



DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141

УДК 504.05:691

Научная статья

Изучение состава и свойств золошлаковых отходов ТЭС Забайкальского края для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду

П.П. Панков, Н.А. Коновалова*, Д.В. Бесполитов

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
Российская Федерация, 672040, Чита, ул. Магистральная, 11*

**zabizht_engineering@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрено антропогенное воздействие на окружающую среду золошлаковых отходов ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 (г. Читы) и ТЭЦ ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (г. Краснокаменск). Данные отходы наносят непоправимый ущерб окружающей среде, занимают значительные площади, приводят к ухудшению экологической обстановки на прилегающих территориях. Ликвидация таких объектов накопленного вреда окружающей среде является важнейшей государственной задачей в сферах национальной экономики и охраны окружающей среды. Быстрая утилизация золошлаковых отходов возможна в дорожном строительстве (основной материалоемкой отрасли народного хозяйства) за счет крупнотоннажного прямого использования. Это позволит эффективно снизить антропогенное воздействие на окружающую среду, значительно сократить использование первичного минерального сырья. Обоснована принципиальная возможность использования зол уноса в качестве вторичного минерального сырья в составах дорожных цементогрунтов. Методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, дифференциальной сканирующей калориметрией и термогравиметрией изучен состав и свойства зол уноса ТЭЦ, которые являются минеральным сырьем первого класса по удельной эффективной активности естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), что позволяет их использовать в строительной индустрии без ограничений. Установлено, что золы уноса являются непучинистыми, по гидравлическим свойствам относятся к скрыто-активным и могут быть введены в составы дорожных цементогрунтов, модифицированных добавками различной природы.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, объекты накопленного вреда окружающей среде, золошлаковые отходы, зола уноса, золоотвал, дорожный цементогрунт

Введение

Важнейшей экологической проблемой в настоящее время является безопасное обращение с отходами производства [1–3]. В связи с этим во всем мире отмечена тенденция снижения количества отходов и внедрение техно-

© Панков П.П., Коновалова Н.А., Бесполитов Д.В., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

логий их безопасной утилизации [4–6]. До 90 % отходов, производимых российской угольной энергетикой, складываются в золоотвалах, а уровень их утилизации составляет лишь 10 % [7; 8]. Огромной нагрузкой для окружающей среды является пыление золоотвалов, приводящее к загрязнению грунтов, поверхностных вод, снежного покрова, изменению геохимии ландшафтов, формированию техногенного горизонта грунтовых вод и деградации почв [9–14]. Тонкодисперсная летучая зола является основным источником загрязнения окружающей среды радионуклидами, а радиоактивность воздуха и почв, прилегающих к ТЭС территорий, может в несколько раз превышать предельно допустимые значения [15; 16]. В результате наблюдается ухудшение санитарного состояния территории и отмечается снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий. Отходы ТЭС оказывают негативное воздействие на здоровье населения, при этом на первом месте бронхит, бронхиальная астма и другие заболевания верхних дыхательных путей [17; 18]. В этой связи, в Забайкальском крае разработаны региональные проекты, утвержденные Распоряжением губернатора Забайкальского края № 497-р от 14.12.2018 г., направленные на ликвидацию наиболее опасных объектов накопленного экологического вреда. При изучении проблем управления экологическими ущербами особенно актуальным является оценка экологической ситуации на объектах накопления крупнотоннажных отходов Забайкальского края.

По составу и свойствам золошлаковые отходы следует отнести к вторичным ресурсам, что расширяет возможности их применения в различных отраслях народного хозяйства [19]. Многочисленные исследователи предлагают различные пути утилизации золошлаковых отходов, однако большая их часть востребована в строительной индустрии [20].

Цель настоящей работы заключалась в проведении анализа экологической обстановки на территориях накопления золошлаковых отходов в г. Чите и Краснокаменске, а также в изучении состава и свойств зол уноса ТЭЦ для обоснования способа их утилизации.

Материалы и методы

Топливо-энергетический комплекс Забайкальского края объединяет ряд крупных теплоэлектростанций и малых производственных котельных, работающих на бурых углях Харанорского, Татауровского и Уртуйского месторождений Забайкальского края. Золоуносы, образующиеся при сжигании Уртуйских углей, отбирали на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 (г. Чита) и ТЭЦ ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ППГХО, г. Краснокаменск). Читинская ТЭЦ-1 эксплуатируется с 1965 г. Золоотвал расположен в 3 км западнее площадки ТЭЦ-1 и в 3 км северо-западнее озера Кенон (рис. 1).

Существующий в настоящее время гидрозолоотвал эксплуатируется с момента выхода из строя предыдущего вследствие деградации криолитозоны и разрушения дамб. Озеро Кенон, протяженностью 5,7 км и площадью 16 км², является водоемом-охладителем, а также используется для забора воды при работе системы гидрозолоудаления. С запада в озеро впадает ручей Када-

линка, длина которого составляет 27 км. Уровень воды в озере поддерживается подкачкой воды из реки Ингода. Золоотвал ТЭЦ-1 занимает площадь 1150 тыс. м². Объем гидрозолоотвала составляет 8,5 млн м³. Противофильтрационный экран на золоотвале отсутствует.



Рис. 1. Общий вид ТЭЦ-1 и золоотвала
[Figure 1. General view of CHP-1 and ash dump]

Золоотвал ТЭЦ-2 расположен на правом берегу реки Ингода на южной окраине г. Читы (рис. 2, а). Тело дамбы представлено антропогенными грунтами (суглинками, супесями, гравием, золой уноса, шлаком), а также строительным и бытовым мусором. Площадь золоотвала, емкостью 366 690 м³, составляет 59 270 м². ТЭЦ-2 запущена в эксплуатацию в октябре 1936 г.

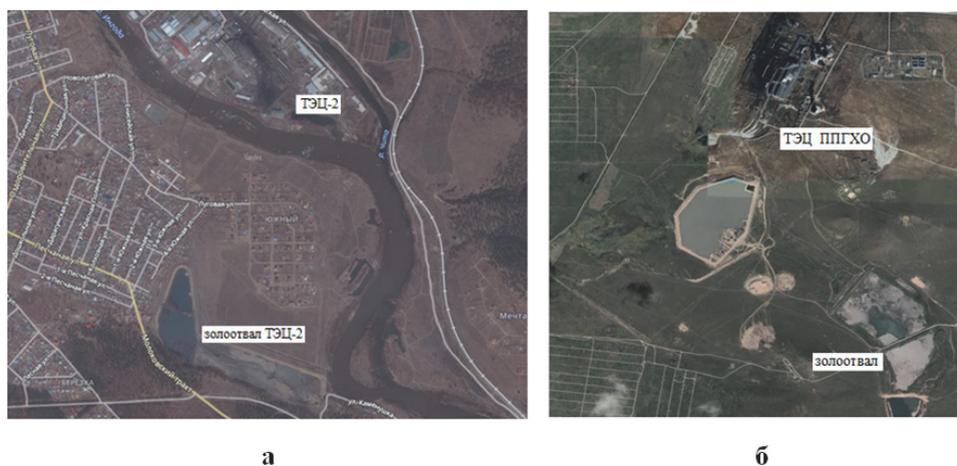


Рис. 2. Общий вид ТЭЦ и золоотвалов:
а – ТЭЦ-2 (Чита); б – ТЭЦ ПАО ППГХО (Краснокаменск)
[Figure 2. General view of CHP-1 and ash dumps:
а – CHP-2 (Chita); б – CHP (Krasnokamensk)]

ТЭЦ ПАО ППГХО является источником покрытия тепловых и электрических нагрузок промышленных предприятий и жилищно-коммунального сектора (рис. 2, б). Для технического водоснабжения используется река Аргунь. Промышленные стоки ТЭЦ подаются в систему Умыкейских озер. Площадь

золоотвала, введенного в эксплуатацию в 1972 г. и к настоящему времени накопившего 2 912 020 т отходов, составляет 4 325 544 м², глубина – 8,4 м.

Мультиэлементный анализ зол уноса выполняли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) с применением эмиссионного спектрометра (Optima 5300DV, 167-403 нм, PerkinElmer, США). Термическую устойчивость образцов изучали с помощью синхронного термоанализатора (STA 449F1, NETZSCH, Германия) с применением дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ). Нагревание образцов от 30 до 998 °С осуществляли в платиновых тиглях в атмосфере аргона (скорость 10 °С/мин). Исходные файлы термограмм записывали с плотностью 100 точек в минуту и обрабатывали с помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus Analysis (v 5.2.1).

Влажность и зерновой состав зол уноса определяли по ГОСТ 8735-88, удельную поверхность частиц – на приборе Товарова Т-3 методом воздухопроницаемости, степень пучинистости отходов – на приборе УПГ-МГ4 «Грунт» по ГОСТ 28622-2012, удельную эффективную активность естественных радионуклидов в образцах – в соответствии с НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) и ГОСТ 30108-94.

Результаты и обсуждение

По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» количество загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Забайкальского края составило 627,3 тыс. т. Превышены концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, оксида углерода, диоксида серы, бенз(а)пирена с кратностью превышения ПДК 1,4, 0,8, 0,3, 0,3, 10,5, соответственно. Доля проб воды, не соответствующих гигиеническим нормативам на прилегающих к ТЭЦ территориях, составила: г. Чита – 27,2 %; г. Краснокаменск – 28,6 %.

Экологические риски от накопления золошлаковых отходов можно свести к следующим:

- пыление отвала, пылевое загрязнение в результате ветровой эрозии;
- загрязнение взвешенными частицами, изменение гидрологического режима рек Ингода, Читинка, Аргунь, озер Кенон и Умыкейских, ручья Кадалинка, ухудшение качества питьевой воды, изменение уровня грунтовых вод;
- деградация земель, изъятие земель лесного фонда, изменение ландшафта, разрушение почвенного слоя, ухудшение биопродуктивности территории;
- изменение видового состава, уничтожение флоры и фауны, изменение среды обитания, миграция животных.

Оценка риска для здоровья людей (по данным Министерства здравоохранения Забайкальского края) позволила выявить интенсивный рост болезней органов дыхания – с 357 тыс. в 2011 г. до 422 тыс. человек к началу 2019 г.

Таким образом, решение проблем ликвидации объектов накопленного вреда возможно только при условии сохранения экологического потенциала недр, которое заключается в способности поддерживать в процессе их освоения устойчивость биосферных процессов. Поэтому на первый план выходят вопро-

сы введения крупнотоннажных отходов в технологические цепочки в качестве нетрадиционного сырья с целью получения новых видов различной продукции.

Следует отметить, что внедрение комплексных технологий утилизации отходов регламентируется требованиями Федерального закона № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об отходах производства и потребления”» от 29.12.2014 г., в котором указано о запрете захоронения отходов, в состав которых входят ценные компоненты, подлежащие утилизации. В России действуют стандарты, определяющие требования к золошлаковым отходам для их утилизации в различных секторах экономики. Аналитический обзор научных публикаций по современному состоянию проблемы утилизации золошлаковых отходов показал, что к середине XX в. научными школами разработаны методы получения дорожно-строительных материалов на основе грунта с различными вяжущими материалами. Работы по использованию золошлаковых отходов в дорожном строительстве в России начались с 1970 г., прежде всего в регионах, испытывающих дефицит щебня, песка, цемента. Наиболее эффективным является использование активных зол уноса в качестве самостоятельного медленнотвердеющего (90–360 сут) минерального вяжущего. Однако практически отсутствуют данные по применению неактивных зол уноса для получения дорожно-строительных материалов.

Пригодность золошлаковых отходов как основного сырья при производстве дорожно-строительных материалов определяется в первую очередь ограниченным содержанием в них компонентов, ухудшающих физико-механические характеристики получаемых композитов, снижающих их эксплуатационно-технические свойства и затрудняющих технологические процессы производства.

Кривые просеивания изучаемых зол уноса (ЗУ) и величины удельной активности естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) приведены на рис. 3. Величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) зол уноса составляет 248–321 Бк/кг, поэтому их можно применять в строительной индустрии без ограничений.

Высокая влажность ЗУ ТЭЦ-1 ограничивает возможность ее применения, так как после сушки она спрессовывается в плотные комки, дробление которых экономически нецелесообразно. В дальнейших исследованиях ЗУ ТЭЦ-1 не применяли.

Удельная поверхность частиц ЗУ составила 460 м²/кг (при норме не менее 150 м²/кг) (ТЭЦ ППГХО) и 276 м²/кг (ТЭЦ-2). Выявлено, что ЗУ ТЭЦ-2 и ТЭЦ ППГХО являются непучинистыми и по группе активности относятся к скрыто-активным.

По результатам АЭС-ИСП, химический состав золы ТЭЦ ПАО ППГХО, ω, мас. %: 36,1 SiO₂, 10,2 Al₂O₃, 7,8 Fe₂O₃, 1,4 MgO, 0,6 Na₂O, 1,2 K₂O, 0,4 TiO₂, 0,6 SO₃, 9,4 CaO, 0,4 CaO_{св}. Исследуемая зола уноса ТЭЦ-2 представляет собой светло-серый порошок и имеет алюмосиликатный состав: ω, мас. %: 53,0 SiO₂, 20,6 Al₂O₃, 8,5 Fe₂O₃, 1,4 MgO, 0,2 Na₂O, 1,4 K₂O, 1,2 TiO₂, 0,7 SO₃, 9,2 CaO, 0,4 CaO_{св}.

Результаты исследований, полученные методами ДСК и ТГ (рис. 4), показали различное содержание углистого вещества в ЗУ ТЭЦ-2 и ТЭЦ ППГХО.

Это отражается на термограммах наличием экзоэффектов при 494 °С с 1,89 % потерей массы и 646 °С с 32,18 % потерей массы соответственно. Эндоэффект при 708 °С, сопровождаемый массовой потерей в 0,79 %, указывает на присутствие в ЗУ ТЭЦ ППГХО карбонатов щелочноземельных металлов.

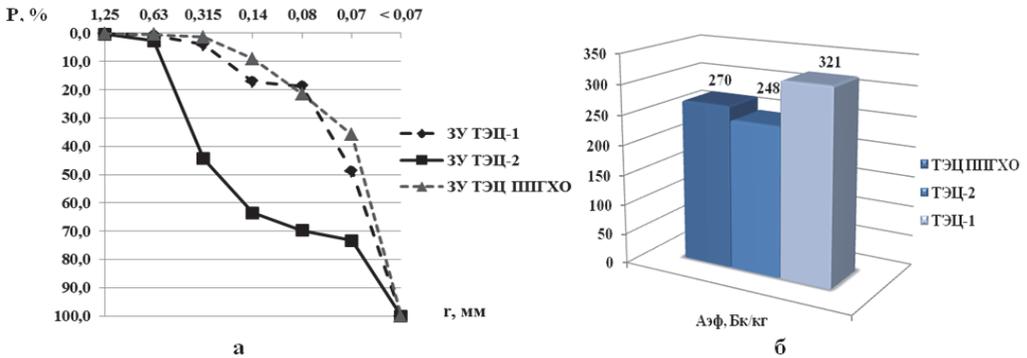


Рис. 3. Кривые просеивания зол уноса Забайкальских ТЭС (а): P – полные остатки на ситах, %; r – размеры отверстий сит, мм; величины удельной активности естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K (б)
[Figure 3. Screening curves of fly ash of Transbaikalian TPPs (a): P – full residues on sieves, %; r – sizes of sieve holes, mm; values of the specific activity of natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K (б)]

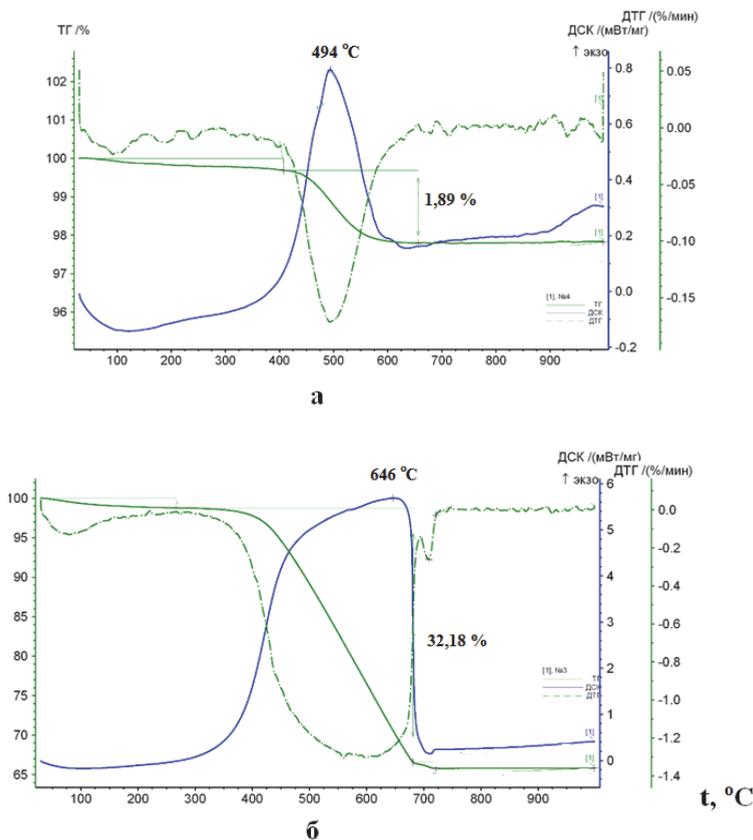


Рис. 4. Термограммы зол уноса в атмосфере воздуха:
 а – ТЭЦ-2 (Чита); б – ТЭЦ ППГХО (Краснокаменск)
[Figure 4. Thermograms of fly ash in air:
 а – CHP-2 (Chita); б – CHP (Krasnokamensk)]

Синхронный термический анализ минерального сырья позволяет сделать следующие выводы:

– наличие в ЗУ ТЭЦ ППГХО большого количества несгоревшего органического остатка в количестве более 32 %, что превышает допустимые содержания в шесть раз;

– для Читинской ТЭЦ-2 количество несгоревшего остатка находится в пределах нормы и составляет около 2 %.

Таким образом, скрыто-активные золы уноса ТЭЦ Забайкальского края, не проявляющие свойств самостоятельного медленнотвердеющего вяжущего, могут быть утилизированы в качестве наполнителя в составах дорожных цементогрунтов, модифицированных стабилизирующими добавками различной природы.

Крупнотоннажное прямое использование зол уноса ТЭЦ Забайкальского края в дорожном строительстве позволит снизить ущербы от загрязнения окружающей среды отвальными массивами. Величина предотвращенного в результате природоохранной деятельности ущерба от деградации почв и земель на территории размещения золоотвалов составит ($U_{\text{прд}}^{\text{п}}$ тыс. руб./год): 2482 (ТЭЦ-2), 179 089 (ТЭЦ ПАО ППГХО). Элементный анализ золы уноса ТЭЦ ПАО ППГХО показал превышение концентрации мышьяка и хрома. Величина предотвращенного ущерба от загрязнения земель химическими веществами составит 214 907 тыс. руб./год. Величина предотвращенного ущерба от ухудшения и разрушения почв и земель составит ($U_{\text{пр}}^{\text{п}}$ тыс. руб./год): 9928 (ТЭЦ-2), 1 074 170 (ТЭЦ ПАО ППГХО).

Заключение

Золоотвалы ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ ПАО ППГХО (Забайкальский край) являются объектами накопленного вреда окружающей среде, вызывающими гидрологические (ухудшение качества вод, инженерно-геологических свойств грунтов и их водного режима), химические (изменение состава и свойств воздуха, загрязнение вод, засоление почв) и термические (ухудшение качества воздуха, изменение биохимических процессов в экосистемах) нарушения.

Изученные золы уноса относятся к минеральному сырью первого класса по удельной эффективной активности естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), что позволяет их использовать в строительной индустрии без ограничений.

Установлено, что непучинистые золы уноса по гидравлическим свойствам относятся к скрыто-активным и могут утилизироваться в составах дорожных цементогрунтов, модифицированных добавками различной природы.

Список литературы

- [1] *Пегов С.А.* Антропогенное воздействие на биосферу // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2009. Т. 42. С. 5–32.
- [2] *Bian Z., Miao X., Lei S., Chen S.-E., Wang W., Struthers S.* The Challenges of reusing mining and mineral processing wastes // Science. 2012. Vol. 337. Issue 6095. Pp. 702–703.
- [3] *Dave J.M.* Disposal of fly ash – an environmental problem // International Journal of Environmental Studies. 1986. Vol. 26. Issue 3. Pp. 191–215.

- [4] *Ma T., Sheng Y., Meng Y., Sun J.* Multistage remediation of heavy metal contaminated river sediments in a mining region based on particle size // *Chemosphere*. 2019. Vol. 225. Pp. 83–92.
- [5] *Calderón Marguez A.J., Cassettari Filho P.C., Rutkowski E.W., de Lima Isaac R.* Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 226. Pp. 1102–1115.
- [6] *Ram L.C., Mastro R.E.* Fly ash for soil amelioration: a review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments // *Earth-Science Reviews*. 2014. Vol. 128. Pp. 52–74.
- [7] *Адеева Л.Н., Борбат В.Ф.* Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности // *Вестник Омского университета*. 2009. № 2. С. 141–151.
- [8] *Игнатьева О.А., Михина Т.В.* Перспективы утилизации использования золошлаковых отходов Черепетской ГРЭС // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2004. № 11. С. 130–131.
- [9] *Голохваст К.С., Блиновская Я.Ю., Филонова Е.А., Чайка В.В., Романова Т.Ю., Карабцов А.А., Дрозд В.А., Зубцова А.С., Васянович Ю.А.* Анализ химического состава снега в районе угольного терминала // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014. № S4–11. С. 141–145.
- [10] *Borm P.J.A.* Toxicity and occupational health hazards of coal fly ash (CFA). A review of data and comparison to coal mine dust // *Annals of Occupational Hygiene*. 1997. Vol. 41. Issue 6. Pp. 659–676.
- [11] *Ribeiro J., Silva T.F., Mendonça Filho J.G., Flores D.* Fly ash from coal combustion – an environmental source of organic compounds // *Applied Geochemistry*. 2014. Vol. 44. Pp. 103–110.
- [12] *Рыжакова Н.К., Рапута В.Ф., Рогова Н.С., Борисенко А.Л., Покровская Е.А.* Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ // *Экология и промышленность России*. 2013. № 1. С. 52–55.
- [13] *Ксенофонтов Б.С., Буторова И.А., Козодаев А.С., Афонин А.В., Таранов Р.А.* Проблемы токсичности золошлаковых отходов // *Экология и промышленность России*. 2017. Т. 21. № 2. С. 4–9.
- [14] *Черновалова А.В., Черенцова А.А.* Сравнительная характеристика токсиндустриатов ТЭЦ Дальнего Востока // *Экология и промышленность России*. 2014. № 6. С. 51–55.
- [15] *Сидорова Г.П., Овсейчук В.А., Крылов Д.А.* Проблемы угольной энергетики, связанные с радиоактивностью углей // *Вестник ЗабГУ*. 2013. № 8 (99). С. 38–45.
- [16] *Овсейчук В.А., Крылов Д.А., Сидорова Г.П.* Радиационные выбросы от угольных ТЭС // *Вестник ЗабГУ*. 2012. № 10 (89). С. 24–29.
- [17] *Глуценко Н.Н., Ольховская И.П.* Экологическая безопасность энергетики. Свойства частиц летучей золы ТЭС, работающих на угле // *Известия РАН. Энергетика*. 2014. № 1. С. 20–27.
- [18] *Янькова В.И., Гвозденко Т.А., Голохваст К.С., Чайка В.В., Городный В.А.* Гранулометрический анализ атмосферных взвесей экологически благополучного и неблагоприятного районов Владивостока // *Здоровье. Медицинская экология. Наука*. 2014. № 2 (56). С. 62–66.
- [19] *Власова В.В., Артемова О.С., Фомина Е.Ю.* Определение направлений эффективного использования отходов ТЭС // *Экология и промышленность России*. 2017. Т. 21. № 11. С. 36–41.
- [20] *Худякова Л.И., Залуцкий А.В., Палеев П.Л.* Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2019. № 4 (3). С. 375–391.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 20.02.2020

Дата принятия к печати: 25.02.2020

Для цитирования:

Панков П.П., Коновалова Н.А., Бесполитов Д.В. Изучение состава и свойств золошлаковых отходов ТЭС Забайкальского края для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 2. С. 131–141. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141>

Сведения об авторах:

Панков Павел Павлович, младший научный сотрудник кафедры «Техносферная безопасность» Забайкальского института железнодорожного транспорта. E-mail: pavelpankov110990@mail.ru

Коновалова Наталья Анатольевна, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры «Техносферная безопасность» Забайкальского института железнодорожного транспорта. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Бесполитов Дмитрий Викторович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Забайкальского института железнодорожного транспорта. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141

Scientific article

Research of composition and properties of ash and slag waste from the Thermal Power Plant of Trans-Baikal region for decrease of anthropogenic impact on environment

Pavel P. Pankov, Nataliya A. Konovalova*, Dmitry V. Bespolitov

*Trans-Baikal Institute of Railway Transport,
11 Magistralnaya St, Chita, 672040, Russian Federation
zabizht_engineering@mail.ru

Abstract. The anthropogenic impact on environment of ash and slag waste of CHP 1 and CHP 2 (Chita) and CHP “Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union” (Krasnokamensk) is considered. These wastes cause irreparable damage to the environment, occupy a significant area, lead to a deterioration of the environmental situation in the surrounding areas. Liquidation of such objects of accumulated harm to the environment is the most important state task in the areas of national economy and environmental protection. Rapid recycling of ash and slag waste is possible in road construction (the main material-intensive sector of the national economy) due to large-capacity direct use. This will effectively reduce the anthropogenic impact on the environment and significantly reduce the use of mineral raw. The principal possibility of using of fly ash as a secondary mineral raw material in compositions of road soil concrete is substantiated. The methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, differential scanning calorimetry and thermogravimetry were used to study the composition and properties of fly ash of CHP, which is a first-class mineral raw based on the specific effective activity of natural radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), which allows their use in the construction industry without restrictions. It has been established that fly ash is non-porous, its hydraulic properties are classified as latent-active and can be added to road cement soils modified with additives of different nature.

Keywords: anthropogenic impact, objects of accumulated environmental harm, ash and slag waste, fly ash, ash dump, road soil concrete

References

- [1] Pegov SA. Antropogennoe vozdejstvie na biosferu [Anthropogenic impact on the biosphere]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the System Analysis Institute of the Russian Academy of Sciences]. 2009;42:5–32. (In Russ.)
- [2] Bian Z, Miao X, Lei S, Chen S-E, Wang W, Struthers S. The challenges of reusing mining and mineral processing wastes. *Science*. 2012;337(6095):702–703.
- [3] Dave JM. Disposal of fly ash – an environmental problem. *International Journal of Environmental Studies*. 1986;26(3):191–215.
- [4] Ma T, Sheng Y, Meng Y, Sun J. Multistage remediation of heavy metal contaminated river sediments in a mining region based on particle size. *Chemosphere*. 2019;225:83–92.
- [5] Calderón Marguez AJ, Cassettari Filho PC, Rutkowski EW, de Lima IR. Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 2019;226:1102–1115.
- [6] Ram LC, Mastro RE. Fly ash for soil amelioration: a review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. *Earth-Science Reviews*. 2014;128:52–74.
- [7] Adeeva LN, Borbat VF, Zola TEC – perspektivnoe syr'e dlya promyshlennosti [Power plant ash as a promising raw material for industry]. *Vestnik Omskogo universiteta* [Herald of Omsk University]. 2009;(2):141–151. (In Russ.)
- [8] Ignateva O.A., Mihina TV. Perspektivy utilizacii ispol'zovaniya zoloshlakovyh othodov Cherepetskoj GRES [Prospects for utilization of ash and slag waste from Cherepetskaya State District Electric Power Station]. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2004(11):130–131. (In Russ.)
- [9] Golohvast KS, Blinovskaya YaYu, Filonova EA, Chayka VV, Romanova TYu, Karabtsov AA, Drozd VA, Zubtsova AS, Vasyanovich YA. Analysis of chemical composition of snow in the area of the coal terminal. *Mining informational and analytical bulletin*. 2014;(S4–11):141–145. (In Russ.)
- [10] Borm PJA. Toxicity and occupational health hazards of coal fly ash (CFA). A review of data and comparison to coal mine dust. *Annals of Occupational Hygiene* 1997;41(6):659–676.
- [11] Ribeiro J, Silva TF, Mendonça Filho JG, Flores D. Fly ash from coal combustion – an environmental source of organic compounds. *Applied Geochemistry*. 2014;44:103–110.
- [12] Ryzhakova N, Raputa VF, Rogova NS, Borisenko AL, Pokrovskaya EA. Spatial distribution of chemical elements in air emissions of coal CHP. *Ecology and Industry of Russia*. 2013;(1):52–55. (In Russ.)
- [13] Ksenofontov B, Butorova I, Kozodaev A, Afonin A, Taranov R. Problems of Toxicity of Ash and Slag Waste. *Ecology and Industry of Russia*. 2017;21(2):4–9. (In Russ.)
- [14] Chernovalova AV, Cherentsova AA. Comparative characteristic of industrial toxins CHP of Russian Far East. *Ecology and Industry of Russia*. 2014;(6):51–55. (In Russ.)
- [15] Sidorova GP, Ovsejchuk VA, Krylov DA. Problemy ugol'noj energetiki, svyazannye s radioaktivnost'yu uglej [The problems of coal power related to the radioactivity of coal]. *Vestnik ZabGU* [Bulletin of ZabGU]. 2013;8(99):38–45. (In Russ.)
- [16] Ovsejchuk VA, Krylov DA, Sidorova GP. Radiacionnye vybrosy ot ugol'nyh TES [Radiation emissions from coal thermal power plants]. *Vestnik ZabGU* [Bulletin of ZabGU]. 2012;10(89):24–29. (In Russ.)
- [17] Glushchenko NN, Olhovskaya IP. Ekologicheskaya bezopasnost' energetiki. Svoystva chastic letuchej zoly TES, rabotayushchih na ugle. *Izvestiya RAN. Energetika*. 2014;(1):20–27. (In Russ.)
- [18] Yankova VI, Gvozdenko TA, Golokhvast KS, Chaika VV, Gorodnyi VA. Granulometric analysis of atmospheric particles from environmentally favorable and problematic areas of Vladivostok. *Health. Medicaecology. Science*. 2014;2(56):62–66. (In Russ.)
- [19] Vlasova V, Artemova O, Fomina E. Determination of Directions for the Effective Use of TPP Waste. *Ecology and Industry of Russia*. 2017;21(11):36–41. (In Russ.)
- [20] Khudyakova LI, Zalutskiy AV, Paleev PL. Use of ash and slag waste of thermal power plants. *XXI century. Technosphere Safety*. 2019;4(3):375–391. (In Russ.)

Article history:

Received: 20.02.2020

Revised: 25.02.2020

For citation:

Pankov PP, Konovalova NA, Bespolitov DV. Research of composition and properties of ash and slag waste from the Thermal Power Plant of Trans-Baikal region for decrease of anthropogenic impact on environment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020; 28(2):131–141. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141>

Bio notes:

Pavel P. Pankov, junior researcher of the Department of Technosphere Safety of the Trans-Baikal Institute of Railway Transport. E-mail: pavelpankov110990@mail.ru

Nataliya A. Konovalova, PhD in Chemistry, leading researcher of the Department of Technosphere Safety of the Trans-Baikal Institute of Railway Transport. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Dmitry V. Bespolitov, graduate student of the Department of Technosphere Safety of the Trans-Baikal Institute of Railway Transport. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru