## Геоэкология

DOI: 10.35634/UdSU.2025.75.80.008

УДК 517.925

***Д.Н. Лосева, М.В. Королев, В.В. Власов, С.З. Калаева, Е.А. Королева***

# ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В РЕЗИНОВЫХ СМЕСЯХ

**Аннотация.** В статье рассмотрены перспективные направления эффективного использования золошлаковых отходов, образующихся при сжигании угля, а также приведены сведения об их негативном воздействии на окружающую среду и человека. Проведена оценка эффективности применения золошлаковых отходов в качестве наполнителя в резиновой смеси. Объектом исследования являлся золошлаковый отход, образующийся в котельной, используемый для приготовления экспериментальных резиновых смесей. Проведена оценка изменения физико-механических характеристик вулканизатов при замене в составе резиновой смеси технического углерода на золошлаковый отход, в различных соотношениях. Результатом определения вулканизационных характеристик, после введения золошлакового отхода в состав резиновых смесей, является увеличение времени начала вулканизации и времени достижения оптимума вулканизации, а также значительное снижение значение максимального крутящего момента, что говорит о повышении эластичности вулканизата и может быть полезно при изготовлении вибро- и звукозащитных резинотехнических изделий.
***Ключевые слова:*** золошлак, резиновая смесь, наполнитель, эластомер, технический углерод, физико-механические свойства.

*Для цитирования*: Исследование и применение золошлаковых отходов в резиновых смесях / Д.Н. Лосева, М.В. Королев, В.В. Власов, С.З. Калаева, Е.А. Королева // Управление техносферой: электрон. журнал, 2025. Т.8. Вып.1. С. 88–101. DOI: 10.35634/UdSU.2025.75.80.008.

## Введение

В процессе деятельности предприятий, сжигающих угли, образуется много золошлаковых отходов (далее ЗШО). Годовое поступление золы в золоотвалы в пределах Российской Федерации – более 1,5 млрд. т. Использование данных отходов в хозяйственных целях пока ограничено, в том

числе и в связи с их токсичностью. Золошлаковые отходы – пылят, подвижные формы элементов активно вымываются осадками, загрязняя воздух, воду и почву. По литературным источникам есть более 300 технологий переработки и использования ЗШО, но они в основном посвящены использованию золы в строительстве и производстве строительных материалов. Использование данных отходов позволяет расширить ассортимент строительных материалов, а также снизить стоимость их изготовления. Однако использование золошлаковых отходов при производстве строительных материалах связано с определенными сложностями. Одна из них — повышенное содержание недожога в золе, а другая — сложный гранулометрический состав.

Перспективным направлением использования ЗШО является введение в резиновую смесь в качестве наполнителя.

Резиновая смесь представляет собой многокомпонентную систему, содержащую полимерную основу, в которой диспергированы различные химические вещества – ингредиенты.

Основой резиновой смеси является состав в дальнейшем определяющий ее физико-механические и технологические свойства и, что немало важно, ее эксплуатационные свойства.

Особо значительную роль на технологические свойства резины играют структуры каучуков и наполнителей, а также взаимодействие их друг с другом.

Взаимосвязь между составом, структурой и свойствами резиновых смесей является одной из важнейших задач в технологии производства резины, для обеспечения возможности создания эластомеров с комплексом заданных технологических и технических свойств, а также с возможностью значительного повышения качества продукции.

Целью работы явилась оценка эффективности применения золошлака в качестве наполнителя в резиновой смеси.

Объектом исследования стал золошлаковый отход, образующийся при сжигании угля в котельной г. Ростова (Ярославская область). Котельная предназначена для отопления 12-квартирного жилого дома и работает с 25 сентября по 30 апреля (218 дней в году). В течение отопительного периода расходуется 60 тонн угля, и в результате в отвале накапливается 3,9 тонны золошлакового отхода.

В качестве эталонов сравнения, были изготовлены модельные смеси, содержащие в своем составе среднеактивный и малоактивный технический углерод марок П 514 и П 803, рецептуры которых представлены в табл. 1 и 2 (смесь №1). Для оценки изменения физико-механических характеристик вулканизатов при замене в составе смеси технического углерода в золошлаковый отход, были изготовлены 4 образца, составы которых представлены в табл. 1 и 2.

Экспериментальные резиновые смеси были изготовлены на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160.

Таблица 1

Рецептуры экспериментальных резиновых смесей, содержащих технический углерод П 514

| Ингредиенты | Номер образца | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Каучук СКИ-3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Сера | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Сульфенамид Ц | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Белила цинковые | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Кислота стеариновая | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Технический углерод П 514 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 |
| Золошлаковый отход | | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Масло индустриальное И40 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Ацетонанил Н | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Таблица 2

Рецептуры экспериментальных резиновых смесей, содержащих технический углерод П 803

| Ингредиенты | Номер образца | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Каучук СКИ-3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Сера | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Сульфенамид Ц | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Белила цинковые | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Кислота стеариновая | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Технический углерод П 803 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 |
| Золошлаковый отход | | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Масло индустриальное И40 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Ацетонанил Н | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

В табл. 3 представлены результаты определения вулканизационных характеристик смесей в соответствии ГОСТ Р 54547.

Таблица 3

Вулканизационные характеристики исследуемых резиновых смесей, содержащих технический углерод П 514

| Показатель | Шифр смеси | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $M_L$, дН·м | 2,0 | 2,2 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |
| $M_H$, дН·м | 16,8 | 16,0 | 13,1 | 10,0 | 7,8 |
| Показатель | Шифр смеси | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $(M_H - M_L)$, дН·м | 14,8 | 13,8 | 10,4 | 7,4 | 5,2 |
| $ts_1$, мин | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,5 | 3,8 |
| $t_{50}$, мин | 6,7 | 6,8 | 7,2 | 7,4 | 8,0 |
| $t_{90}$, мин | 8,4 | 8,8 | 9,3 | 10,0 | 10,6 |
| Режим испытания: 151°С, 30 минут. | | | | | |

Таблица 4

Вулканизационные характеристики исследуемых резиновых смесей, содержащих технический углерод П 803

| Показатель | Шифр смеси | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $M_L$, дН·м | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| $M_H$, дН·м | 10,4 | 9,4 | 8,0 | 7,7 | 7,2 |
| $(M_H - M_L)$, дН·м | 9,4 | 8,5 | 6,9 | 6,6 | 6,1 |
| $ts_1$, мин | 3,0 | 3,2 | 3,7 | 4,5 | 5,5 |
| $t_{50}$, мин | 7,0 | 8,0 | 8,5 | 8,7 | 9,0 |
| $t_{90}$, мин | 10,5 | 11,0 | 11,3 | 11,5 | 12,0 |
| Режим испытания: 151 °С, 30 минут. | | | | | |

Как показали результаты определения вулканизационных характеристик, введение золошлакового отхода увеличивает время начала вулканизации $ts_1$ и время достижения оптимума вулканизации $t_{90}$, а также значительно снижает значение $M_H$, что говорит о повышении эластичности вулканизата.

В соответствии с полученным значением времени до достижения технологического оптимума вулканизации ($t_{90}$) на вулканизационном прессе ПВ 40-250 1Э в специальной прессформе были свулканизованы стандартные шайбы и пластины. Из пластин после вылежки вырубались образцы для испытаний в форме двухсторонних лопаток. Испытания по определению деформационно-прочностных свойств проводились в соответствии с ГОСТ 270 на разрывной машине ИТС 8223-1,0.

Определение сопротивления раздиру по ГОСТ 262 проводилось на разрывной машине РМИ-60 на дугообразных образцах с надрезом (метод D). Определение твердости по Шору А по ГОСТ 263 производилось ручным твердомером ТИР-2033. Определение эластичности по отскоку по ГОСТ 27110 проводилось на приборе типа Шоба. Результаты представлены в таблицах 5-6 и на рис. 1-5.

Таблица 5

Результаты эксперимента по определению деформационно-прочностных свойств резин при одноосном растяжении, содержащих технический углерод П 514

| Показатель | Шифр смеси | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Условная прочность при растяжении $f_p$ , МПа | 21,8 | 17,9 | 17,1 | 16,3 | 9,3 |
| Показатель | Шифр смеси | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Относительное удлинение при разрыве $\varepsilon_p$, % | 547,9 | 540,1 | 540,9 | 606,7 | 445,1 |
| Сопротивление раздиру $B$, кН/м | 71,4 | 81,8 | 50,1 | 44,1 | 41,1 |
| Твердость, ед. ШОР А | 48,7 | 49,3 | 47,0 | 45,3 | 43,3 |
| Эластичность по отскоку, % | 52,3 | 53,0 | 53,0 | 60,3 | 60,3 |

Таблица 6

Результаты эксперимента по определению деформационно-прочностных свойств резин при одноосном растяжении, содержащих технический углерод П 803

| Показатель | Шифр смеси | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Условная прочность при растяжении $f_p$ , МПа | 18,3 | 14,4 | 13,7 | 13,3 | 12,5 |
| Относительное удлинение при разрыве $\varepsilon_p$, % | 630,5 | 550,0 | 608,8 | 635,4 | 648,5 |
| Сопротивление раздиру $B$, кН/м | 56,8 | 68,3 | 35,9 | 30,2 | 28,9 |
| Твердость, ед. ШОР А | 53,3 | 51,3 | 50,3 | 49,0 | 47,7 |
| Эластичность по отскоку, % | 65 ,0 | 60,7 | 65,0 | 60,7 | 64,7 |

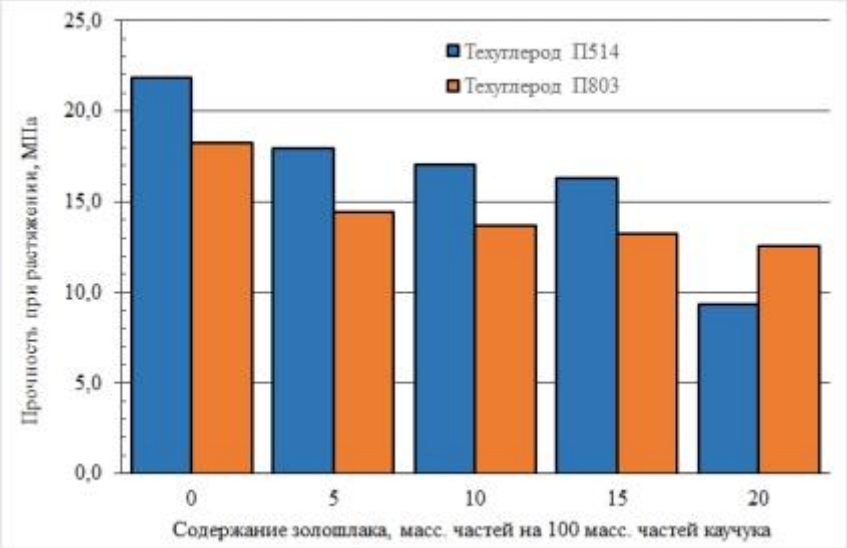



**Рис. 1. Сравнение условной прочности при растяжении вулканизатов**

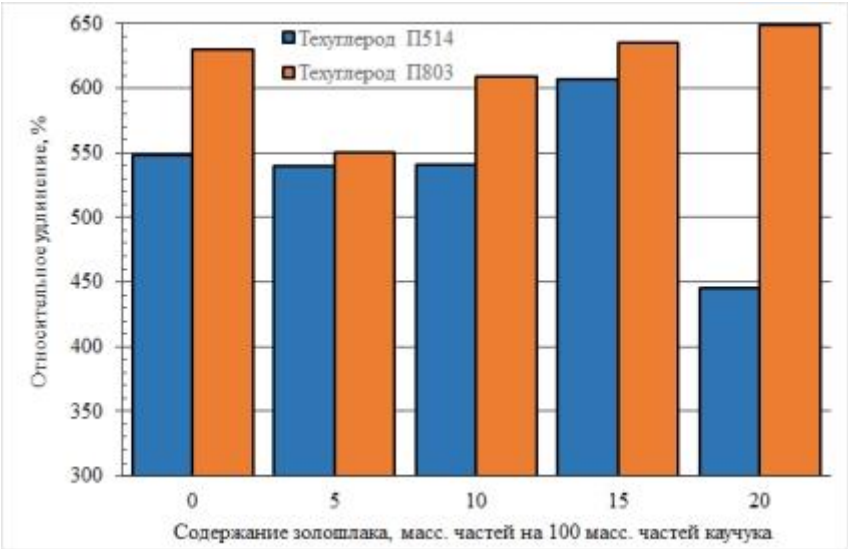



**Рис. 2. Сравнение относительного удлинения при разрыве вулканизатов**

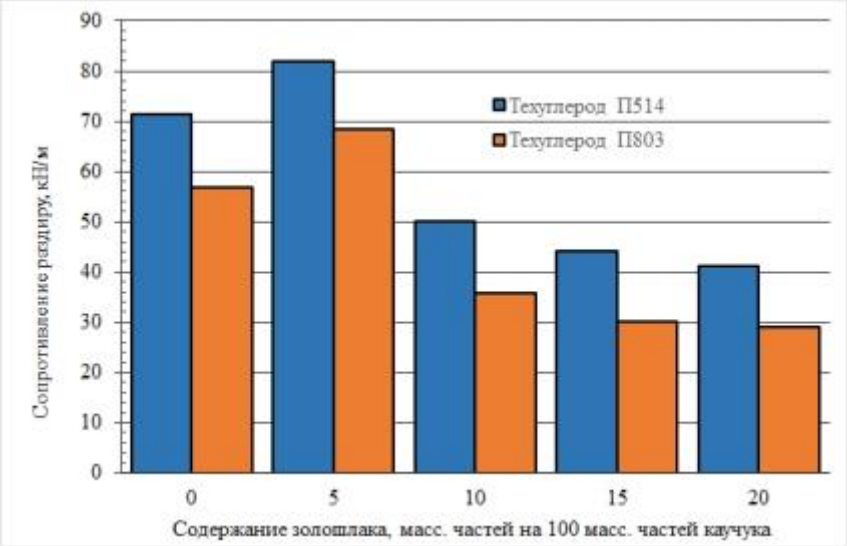



**Рис. 3. Сравнение сопротивления раздиру вулканизатов**

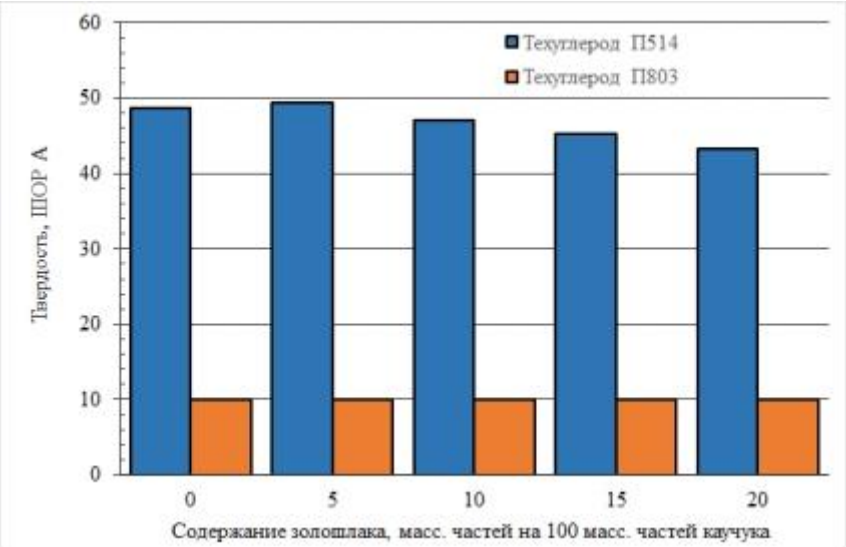



**Рис. 4. Сравнение твердости вулканизатов**

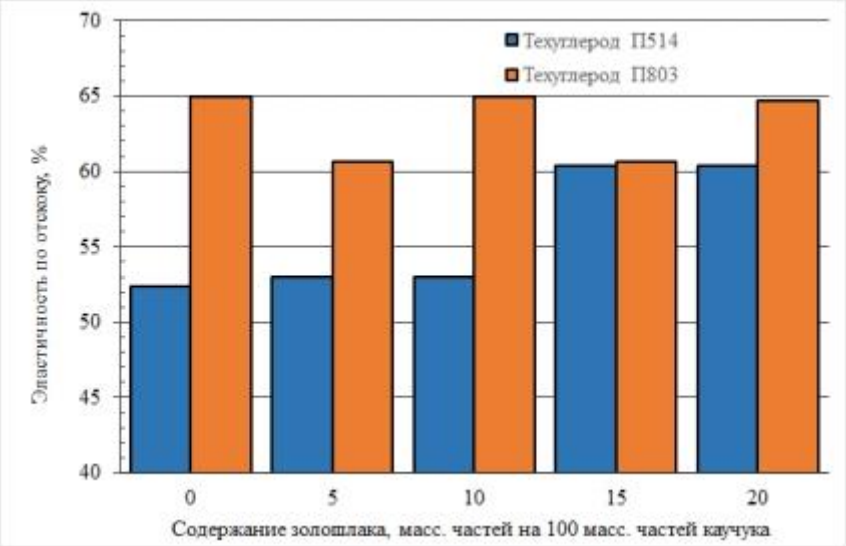



**Рис. 5. Сравнение эластичности по отскоку вулканизатов**

**Заключение**

Как показали исследования, введение золошлакового отхода в исследованных областях дозировок в резиновые смеси, содержащие среднеактивный и малоактивный технический углерод П 514 и П 803, ведет к увеличению продолжительности вулканизации и снижению основных физико – механических показателей. Однако, для изготовления малонагруженных и массивных изделий можно рассматривать введение до 15 массовых частей золошлакового отхода без существенного ухудшения свойств вулканизатов. Кроме того, введение золошлакового отхода придает вулканизатам повышенную эластичность, что может быть полезно для изготовления вибро- и звукозащитных резинотехнических изделий, например, для железной дороги.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров В.Л. Геоэкологические аспекты прогноза изменения окружающей среды в районах полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций / В.Л.

Бочаров, П.Н. Крамарев, Л.Н. Строгонова // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. №1. С. 233 – 240.

2. Радомский С.М. Экологические проблемы золошлакоотвала Благовещенской ТЭЦ/ С.М. Радомский, А.Ф. Миронюк, В.И. Радомская, А.А. Лукичев // Экология и промышленность России. Март, 2004. С. 28 – 31.
3. Андреева С.Г. Гигиеническая оценка золошлаковых отходов, образующихся при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна: автореферат дисс. на соиск. уч ст. к.м.н. Кемерово: Издательство ГОУ ВПО КЕМГМА. 2006. 21 с.
4. Бобович Б.Б. Переработка промышленных отходов: учебник для вузов. М.: МП Интермет Инжиниринг. 1999. 445с.
5. Футорянский Л.Д. Геоэкологические критерии оптимального размещения золошлаков ТЭС в природных условиях среднего Урала: автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Екатеринбург. 2008. 26 с.
6. Розанов Л.Л. Геоэкология: учебно-методическое пособие для вузов. М.: Долфа. 2010. 269 с.
7. Пугач Л.И. Энергетика и экология: учебник. Новосибирск: издательство НГУ. 2003. 504 с.
8. Куликова М.С. Экология и обращение с отходами в Ярославской области / М.С. Куликова, Э.А. Арустамов, И.В. Левакова // Интернет-журнал «Науковедение».2017. Т. 9, №6. URL: https://naukovedenie.ru/PDF/110EVN617.pdf (дата обращения: 15.01.2025).
9. Роспотребнадзор Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: https://groro.rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/21248/ (дата обращения: 15.01.2025).

Поступила в редакцию: 10.03.2025

**Сведения об авторах**
*Лосева Дарья Николаевна*
Магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», 150023, Московский проспект 88, г. Ярославль, Россия.
E-mail: dari.losewa@yandex.ru

*Королев Михаил Владимирович*
Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», 150023, Московский проспект 88, г. Ярославль, Россия.
E-mail: korolev@srsyar.ru

*Власов Валерий Владимирович*
Руководитель центра инновационных технологических решений, доцент кафедры "Химическая технология биологически активных веществ и полимерных композитов", к.т.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», 150023, Московский проспект 88, г. Ярославль, Россия.
E-mail: vlasovvv@ystu.ru

*Калаева Сахиба Зияддин кзы*
Заведующая кафедрой «Охрана труда и природы», доцент, д.т.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», 150023, Московский проспект 88, г. Ярославль, Россия.
E-mail: kalaevasz@ystu.ru

*Королева Елена Александровна*
Старший преподаватель кафедры «Охрана труда и природы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», 150023, Московский проспект 88, г. Ярославль, Россия.
E-mail: korolevaea@ystu.ru

***D.N. Loseva, M.V. Korolev, V.V. Vlasov, S.Z. Kalaeva, E.A. Koroleva***

# RESEARCH AND APPLICATION OF ASH AND SLAG WASTE IN RUBBER COMPOUNDS

**Annotation.** The article considers perspective directions of effective utilization of ash and slag wastes generated by coal combustion, and also provides information about their negative impact on the environment and humans. The efficiency of ash and slag wastes application as a filler in rubber mixture has been evaluated. The object of the study was ash and slag waste generated in the boiler house, used for the preparation of experimental rubber mixtures. The change of physical and mechanical characteristics of vulcanizates at replacement of technical carbon with ash-and-slag waste in the composition of rubber mixture in different ratios was evaluated. The result of determination of vulcanization characteristics, after introduction of ash and slag waste in the composition of rubber mixtures, is the increase of vulcanization start time and time of reaching the optimum of vulcanization, as well as a significant decrease in the value of the maximum torque, which indicates an increase in the elasticity of vulcanizate and can be useful in the manufacture of vibration- and sound-proof rubber products.
***Keywords:*** ash and slag, rubber compound, filler, elastomer, carbon black, physical and mechanical properties.

*For citation:* Loseva D.N., Korolev M.V., Vlasov V.V., Kalaeva S.Z., Koroleva E.A. [Research and application of ash and slag waste in rubber compounds]. *Upravlenie tekhnosferoi*, 2025, vol. 8, issue 1, pp. 88–101. DOI: 10.35634/UdSU.2025.75.80.008. (In Russ.).

## REFERENCES

1. Bocharov V.L., Kramarev P.N., Strogonova L.N. Geoekologicheskie aspekty prognoza izmeneniya okruzhayushchei sredy v raionakh poligonov zakhoroneniya zoloshlakovykh otkhodov teploelektrostantsii [Geoecological aspects of forecasting environmental changes in the areas of landfills of ash and slag waste from thermal power plants ]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya* [*Bulletin of the Voronezh University. Geology*]. 2005, no.1, pp. 233 – 240. (In Russ.).
2. Radomskii S.M., Mironyuk A.F., Radomskaya V.I., Lukichev A.A Ekologicheskie problemy zoloshlakootvala Blagoveshchenskoi TETs [Ecological problems of the Blagoveshchenskaya CHPP ash and slag dump], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [ *Ecology and industry of Russia*]. Mart, 2004, pp. 28 – 31(In Russ.).
3. Andreeva S.G. *Gigienicheskaya otsenka zoloshlakovykh otkhodov, obrazuyushchikhsya pri szhiganii uglei Kansko-Achinskogo basseina* [Hygienic assessment of ash and slag waste

generated during coal burning in the Kansk-Achinsk basin]. Kemerovo, GOU VPO KEMGMA. 2006, 21 p. (In Russ.).

4. Bobovich B.B. *Pererabotka promyshlennykh otkhodov: uchebnik dlya vuzov* [Processing of industrial waste: a textbook for universities ]. Moscow, Intermet Inzhinering. 1999, 445 p. (In Russ.).
5. Futoryanskii L.D. *Geoekologicheskie kriterii optimal'nogo razmeshcheniya zoloshlakov TES v prirodnykh usloviyakh srednego Urala* [Geoecological criteria for optimal placement of TPP ash and slag in the natural conditions of the Middle Urals], Ekaterinburg. avtoref. diss. na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. 2008, 26 p. (In Russ.).
6. Rozanov L.L. *Geoekologiya: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vuzov* [Geoecology: an educational and methodological guide for universities], Moscow, Dolfa. 2010, 269 p. (In Russ.).
7. Pugach L.I. *Energetika i ekologiya: uchebnik* [Energy and ecology: textbook], Novosibirsk, NGU. 2003, 504 p. (In Russ.).
8. Kulikova M.S., Arustamov E.A., Levakova I.V. *Ekologiya i obrashchenie s otkhodami v Yaroslavskoi oblasti* [Ecology and waste management in the Yaroslavl region ], *Internet-zhurnal «Naukovedenie* [*Online journal «Naukovedenie»*], 2017, vol. 9, no. 6. Available at: https://naukovedenie.ru/PDF/110EVN617.pdf . (Accessed: 15.01.2025). (In. Russ.).
9. Rosprirodnadzor Federal Service for Supervision of Natural Resources Management [Rosprirodnadzor Federal Service for Supervision of Natural Resources Management]. Available at: https://groro.rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/21248. (Accessed: 15.01.2025) (In. Russ.).

Received: 10.03.2025

**About the Authors**

*Loseva Darya Nikolaevna*
Master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Technical University", 150023, Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, Russia.
E-mail: dari.losewa@yandex.ru

*Korolev, Mikhail Vladimirovich*
Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Yaroslavl State Technical University, 150023 Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, Russia.
E-mail: korolev@srsyar.ru

*Vlasov Valery Vladimirovich*
Head of the Center for Innovative Technological Solutions, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Biologically Active Substances and Polymer Composites, PhD, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Yaroslavl State Technical University, 150023 Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, Russia.
E-mail: vlasovvv@ystu.ru

*Kalayeva Sahiba Ziyaddin kzy*
Head of the Department of Labor and Nature Protection, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Yaroslavl State Technical University, 150023 Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, Russia.
E-mail: kalaevasz@ystu.ru

*Koroleva Elena Alexandrovna*
Senior Lecturer at the Department of Labor and Nature Protection, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Yaroslavl State Technical University, 150023 Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, Russia.
E-mail: korolevaea@ystu.ru