25) – Окино-Ключевское, лантан (-16) и фтор (10,3) – Гусиноозерское месторождение. В первой группе картина более разнообразная.

Комплексы рудных элементов эндогенных месторождений рудных поясов Забайкалья представлены в табл. 2. Из 16 элементов, определяющих положительную геохимическую специализацию углей региона, по уровню концентрации выделяются вольфрам (максимальный КК = 88,0), германий (50,0) и стронций (30,2). При этом вольфрам и стронций характерны только для мезозойской эпохи эндогенного рудообразования Забайкалья. Связь германиевого и вольфрамового оруденения углей

на примере Тарбагатайского, а также Мордойского месторождений не вызывает сомнений.

В г. Чита осуществляют деятельность две ТЭЦ. Читинская ТЭЦ-1 является самой большой в Забайкальском крае электростанцией, располагающейся на берегу оз. Кенон, которое служит для нее водоемом – охладителем. Электростанция построена во времена существования Советского Союза, поэтому на ней установлена система гидрозолошлакоудаления, что является недостатком, поскольку шлак и зола имеют потенциальный спрос лишь как отдельное вторичное сырьё. На территории станции находится полигон для хранения золошлаков, площадь которого составляет 573938 м². По аналогичной схеме в 1936 г. построена Читинская ТЭЦ-2 со шлаковым озером площадью 207342 м².

Таблица 2 / Table 2

Комплексы рудных элементов эндогенных месторождений рудных поясов Забайкалья и находящихся в их пределах углей месторождений региона / Complexes of ore elements of endogenous deposits of the ore belts in Transbaikalia and the coal deposits of the region located within them

Металлогенический пояс / Metallogenic Belt	Наименование и металлогеническая специализация рудного пояса / Name and metallogenic specialization of the ore belt	Перечень элементов, концентрирующихся в углях месторождений рудного пояса / List of elements concentrated in the coal deposits of the ore belt
Саяно-Банкало-Становой / Sayano-Baikal-Stanovoy	Редкометалльный / Rare Metal	Ахаликское (палеоген) – La, Nb; / Akhalikskoe (Paleogene) – La, Nb;
	Южно-Прибайкальский / South Pribaikalsky	Сангинское – F, La, (Hf) / Sanginskoye – F, La, (Hf); Баянгольское – La, Nb / Bayangolskoye – La, Nb; Гусиноозерское – La, Ba, Li, F, Ge, Ni, Mo, Mn / Gusinoozerskoye – La, Ba, Li, F, Ge, Ni, Mo, Mn
	Железо-медно-редкометалльный / Iron-copper-rare metal	Читкандинское – (Y, Yb, Au, Pt, Pd) / Chitkandinskoye – (Y, Yb, Au, Pt, Pd)
	Каларский / Kalarsky	Апсатское – (Sc, Y, TR, Au, Pt, Pd, Ru) / Arsatskoe – (Sc, Y, TR, Au, Pt, Pd, Ru)
Монголо-Охотский / Mongol-Okhotsk	Золото-молибден-вольфрам-редкометалльный / Gold-molybdenum tungsten-rare metal	Окино-Ключевское – Cr, La, Nb, Mo, Sn / Okino-Klyuchevskoe – Cr, La, Nb, Mo, Sn; Никольское – Ag / Nikolskoe – Ag; Олонь-Шибирское – Sr, La, F / Olon-Shibirskoye – Sr, La, F; Тарбагатайское – Ge, W, La, Mo, Nb, F / Tarbagatayskoye – Ge, W, La, Mo, Nb, F; Татауровское – Sr, La, Ba, F, Mn / Tataurovskoe – Sr, La, Ba, F, Mn; Букачачинское – La, Ba, F, Mo / Bukachachy – La, Ba, F, Mo
	Олово-вольфрам-редкометалльный / Tin-tungsten rare-metal	Мордовское – W, Ge, La, Nb, Ag, Mo / Mordovian – W, Ge, La, Nb, Ag, Mo; Харанорское – La, Ba, Sr, F / Kharanorskoye – La, Ba, Sr, F
	Уран-флюоритовый / Uranium-Fluorite	Уртуйское – (Re, U) / Urtuy – (Re, U)

На Читинской ТЭЦ-2 произведен отбор следующих проб: харанорского угля со склада (ХУ ТЭЦ-2), золы с котлоагрегата № 4 марки Е-42/40 (З ТЭЦ-2) и золошлака с золошлакоотвала ПАО ТГК-14 «Читинская ТЭЦ-2» (ЗШУ ТЭЦ-2). Химический элементный состав геосистемы «уголь – зола – золошлак» представлен в табл. 3. Состав основных компонентов определялся методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП – АЭС). Установлен характер распределения концентраций редких металлов (РМ) и редкоземельных металлов (РЗМ) в харанорском угле, хранящемся на ТЭЦ-2 (ХУ-ТЭЦ-2), в золе котлоагрегата (ЗТЭЦ-2) и в золе золошлакового озера (ЗШУ ТЭЦ -2).

Анализ данных табл. 3 показал, что извлечение РМ и РЗМ вызывает практический интерес. При относительно небольших содержаниях этих металлов в углях, в золоотвалах ТЭС содержание редких и редкоземельных металлов в несколько раз выше (в 10 раз для La, в 14 раз – для Y, в 4 и 3,5 раза – для Li, Ti соответственно).

Комплексное природопользование основано на международном принципе превентивности мер в рамках концепции устойчивого развития и предполагает внедрение наилучших доступных технологических процессов и методов для переработки техногенных отходов. Предприятию на первом этапе необходимо осуществить выбор оптимального варианта НДТ, при этом руководствоваться девятью принципами методологической оценки наилучших доступных технологий в аспекте их комплексного воздействия на окружающую среду; провести исследования, разработать технологический регламент, оформить заявку на получение комплексно-

го экологического разрешения. Алгоритм инспекции соблюдения условий КЭР представлен на рис. 2.

Предприятия России по переработке ЗШО, функционирующие при ТЭС, делятся на четыре группы: горноперерабатывающая промышленность; промышленное гражданское, транспортное и дорожное строительство; жилищно-коммунальное хозяйство; сельское хозяйство.

Горноперерабатывающая промышленность – извлечение редких и редкоземельных металлов. Редкие и редкоземельные металлы являются незаменимым сырьем для производства широкого спектра продукции, применяемых в обычной жизни, а также в современных технологиях. Проблема извлечения данных металлов стоит остро, особенно в странах, не имеющих собственных месторождений. Развитие технологии извлечения РМ и РЗМ из отходов производства энергетики может стать одним из важных аспектов повышения экономической конкурентоспособности страны [2], а именно обеспечение предприятий относительно дешёвым сырьем.

Для извлечения РМ и РЗМ из ЗШО необходимо (в зависимости от категории обогатимости сырья) исследовать следующие методы обогащения и гидрометаллургии: флотация, электромагнитная сепарация, электростатическая сепарация, кислотное выщелачивание, осаждение, экстракция, комбинация перечисленных методов [17].

В качестве сорбентов следует использовать природные и модифицированные цеолиты Забайкалья, которые позволят очистить выбросы и сбросы техногенных отходов и, таким образом, снизить эмиссии всех трёх агрегатных состояний (твёрдое, жидкое, газообразное).

Таблица 3 / Table 3

*Химический элементный состав геосистемы «уголь – зола – золошлак» /
Chemical elemental composition of the geosystem «coal – ash – ash slag»*

Элемент/ Element		Содержание, г/т / Content, g/t		
		ХУ-ТЭЦ-2 / HU-CHP-2	ЗТЭЦ-2 / CHP-2	ЗШУ ТЭЦ-2 / ZSHU CHPP-2
Редкие металлы / Rare metals	Be	27,84	8,42	36,51
	Li	8,26	44,23	28,59
	Mo	4,27	14,26	–
	Ti	490,02	3046,9	1909,23
	V	–	71,88	54,88
	W	–	3,299	110,18
Редкоземельные металлы / Rare earth metals	Y	2,87	12,03	29,41
	La	4,82	21,32	41,25

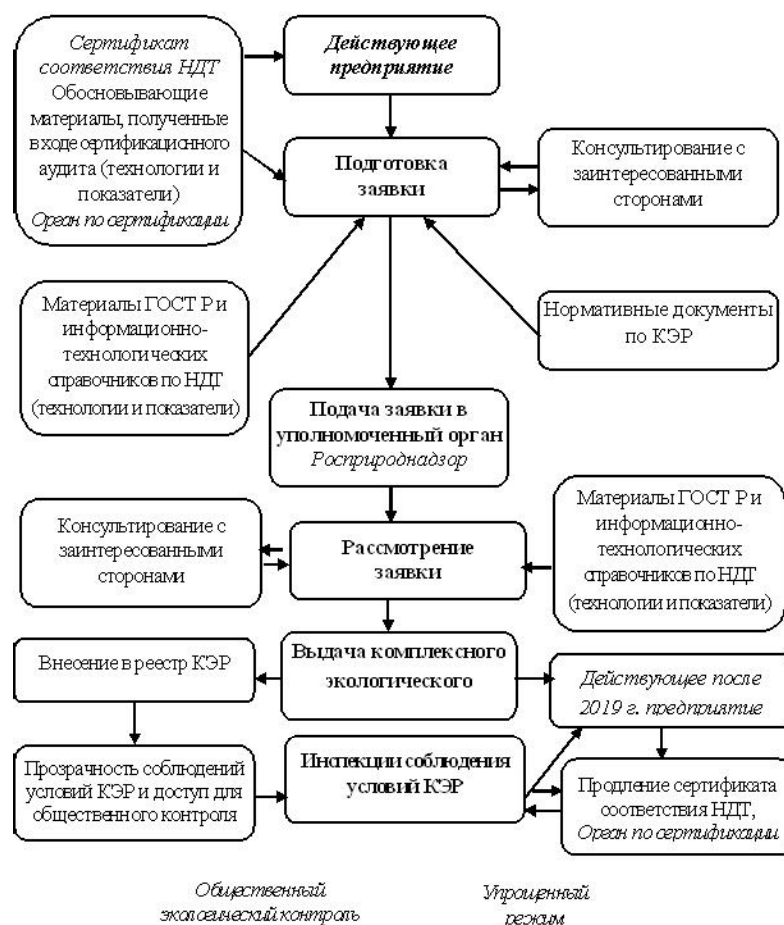


Рис. 2. Алгоритм действий топливного комплекса для получения комплексного экологического разрешения / Fig. 2. The algorithm of actions of the fuel complex for obtaining a comprehensive environmental permit

Существует потенциальная возможность извлечения РМ и РЗМ из золошлаковых отходов Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 и кооперации ТЭС со строительной и дорожной отраслями промышленности.

Строительная отрасль. Использование отходов топливно-энергетических комплексов получило распространение в строительной отрасли, именно данному направлению (цементы, бетоны, керамические изделия) посвящено большое количество научных публикаций.

Цементы. В ряде работ [7; 16] рассмотрен способ применения ЗШО как минеральной добавки в цементы. Установлено влияние количества добавляемых минеральных компонентов к цементам на физико-механические характеристики строительных материалов. Определено, что использование ЗШО положительно влияет на свойства цементов, однако только при его содержании до 20 % от массы материала.

Бетоны. Известно [11], что бетоны, изготовленные с использованием отходов топливного комплекса, не уступают бетонам на обычном цементе, при этом являются более выгодными. Показано, что прочность бетона, в который добавлено до 20 % шлака (от массы цемента), возрастает почти в два раза, если сравнивать с безшлаковым образцом. Известны образцы бетонов, в которых менялась тона помолы при измельчении ЗШО. На выходе удалось оптимизировать прочность шлакобетонов, которая доходила до 40 Мпа и более.

Рассмотрены и негативные влияния на качество таких бетонов. Так, при добавке золы-уноса в количестве более 50 % от объема полученные образцы становятся менее прочными и морозостойкими.

Керамические изделия. Использование ЗШО, как сырья для производства керамических изделий, является перспективным решением для экономии потребления минераль-

ных ресурсов. Доказана [1] целесообразность получения керамического кирпича на основе золошлакового материала: улучшаются следующие характеристики керамических изделий: время сушки кирпича-сырца, прочность при сжигании и морозостойкость.

Теплоизоляционные материалы. Использование ЗШО, как источника для производства теплоизоляционных материалов, молодое и перспективное направление. Известен метод получения изоляционного материала с золами с разным размером частиц методом вспенивания [6]. В ходе вспенивания образуется композиционная паста, состоящая из смеси глина-зола. После сушки в конвективной печи (не сложного производства) получают пеноматериал, который, благодаря высокой прочности и герметичности, подходит для применения в качестве теплоизоляционного материала.

Дорожное строительство. В странах Западной Европы используется ЗШО во всех элементах дорожных конструкций, а также в теле дорожной насыпи, как техногенный грунт. Несмотря на зарубежный опыт, в России данные технологии используются редко. Лидером по использованию золы для строительства дорог является Франция, где на ТЭЦ используют в основном «сухое» удаление, поэтому около 90 % отходов идет на утилизацию [18]. В нашей стране к строительству дорог федерального значения предъявляются повышенные требования, поэтому ЗШМ не могут использоваться в составе компонентной смеси. В региональном масштабе, данные технологии могут снизить экономические затраты в дорожном строительстве [8].

Жилищно-коммунальное хозяйство. Пересыпка отходов на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО). В России и за рубежом проходят исследования по использованию ЗШО, как изолирующего слоя на полигонах ТКО. Положительный опыт получили такие регионы, как Красноярский край, Самарская и Иркутская области. Сложность использования рекультивационных мероприятий с применением золошлаков заключается в необходимости проведения экологической экспертизы: требуется документация, подтверждающая использование как безопасного наполнителя, а также юридическое заключение [5].

Сельское хозяйство (удобрения). По данным химического состава ЗШО однотипны с природным минеральным сырьём, поэтому целесообразно говорить об их использовании в

сельском хозяйстве. Положительное значение для мелиорации почв, ремидации и рекультивации земель имеют ценные микроэлементы и оксиды, содержащиеся в золах ТЭЦ. Внесение ЗШО в почву увеличивает ее водно-химические и агрохимические показатели [9]. Перед использованием ЗШО в этой области необходимо провести качественный химический анализ для исключения попадания в почву токсичных (вредных) химических элементов. Проведенные исследования в России и за рубежом [9] показывают, что использование ЗШО оказывает положительное влияние не только на экономическую составляющую мероприятий по рекультивации полигонов промышленных и бытовых отходов, но и позволяют оперативно сократить большие объемы годами накопленных отходов топливно-энергетических комплексов, увеличивая долю утилизации ЗШО в России.

Выводы. Систематизированы сведения по вещественному составу углей Забайкалья, позволяющие установить металлоносность забайкальских углей. Появилась возможность прогнозирования не только германий-вольфрамового и стронциевого оруденения углей региона, но и углей, содержащих другие химические элементы.

Изучен компонентный состав геосистемы: «уголь – зола – золошлак» Читинской ТЭЦ-2. Проведены аналитические исследования количественного состава геосистемы: «уголь – зола – золошлак». Установлены повышенные значения концентраций промышленно значимых элементов, содержание которых многократно превышает значения в исходном хангорском угле: в 10 раз для La, в 14 раз для Y, в 4 для Li, в 3,5 раза для Ti.

Разработан алгоритм действий топливного комплекса для получения комплексного экологического разрешения. Изучены основные направления рационального использования золошлаковых отходов, исходя из практического опыта других стран и регионов РФ.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что техногенные отходы объекта исследования топливного комплекса г. Чита Забайкальского края можно рассматривать как нетрадиционный минеральный источник для извлечения редких и редкоземельных металлов наилучшими доступными технологиями, а также как вторичное сырьё в строительной и дорожной отраслях промышленности, жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в 2022–2023 гг., соглашение номер 22-17-00040.

Список литературы

1. Абдрахимов В. З. Использование золошлакового материала и нанотехногенного карбонатного шлама в производстве кирпича на основе бейделлитовой глины // Строительные материалы и технологии. 2019. № 2. С. 81–89.
2. Доримомедов М. С., Севастьянов Д. В., Шеин Е. А. Технологические, институциональные и экономические тенденции в отрасли редких и редкоземельных металлов (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 7. С. 3–11.
3. Кожуховский И. С., Величко Е. Г., Цельковский Ю. К., Цховребов Э. С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, № 6. С. 756–773.
4. Козлов А. В., Захаров Д. А., Животков И. О. Изучение свойств золы-уноса Новочеркасской ГРЭС и поиск области ее применения // Вестник Белгородского государственного технического университета им. В. Г. Шухова. 2018. № 7. С. 12–17.
5. Кочнева А. В., Барахтенко В. В., Кузьмин М. П., Бурдонов А. Е. Возможность использования ЗШО в качестве изолирующего материала при рекультивации полигонов // Известия Тульского государственного университета. 2022. № 1. С. 83–97.
6. Красный Б. Л., Иконников К. И., Лемешев Д. О., Сизова А. С. Летучая зола как техногенное сырье для получения огнеупорных и изоляционных керамических материалов (обзор) // Стекло и керамика. 2021. № 2. С. 17–19.
7. Малыхин Р. Н. Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве Кузбасса // Молодой учёный. 2019. № 15. С. 41–44.
8. Осокин Н. А., Золотова И. Ю., Никитушкина Ю. В. Снижение антропогенного воздействия дорожного строительства за счет применения золошлаковых отходов // Экономическая наука современной России. 2022. № 1. С. 81–93.
9. Палеев П. Л., Худякова Л. И. Использование золошлаковых отходов в сельском хозяйстве // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. № 4. С. 348–356.
10. 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.
11. Русина В. В., Соколов А. А., Рябиков В. М. Бетон с использованием топливных отходов // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2019. № 4. С. 35–37.
12. Сальникова Е. Б., Гринева М. Н. Угольная промышленность в России в условиях ориентации на углеродно-нейтральную экономику. Текст: электронный // Universum: экономика и юриспруденция: электрон. научн. журн. 2021. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugolnaya-promyshlennost-rossii-v-usloviyah-orientatsii-na-uglerodno-neytralnuyu-ekonomiku/viewer> (дата обращения: 17.09.2022).
13. Сниккарс П. Н., Золотова И. Ю., Осокин В. А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кросс-отраслевая задача // Энергетическая политика. 2020. № 7. С. 34–45.
14. Таразанов И. Г., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь–март 2021 года // Уголь. 2021. № 6. С. 25–36.
15. Таскин А. В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности: дис. ... канд. хим. наук: 03.02.08. Владивосток, 2018. 208 с.
16. Худякова Л. И., Залуцкий А. В., Палеев П. Л. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций // XXI век. Техносферная безопасность. 2019. № 4. С. 375–391.
17. Черкасова Е. В., Тихомирова А. В., Черкасова Т. Г., Головачев А. А. Выделение концентратов редких и редкоземельных элементов из золошлаковых отходов Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 2. С. 35–39.
18. Xu G., Shi X. Characteristics and applications of fly ash as a sustainable construction material: A state of the art review // Resources, conservation & recycling. 2018. No. 136. P. 95–109.

References

1. Abdrakhimov V. Z. Stroitelnye materialy i tehnologii (Building materials and technologies), 2019, no. 2, pp. 81–89.
2. Dorimomedov M. S., Sevastyanov D. V., Shein E. A. Trudy VIAM (Proceedings of VIAM), 2019, no. 7, Pp. 3–11.
3. Kozhukhovskiy I. S., Velichko E. G., Tselykovskiy Yu. K., Tskhovrebov E. S. Vestnik MGSU (Bulletin of the MSCU), 2019, vol. 14, no. 6, pp. 756–773.
4. Kozlov A. V., Zakharov D. A., Zhihotkov I. O. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. V.G. Shukhova (Bulletin of the Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov), 2018, no. 7, pp. 12–17.
5. Kochneva A. V., Barahtenko V. V., Kuzmin M. P., Burdonov A. E. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta (Proceedings of the Tula State University), 2022, no. 1, pp. 83–97.
6. Krasny B. L., Ikonnikov K. I., Lemeshev D. O., Sizova A. S. Steklo i keramika (Glass and ceramics), 2021, no. 2, pp. 17–19.
7. Malykhin, R. N. Molodoy uchyony (Young scientist), 2019, no. 15, pp. 41–44.
8. Osokin N. A., Zolotova I. Yu., Nikitushkina Yu.V. Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii (Economic science of modern Russia), 2022, no. 1, pp. 81–93.
9. Paleev P. L., Khudyakova L. I. XXI vek. Tehnosfernaya bezopasnost (XXI century. Technosphere safety), 2021, no. 4, pp. 348–356.
10. Pichugin E. A. Problemy regionalnoy ekologii (Problems of regional ecology), 2019, no. 4, pp. 77–87.
11. Rusina V. V., Sokolov A. A., Ryabikov V. M. Stroitelstvo: novye tehnologii – novoe oborudovanie (Construction: new technologies – new equipment), 2019, no. 4, pp. 35–37.
12. Salnikova E. B., Grineva M. N. Universum: ekonomika i yurisprudentsiya (Universum: economics and jurisprudence), 2021, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugolnaya-promyshlennost-rossii-v-usloviyah-orientatsii-na-uglerodno-neytralnyu-ekonomiku/viewer> (date of access: 17.09.2022). Text: electronic.
13. Snikkars P.N., Zolotova I.Yu., Osokin V.A. Energeticheskaya politika (Energy policy), 2020, no. 7, pp. 34–45.
14. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. Ugol (Coal), 2021, no. 6, pp. 25–36.
15. Taskin A. V. Himiko-tehnologicheskie resheniya kompleksnoy pererabotki zoloshlakovykh othodov promyshlennosti (Chemical and technological solutions for complex processing of ash and slag waste of industry). Vladivostok, 2018. 208 p.
16. Khudyakova L. I., Zalutsky A. V., Paleev P. L. XXI vek Tehnosfernaya bezopasnost (XXI century Technosphere safety), 2019, no. 4, pp. 375–391.
17. Cherkasova E. V., Tikhomirova A. V., Cherkasova T. G., Golovachev A.A. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of the Kuzbass State Technical University), 2021, no. 2, pp. 35–39.
18. Xu G., Shi X. Resources, conservation & recycling. 2018. No. 136. Pp. 95–109.

Информация об авторе

Шумилова Лидия Владимировна, д-р техн. наук, доцент ВАК, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, физико-химическая геотехнология, инновационные технологии, экоинженерия
shumilovalv@mail.ru.

Хатькова Алиса Николаевна, д-р техн. наук, профессор, проректор по науке и инновациям, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералого-технологическая оценка неметаллических полезных ископаемых, обоснование методов обогащения и разработка современных технологий переработки нетрадиционных видов минерального сырья для расширения сфер их практического применения
alisa1965.65@mail.ru.

Размахнин Константин Константинович, канд. техн. наук, доцент ВАК, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, геоэкология, сорбционные технологии, гидрометаллургия
igdranchita@mail.ru

Номоконова Татьяна Сергеевна, аспирант, заведующий лабораторией, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых
krutikova_1995@mail.ru

Information about the author

Lidiya Shumilova, doctor of technical sciences, associate professor, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: mineral processing, physical and chemical geotechnology, innovative technologies, eco-engineering

Alisa Khatkova, doctor of technical sciences, professor, Chemistry department, Vice-Rector for Scientific and Innovation Work, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: research interests: mineral and technological assessment of non-metallic minerals, justification of enrichment methods and development of modern technologies for processing non-traditional types of mineral raw materials to expand their practical application

Konstantin Razmakhnin, candidate of technical sciences, associate professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: mineral processing, geocology, sorption technologies, hydrometallurgy

Tatiana Nomokonova, postgraduate, Head of the laboratory, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: mineral processing

Для цитирования

Шумилова Л. В., Хатькова А. Н., Размахнин К. К., Номоконова Т. Г. Применение наилучших доступных технологий для повышения экологической безопасности при утилизации золошлаковых отходов // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 8. С. 23–34. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-8-23-34.

Shumilova L., Khatkova A., Razmakhnin K., Nomokonova T. Application of the best available technologies to improve environmental safety in the disposal of ash and slag waste // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 28, no. 8, pp. 23–34. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-8-23-34.

Статья поступила в редакцию: 17.10.2022 г.

Статья принята к публикации: 20.10.2022 г.