ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(11):75-86
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 662.61;662.613.12; 004.94/622 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_75

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ КРАСНОКАМЕНСКОЙ ТЕПЛОЭНЕРГОЦЕНТРАЛИ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Г.П. Сидорова[1], П.М. Маниковский[1], А.А. Морозов[2]

[1] Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: druja@inbox.ru
[2] ПАО «ППГХО». Краснокаменск, Россия

Аннотация: Основной проблемой угольной генерации является экологическая безопасность отрасли. Важнейшим фактором ограничений в работе угольных тепловых энергетических станций является накопление золошлаковых отходов – постоянного источника загрязнения окружающей среды. Одним из возможных решений этого вопроса является изучение состава золошлаковых отходов и разработка на этой основе эффективной системы их утилизации как вторичного сырья. Цель настоящей статьи – представление результатов комплексных исследований золошлаковых отходов Краснокаменской угольной теплоэнергоцентрали в Забайкальском крае, направленных на оценку их качественных показателей, в том числе и критериев безопасности. Оценка экологической опасности отходов позволит выполнить разработку рекомендаций по выбору направлений их использования, отдельно для каждого объекта исследования. Результаты исследований направлены на эколого-ориентированное развитие экономики как Забайкальского региона, так и Российской Федерации в целом. Внедрение результатов исследований позволит разработать и обосновать рекомендации по использованию накопленных на угольных электростанциях Забайкальского края золошлаковых отходов в определенных отраслях хозяйственной деятельности региона, что снизит площади отчуждения земель под объекты размещения отходов и экологическую нагрузку на прилегающие к тепловым станциям территории.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, ископаемые угли, вторичные ресурсы, методы исследования, топливно-энергетический комплекс, тепловые электростанции, хозяйственный оборот, эколого-ориентированное развитие, экологическая безопасность.

Благодарность: Исследования выполнены при поддержки Российского научного фонда. Грант № 24-27-20029. https://rscf.ru/project/24-27-20029.

Для цитирования: *Сидорова Г. П., Маниковский П. М., Морозов А. А.* Оценка безопасного использования золошлаковых отходов Краснокаменской теплоэнергоцентрали в Забайкальском крае // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11. – С. 75–86. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_75.

Assessment of the safe use of ash and slag waste from the Krasnokamensk heat and power plant in the Trans-Baikal Territory

G.P. Sidorova[1], P.M. Manikovsky[1], A.A. Morozov[2]

[1] Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: druja@inbox.ru
[2] PJSC PIMCU, Krasnokamensk, Russia

© Г.П. Сидорова, П.М. Маниковский, А.А. Морозов. 2025.

Abstract: The main problem of coal generation is the environmental safety of the industry. The most important factor limiting the operation of coal thermal power plants is the accumulation of ash and slag waste, which is a constant source of environmental pollution. One of the possible solutions to this issue is the composition of ash and slag waste and the development of an effective system for its utilization as secondary raw materials. The purpose of this article is to present the results of comprehensive studies of ash and slag waste from the Krasnokamensk coal thermal power plant in the Trans-Baikal Territory, to assess the quality indicators of ash and slag waste, including safety criteria. Evaluation of the environmental hazard of waste will allow the development of recommendations for choosing the directions of their use, separately for each object of study. The research results are aimed at the environmentally oriented development of the economy of both the Trans-Baikal region and the Russian Federation as a whole. The implementation of the research results will allow the development and substantiation of recommendations for the use of ash and slag waste accumulated at coal-fired power plants in the Trans-Baikal Territory in certain sectors of the region's economic activity, which will reduce the area of land alienation for waste disposal facilities and the environmental burden on territories adjacent to thermal power plants.

Key words: ash and slag waste, fossil coals, secondary resources, research methods, fuel and energy complex, thermal power plants, economic circulation, environmentally friendly development, environmental safety.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 24-27-20029. https://rscf.ru/project/24-27-20029.

For citation: Sidorova G. P., Manikovsky P. M., Morozov A. A. Assessment of the safe use of ash and slag waste from the Krasnokamensk heat and power plant in the Trans-Baikal Territory. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(11):75-86. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_75.

Введение

В угольной энергетике наиболее уязвимым местом является экологическое воздействие предприятий угольного топливного цикла на окружающую среду. Важнейшим фактором ограничений в работе угольных тепловых электростанций выступают золошлакоотвалы. Во многих странах мира понятие «золошлаковые отходы» уже практически не используется, так как считается, что это особый строительный или иной материал.

В России действуют 172 ТЭС на угольном топливе, в золошлакоотвалах которых накоплено порядка 1,5 млн т отходов. Ежегодно утилизируется и используется порядка 8 — 10% (2,0 — 2,5 млн т) от годового выхода золошлаковых отходов (23 — 25 млн т), а 21 — 22 млн т ЗШО поступают в отвалы. Под хранение ЗШО в РФ выделено уже более 20 тыс. км^2, что практически равно площади Словении. Золошлаковые хранилища угольных электростанций на 30% практически заполнены [1, 2].

Так, крупнейшая в Забайкальском крае Харанорская ГРЭС, имеющая объект размещения отходов (ОРО) площадью 1 280 000 м^2 и вместимостью 7 524 000 м^3, имеет заполнение 4 063 158 м^3, а площадь золоотвала Краснокаменской ТЭЦ, введенного в эксплуатацию в 1972 г. и к настоящему времени накопившего 2 912 020 т отходов, составляет 4 325 544 м^2, поэтому

вопрос утилизации отходов является сейчас на предприятиях весьма актуальным [1 — 5].

В рамках Гранта РНФ 24-27-20029 «Научно-экспериментальное обоснование методики безопасного использования золошлаковых отходов угольных ТЭС в Забайкальском крае» коллективом исследователей научно-учебной испытательной лаборатории цифрового горного дела и геоэкологии (НУИЛ ЦГД и Г «Перспектива») Горной академии Забайкальского государственного университета в 2024 г. были выполнены комплексные исследования по оценке качественных показателей золошлаковых отходов, в том числе и по критериям безопасности, на территории Краснокаменской ТЭЦ.

Технические средства и методики исследований были апробированы при исследовательских работах на отвале ЗШО Харанорской ГРЭС [2].

Все испытания на приборах проводились по утвержденным методикам, прилагаемым к этим приборам.

Ожидаемые результаты исследований

Внедрение результатов исследований позволит обосновать и рекомендовать к использованию в определенных отраслях хозяйственной деятельности региона накопленные золошлаковые отходы Краснокаменской ТЭЦ, что снизит площади отчуждения земель под ОРО и экологическую нагрузку на прилегающие к ТЭЦ территории.

Экспериментальная часть

Одной из самых актуальных задач современной угольной энергетики является ликвидация золошлаковых отходов и их эффективное использование. При этом важным фактором при оценке эффективности их использования является достаточный уровень экологической безопасности. Для планирования комплекса мероприятий, проектов, программ в области обращения с отходами ТЭС важно наличие показателей, которые позволили бы наиболее полно оценить все проблемные и актуальные аспекты, выбрать наиболее эффективные решения, что невозможно без комплекса специализированных научных исследований [6 — 9].

Представленная научно-исследовательская работа направлена на комплексное исследование ЗШО Краснокаменской угольной электростанции в Забайкальском крае с целью оценки

Рис. 1. Краснокаменская ТЭЦ. Золошлакоотвал
Fig. 1. Krasnokamenskaya CHPp. Ash and Slag Dump

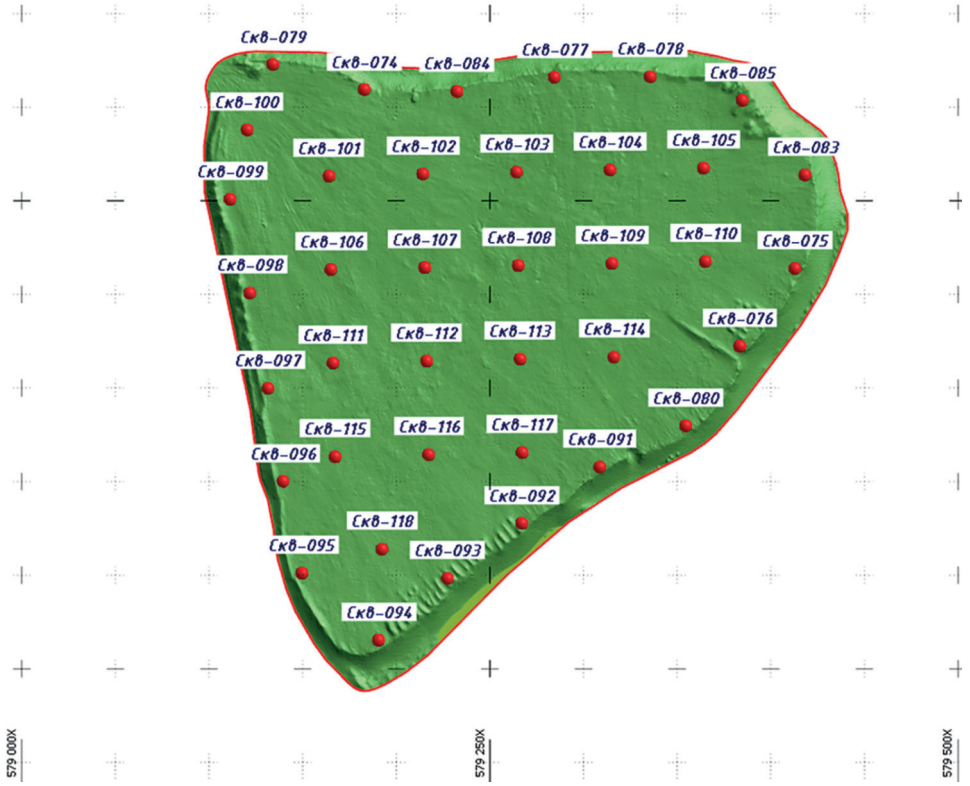
экологической опасности отходов и разработки рекомендаций по выбору путей их использования (см. рис. 1).

В результате проведения научных исследований предполагалось:

- произвести оценку ЗШО по минеральному составу;
- выявить новые зависимости площадного и объемного размещения золошлаков с повышенным содержанием естественных радионуклидов, ртути, серы, мышьяка и хлора на ОРО (объект размещения отходов);
- оценить влияние ОРО на окружающую среду по радиационно-гигиеническим факторам.

Выполнение комплекса исследований позволяет [1 — 3]:

- произвести полную оценку золошлакоотвала Краснокаменской ТЭЦ по критериям безопасности;
- разделить исследуемый участок на зоны по классам опасности в соответствии с НРБ 09/99, статьей 4.1 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об отходах производства и потребления» и ГОСТ Р 56618–2015 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Технические требования к характеристикам угольной золы и золы-уноса, предназначенным для вторичного использования» [10 — 13];
- на основе результатов исследований разработать рекомендации по усовершенствованию системы существующего на предприятии экологического



Красными сферами показаны устья геологоразведочных скважин, расположенных по контуру отвала через каждые 50 м, а также по сети 50×50 м в основании отвала

Рис. 2. Разведочная сеть на поверхности золошлакоотвала Краснокаменской ТЭЦ

Fig. 2. Exploration network on the surface of the ash and slag dump Krasnokamenskaya CHPP

мониторинга как неотъемлемой части технологического процесса;

• разработать и обосновать рекомендации по использованию золошлаковых отходов, накопленных на площадях Краснокаменской ТЭЦ [14—16].

ТЭЦ ПАО «ППГХО» расположена в городе Краснокаменске Забайкальского края. Является основным источником централизованного теплоснабжения производственных объектов горно-химического объединения, предприятий местной промышленности, соцкультбыта и районов города Краснокаменска.

Установленная мощность — 410 МВт, фактическая — 280 МВт.

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

По результатам ранее проведенных исследований на предприятии, химический состав золы-уноса ТЭЦ ПАО ППГХО, %: SiO_2, — 10,2; Al_2O_3 — 7,8; Fe_2O_3 — 1,4; MgO — 0,6; Na_2O — 1,2; K_2O — 0,4; TiO_2 — 0,6; SO_3 — 9,4 [17, 18].

Химический состав материалов золошлакоотвала (золошлака, золошлаковой смеси), %: SiO_2 — 55,4; Fe_2O_3 — 7,1; Al_2O_3 — 21,8 ; CaO — 8,4; MgO — 1,8; SO_3 — 0,36; Na_2O_3 — 0,68; K_2O — 1,3.

Объект исследований — отвал ЗШО Краснокаменской ТЭЦ, участок площадью 164 411,565 м^2, с сухой поверхностью (см. рис. 2).

По Федеральному закону № 89-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «Об отходах производства и потребления», золошлаковые отходы в смеси Уртуйские+Харанорские угли отнесены к V классу опасности и считаются практически неопасными. Используются, в основном, в горном производстве при ведении закладочных работ, что улучшает качество закладки, обеспечивающей безопасное ведение горных работ. Данный вид утилизации способствует уменьшению размещения отходов V класса опасности на эксплуатируемых объектах производства.

Программа и методы исследования

Для реализации поставленной цели детальное опробование выполнено на сухой площадке ОРО, являющейся перспективной для утилизации в первую очередь на Краснокаменской ТЭЦ.

1. Съемка, создание облака точек и фотограмметрического плана на площади исследования проведены с использованием в работе полевых и лабораторных приборов:

• переносного радиометрического прибора ДКС-96;

• портативного рентгено-флуоресцентного анализатора TrueXR LANScientific;

• гамма-спектрометра «Прогресс»;

• бета-спектрометра «МУЛЬТИРАД-бета»;

• анализатора ртути РА-915 М и других вспомогательных приборов и оборудования для проведения полевых и лабораторных работ [2—5].

Все испытания на приборах проводились по утвержденным методикам, прилагаемым к этим приборам.

2. Количество точек опробования — 38.

3. Пробурено скважин — 38. Общий объем бурения — 316 п.м. Установки для бурения: мотобур «Зубр» МБ-2 — 300 Н, диаметр — 120 мм; землебур «Крамас-ПРО» БР-2, диаметр — 80 мм.

4. Отобрано проб — 122 шт.

5. Полевое гамма-опробование с применением радиометрических приборов ДКС-96 выполнено на всех пробах на местах их отбора (см. рис. 3).

6. Лабораторные испытания проб включали в себя:

Рис. 3. Полевое опробование золошлакоотвала
Fig. 3. Field sampling of the ash and slag dump

• обработку и подготовку проб (дробление, сушка);
• определение грансостава;
• определение влажности;
• определение суммарной удельной активности (ЕРН);
• определение массы ртути;
• рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) по 11 показателям (рис. 4).

На выбранных площадях ЗШО ранее подобные исследования не проводились.

В полевых условиях выполнен элементный анализ отобранного материала портативным рентгено-флуоресцентным анализатором TrueXR LANScientific, что позволило оперативно определить участки повышенных содержаний определенных компонентов [2, 19, 20].

Бета-активность также определяется в лабораторных условиях на бета-спектрометре «МУЛЬТИРАД-бета» по прилагаемой к нему методике.

Все аналитические исследования, включая исследования на элементный состав и ртуть, выполнены по прилагаемым к приборам методикам в научно-учебной испытательной лаборатории цифрового горного дела и геоэкологии (НУИЛ ЦГД и Г) Горной академии ЗабГУ, имеющей все необходимое для исследований оборудование.

Рис. 4. Лабораторные испытания проб ЗШО в НУИЛ ЦГД и Г «Перспектива»
Fig. 4. Laboratory tests of ZSH samples at NUIIL TsGD and G «Perspektiva»

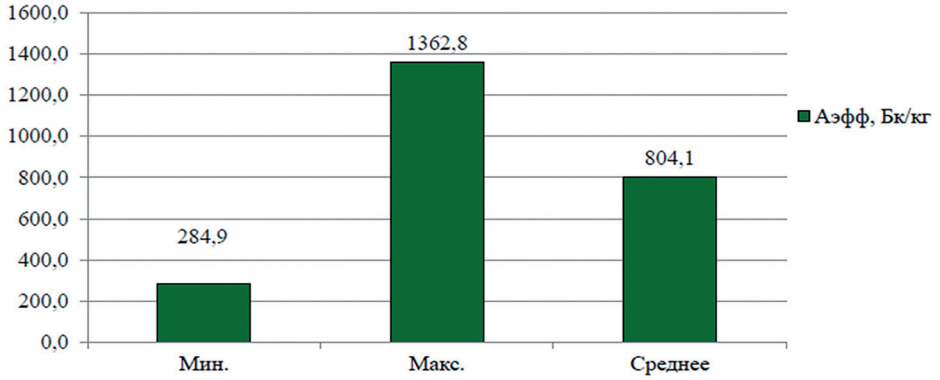


Рис. 5. Показатели удельной эффективной активности ЕРН ($A_{эфф}$), Бк/кг, отвала ЗШО Краснокаменской ТЭЦ

Fig. 5. Indicators of specific effective activity of ERN (A_{eff}), Bq/kg of waste ASW of Krasnokamensk TPP

Обсуждение и анализ полученных результатов

1. Выполнена полная оценка на площади исследования золошлакоотвала Краснокаменской ТЭЦ по критериям безопасности (ЕРН, ртуть, хлор).

Полученные результаты исследований:

• выполнено 122 испытаний на содержание естественных радионуклидов — $A_{эфф}$ (Бк/кг) — (min — 284,86, max — 1362,76, ср. — 804,09);

• выделено по классам радиационной опасности (НРБ 99/2009):

I кл. — 3 пробы, или 2,5%;

II кл. — 53 проб, или 43,4%;

III кл. — 66 проб — 54,1%.

Графики статистических показателей по удельной эффективной активности представлены на рис. 5 [2, 20].

На рис. 6 представлены показатели концентрации ртути, мг/кг в пробах ЗШО Краснокаменской ТЭЦ.

2. Выполнена оценка ЗШО Краснокаменской ТЭЦ по минеральному составу (таблица).

Содержание хлора в пробах не обнаружено.

3. Исследуемые участки обоснованы и разделены на зоны по классам опас-

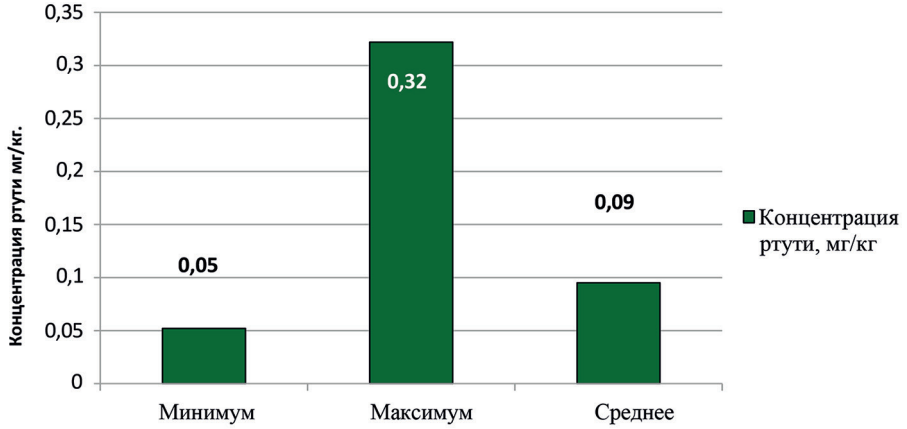


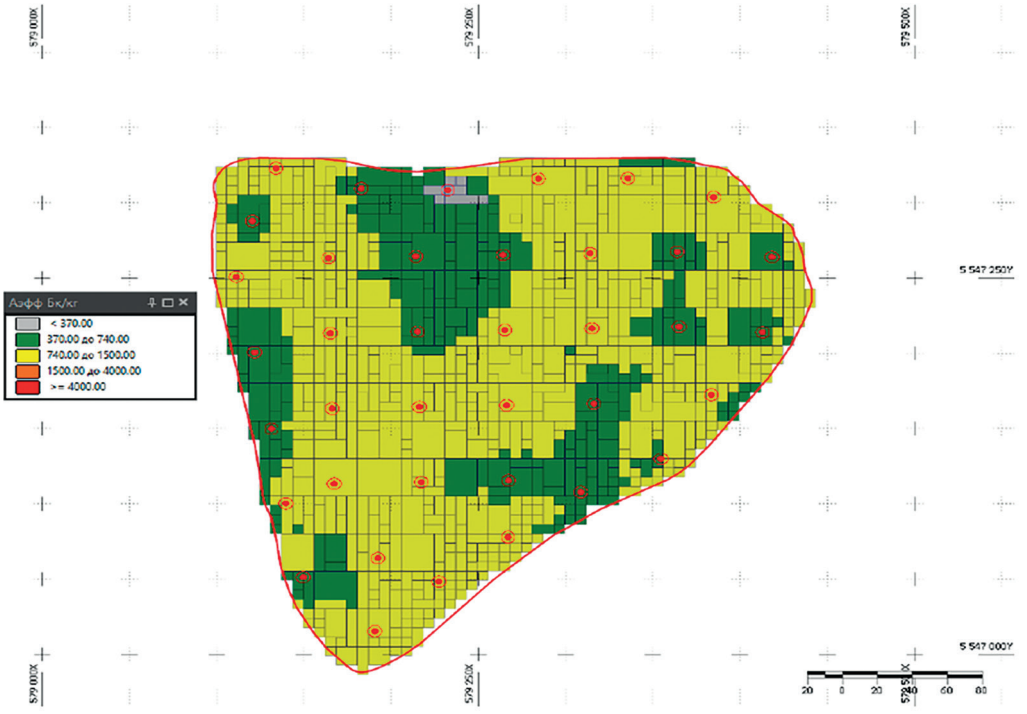
Рис. 6. Показатели концентрации ртути, мг/кг, в пробах ЗШО Краснокаменской ТЭЦ

Fig. 6. Mercury concentration indicators, mg/kg in samples of ash and slag from Krasnokamensk TPP

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) проб ЗШО Краснокаменской ТЭЦ (122 пробы)

Results of X-ray fluorescence analysis (XFA) of ZSH samples from the Krasnokamensk TPP (122 samples)

№ п/п	Химическое соединение, %	max–min ср	№ п/п	Химическое соединение, %	max–min ср
1	Al_2O_3	38,91 – 26,43 33,168	6	TiO_2	8,63 – 3,40 6,127
2	SiO_2	44,53 – 23,92 32,002	7	MnO_2	0,36 – 0,09 0,183
3	P_2O_5	5,25 – 3,03 4,310	8	Fe_2O_3 (общ)	1,18 – 0,69 0,933
4	K_2O	1,71 – 0,62 0,998	9	SrO	–
5	CaO	2,16 – 0,97 1,595	10	BaO	0,07 – 0,00 0,001



Красными точками показаны устья геологоразведочных скважин

Рис. 7. Цифровая блочная модель Краснокаменского золошлакоотвала с кодировкой по классу потенциальной радиационной опасности

Fig. 7. Digital block model of the Krasnokamensky ash and slag dump with coding by the class of potential radiation hazard

ности в соответствии с НРБ 99/09, ст. 4.1 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об отходах производства и Потребления» и ГОСТ Р 56618-2015 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Технические требования к характеристикам угольной золы и золы-уноса, предназначенным для вторичного использования», по отвалам золошлаковых отходов Краснокаменской ТЭЦ [2, 20].

4. Разработана цифровая блочная модель исследуемой площади золошлакоотвала Краснокаменской ТЭЦ с кодировкой по классу потенциальной радиационной опасности (рис. 7).

Выборки по классу опасности приведены для объектов исследования в соответствии с НРБ 99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09.

Полученные результаты позволяют оценить радиационную безопасность изученного участка на уровне II — III классов, поэтому данные отходы могут быть использованы в дорожном строительстве вне населенных пунктов, но учитывая, что более 66% фракции золы — от 0,315 до < 0,08 мм, т.е. мелко- и тонкодисперсная, пылеватая, рекомендуется оптимальный и безопасный вариант использования ЗШО Краснокаменской ТЭЦ в горном производстве при ведении закладочных работ, что делается на предприятии и в настоящее время.

5. Выполнена оценка влияния ОРО Краснокаменской ТЭЦ на окружающую среду по радиационно-гигиеническим факторам.

Все исследования, указанные выше, на данных объектах выполнены впервые [2, 20].

Заключение

Результаты исследований, выполненных на данном этапе реализации проекта, позволили:

- выполнить оценку ЗШО Краснокаменской ТЭЦ по минеральному составу;
- составить и обосновать радиационно-экологические схемы площади ЗШО Краснокаменской ТЭЦ;
- выделить потенциально опасные зоны на исследуемом участке;
- выявить новые зависимости площадного и объемного размещения золошлаковых отходов с повышенным содержанием естественных радионуклидов, ртути; хлор не выделен из-за его отсутствия в исследуемом материале на золошлаковом отвале Краснокаменской ТЭЦ;
- разработать цифровую блочную модель исследуемой площади золошлакоотвала Краснокаменской ТЭЦ, с кодировкой по классу потенциальной радиационной опасности.

Внедрение результатов исследований даст возможность обосновать и рекомендовать к использованию в определенных отраслях хозяйственной деятельности региона золошлаковые отходы, накопленные на Краснокаменской ТЭЦ, что позволит избежать увеличения площадей под ОРО и значительно снизить экологическую нагрузку на прилегающие к ТЭЦ территории.

Основные обоснованные положения, выводы и заключения, полученные в результате реализации Проекта, могут быть использованы в практической деятельности не только в ТЭК региона, но и на угольных электростанциях России в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сидорова Г. П.*, *Маниковский П. М.*, *Гущина Т. О.* Перспективы угольной генерации // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2024. — Т. 30. — № 3. — С. 38—48. DOI: 10.21209/2227-9245-2024 30-3-38-48.

2. *Маниковский П. М.*, *Овчаренко Н. В.*, *Гущина Т. О.*, *Сидорова Г. П.* Экологическая оценка состояния отвалов золошлаковых отходов для их последующего дифференцированного освоения на примере Харанорской ГРЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2024. — № 8. — С. 19—37. DOI: 10.25018/0236_1493_ 2024_8_0_19.

3. *Пухов С. А.*, *Киселева С. П.* Вовлечение в хозяйственный оборот золошлаковых отходов тепловых электростанций в интересах эколого-ориентированного развития экономики // Отходы и ресурсы. — 2020. — № 4. https://resources.today/PDF/10ECOR420.pdf (доступ свободный). DOI: 10.15862/10ECOR420.

4. *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. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141.

5. *Мешков Г. Б.*, *Петренко И. Е.*, *Губанов Д. А.* Итоги работы угольной промышленности за 2023 год // Уголь. — 2024. — № 3(1178). — С. 18—29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.

6. *Лавриненко А., Кунилова И., Гольберг Г., Комарова С., Дунаева Д., Филатова В.* О нормативной документации в области использования золошлаковых отходов сжигания углей для извлечения редкоземельных элементов / Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики: Сборник статей участников III Международной научно-практической конференции молодых ученых. — Екатеринбург, 2021. — С. 134—139.

7. *Row R. W.* Developments in the management of wastes from coal-fired power plants // Waste Management. 1994, vol. 14, no. 3—4, pp. 299—308. DOI: 10.1016/0956-053X(94)90076-0.

8. *Буравчук Н. И.*, *Гурьянова О. В.* Использование золошлаковых отходов в гидротехническом бетоне для шахтной крепи // Уголь. — 2022. — № 2(1151). — С. 45—49. DOI: 10.18796/00415790-2022-2-45-49.

9. *Yao Z. T.*, *Ji X. S.*, *Sarker P. K.*, *Tang J. H.*, *Ge L. Q.*, *Xia M. S.*, *Xi Y. Q.* A comprehensive review on the applications of coal fly ash // Earth-Science Reviews. 2015, vol. 141, pp. 105—121. DOI: 10.1016/j.earscirev.2014.11.016.

10. *Путилова И. В.* Современное состояние проблемы обращения с золошлаками ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. Международный научный журнал. — 2023. — № 1(406). — С. 51—62. DOI: 10.15518/isjaee.2023.01.051-062.

11. *Gollakota Anjani R. K., Vikranth Volli, Chi-Min Shu* Progressive utilisation prospects of coal fly ash. A review // Science of the Total Environment. 2019, vol. 672, pp. 951—989. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.337.

12. *Игуминова В. А.*, *Карючина А. Е.*, *Ровенских А. С.* Анализ способов утилизации золошлаковых отходов / Исследования молодых ученых: Материалы VI Международной научной конференции. — Казань: Молодой ученый, 2020. — С. 21—25. https://moluch.ru/conf/stud/archive/357/15509/ (дата обращения: 06.05.2024).

13. *Cho H., Ji S.-W., Shin H.-Y., Jo H.* A case study of environmental policies and guidelines for the use of coal ash as mine reclamation filler: Relevance for needed South Korean policy updates // Sustainability. 2019, vol. 11, article 3629. DOI: 10.3390/su11133629.

14. *Hirschi J. C.*, *Chugh Y. P.* Sustainable coal waste disposal practices / Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining. Woodhead Publishing. 2019, pp. 245—269. DOI: 10.1016/B978-08-101288-8.00012-2.

15. *Путилова И. В.* Опыт реализации проектов с использованием золошлаков ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. Международный научный журнал. — 2023. — № 3(408). — С. 49—68. DOI: 10.15518/isjaee.2023.03.049-068.

16. *Сниккарс П. Н.*, *Золотова И. Ю.*, *Осокин Н. А.* Утилизация золошлаков ТЭС как новая кросс-отраслевая задача // Энергетическая политика. — 2020. — № 7. — С. 34—45. DOI: 10.46920/ 2409-5516_2020_7149_34.

17. *Sanchit Gupta, Sandeep Chaudhary* Use of fly ash for the development of sustainable construction materials / New Materials in Civil Engineering. Butterworth-Heinemann, 2020, pp. 677—689. DOI: 10.1016/B978-0-12-818961-0.00021-1.

18. *Hemalatha T., Ananth Ramaswamy* A review on fly ash characteristics — Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete // Journal of Cleaner Production. 2017, vol. 147, pp. 546—559. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.114.

19. *Паукова Ю. С.*, *Зубарева К. С.* Государственная экологическая экспертиза и ответственность за невыполнение требований заключения / Сборник научных статей 9-й Международной молодежной научной конференции. В 6-ти томах. Т. 5. — Курск, 2021. — С. 76—78.

20. *Маниковский П. М.*, *Сидорова Г. П.*, *Сахнова П. М.* Опыт разведки золошлакоотвалов Забайкальского края как техногенных месторождений с применением методики блочного моделирования // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие: Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. — Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2024. — С. 111—116. DOI: 10.31251/conf-2-2024. ГИАБ

REFERENCES

1. Sidorova G. P., Manikovsky P. M., Gushchina T. O. Prospects for coal generation. *Transbaikal state university journal*. 2024, vol. 30, no. 3, pp. 38—48. [In Russ]. DOI: 10.21209/2227-9245-2024 30-3-38-48.

2. Manikovsky P. M., Ovcharenko N. V., Gushchina T. O., Sidorova G. P. Ecological evaluation of ash and slag dumps for their differential processing: A case-study of Kharanor Hydropower Plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 8, pp. 19—37. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_ 2024_8_0_19.

3. Pukhov S. A., Kiseleva S. P. Involvement of ash and slag waste from thermal power plants in the economic circulation in the interests of environmentally friendly economic development. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2020, no. 4. [In Russ]. https://resources.today/PDF/10ECOR420.pdf (free access). DOI: 10.15862/10ECOR420.

4. Pankov P. P., Konovalova N. A., Bespolitov D. V. Study of the composition and properties of ash and slag waste from thermal power plants of the Trans-Baikal Territory to reduce the anthropogenic impact on the environment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020, vol. 28, no. 2, pp. 131—141. [In Russ]. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141.

5. Meshkov G. B., Petrenko I. E., Gubanov D. A. Results of the coal industry for 2023. *Ugol'*. 2024, no. 3(1178), pp. 18—29. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.

6. Lavrinenko A., Kunilova I., Golberg G., Komarova S., Dunaeva D., Filatova V. On regulatory documentation in the field of using coal ash and slag waste for the extraction of rare earth elements. *Rol' tekhnicheskogo regulirovaniya i standartizatsii v epokhu tsifrovoy ekonomiki: Sbornik statey uchastnikov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [The role of technical regulation and standardization in the era of the digital economy: Collection of articles by participants of the III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists], Ekaterinburg, 2021, pp. 134—139. [In Russ].

7. Row R. W. Developments in the management of wastes from coal-fired power plants. *Waste Management*. 1994, vol. 14, no. 3—4, pp. 299—308. DOI: 10.1016/0956-053X(94)90076-0.

8. Buravchuk N. I., Guryanova O. V. Use of fly ash waste in hydraulic concrete for mine support. *Ugol'*. 2022, no. 2(1151), pp. 45—49. [In Russ]. DOI: 10.18796/00415790-2022-2-45-49.

9. Yao Z. T., Ji X. S., Sarker P. K., Tang J. H., Ge L. Q., Xia M. S., Xi Y. Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*. 2015, vol. 141, pp. 105—121. DOI: 10.1016/j.earscirev.2014.11.016.

10. Putilova I. V. Current state of the problem of handling coal ash and slag from thermal power plants in Russia and abroad. Alternative energy and ecology. *International Scientific Journal*. 2023, no. 1(406), pp. 51—62. [In Russ]. DOI: 10.15518/isjaee.2023.01.051-062.

11. Gollakota Anjani R. K., Vikranth Volli, Chi-Min Shu Progressive utilisation prospects of coal fly ash. A review. *Science of the Total Environment*. 2019, vol. 672, pp. 951—989. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.337.

12. Iguminova V. A., Karyuchina A. E., Rovenskikh A. S. Analysis of methods for disposal of ash and slag waste. *Issledovaniya molodykh uchenykh: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Research of young scientists: Proceedings of the VI International Scientific Conference], Kazan, 2020, pp. 21—25. [In Russ]. https://moluch.ru/conf/stud/archive/ 357/15509/ (дата обращения: 06.05.2024).

13. Cho H., Ji S.-W., Shin H.-Y., Jo H. A case study of environmental policies and guidelines for the use of coal ash as mine reclamation filler: Relevance for needed South Korean policy updates. *Sustainability*. 2019, vol. 11, article 3629. DOI: 10.3390/su11133629.

14. Hirschi J. C., Chugh Y. P. Sustainable coal waste disposal practices. *Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining*. Woodhead Publishing. 2019, pp. 245—269. DOI: 10.1016/B9780-08-101288-8.00012-2.

15. Putilova I. V. Experience in implementing projects using ash and slag from thermal power plants in Russia and abroad. Alternative energy and ecology. *International Scientific Journal*. 2023, no. 3(408), pp. 49 – 68. [In Russ]. DOI: 10.15518/isjaee.2023.03.049-068.

16. Snikkars P. N., Zolotova I. Yu., Osokin N. A. Utilization of fly ash from thermal power plants as a new cross-industry task. *Energy policy*. 2020, no. 7, pp. 34 – 45. [In Russ]. DOI: 10.46920/ 2409-5516_2020_7149_34.

17. Sanchit Gupta, Sandeep Chaudhary Use of fly ash for the development of sustainable construction materials. *New Materials in Civil Engineering*. Butterworth-Heinemann, 2020, pp. 677 – 689. DOI: 10.1016/B978-0-12-818961-0.00021-1.

18. Hemalatha T., Ananth Ramaswamy A review on fly ash characteristics – Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2017, vol. 147, pp. 546 – 559. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.114.

19. Paukova Yu. S., Zubareva K. S. State environmental expertise and liability for failure to comply with the requirements of the conclusion. *Sbornik nauchnykh statey 9-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii* [Collection of scientific articles of the 9th International Youth Scientific Conference], vol. 5, Kursk, 2021, pp. 76 – 78. [In Russ].

20. Manikovsky P. M., Sidorova G. P., Sakhnova P. M. Experience of exploration of ash and slag dumps of the Zabaikalsky Krai as technogenic deposits using the block modeling technique. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel': tekhnologii, effektivnost' i bioraznoobrazie: Sbornik nauchnykh trudov vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Reclamation of disturbed lands: technologies, efficiency and biodiversity: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference], Novokuznetsk, 2024, pp. 111 – 116. [In Russ]. DOI: 10.31251/conf-2-2024.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сидорова Галина Петровна[1] – д-р техн. наук,
профессор, e-mail: druja@inbox.ru,
Маниковский Павел Михайлович[1] – канд. техн. наук,
доцент, e-mail: manikovskiypm@yandex.ru,
Морозов Александр Анатольевич – д-р техн. наук,
директор по науке, ПАО «ППГХО»,
e-mail: morozovaa@ppgho.ru,
[1] Забайкальский государственный университет.
Для контактов: Сидорова Г.П., e-mail: druja@inbox.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

G.P. Sidorova[1], Dr. Sci. (Eng.),
Professor, e-mail: druja@inbox.ru,
P.M. Manikovsky[1], Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor,
e-mail: manikovskiypm@yandex.ru,
A.A. Morozov, Dr. Sci. (Eng.), Director of Science,
PJSC PIMCU, 674673, Krasnokamensk, Russia,
e-mail: morozovaa@ppgho.ru,
[1] Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.
Corresponding author: G.P. Sidorova, e-mail: druja@inbox.ru.

Получена редакцией 19.07.2025; получена после рецензии 27.08.2025; принята к печати 10.10.2025.
Received by the editors 19.07.2025; received after the review 27.08.2025; accepted for printing 10.10.2025.