

*Д. В. Бесполитов, П. П. Панков, Н. А. Коновалова, С. А. Евсюков, Е. А. Агеев*

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация*

## УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В СОСТАВАХ ДОРОЖНЫХ ГРУНТОБЕТОНОВ

**Аннотация.** В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований химического состава, особенностей строения и эксплуатационных характеристик золошлаковых отходов и отходов щебеночного производства (Забайкальский край) с целью их утилизации в составах дорожных грунтобетон. Выявлено, что паровозный шлак относится к категории непучинистых. Выявлено, что изучаемые золы уноса по гидравлическим свойствам относятся к скрыто-активным. Показано, что исследуемые образцы отсева и зол уноса относятся к 1 классу материалов по радиационному признаку, так как величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов (Аэфф) имеет значение не более 370 Бк/кг и изучаемое минеральное сырье может без ограничений использоваться в строительной индустрии. Экспериментально установлено, что оптимальная дозировка минерального вяжущего и золы уноса в образцах грунтобетон составила 8 и 10 мас. %, соответственно. Введение 1 мас. % стабилизатора позволяет получать морозостойкие образцы с маркой по прочности М 40.

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы, утилизация отходов, дорожные грунтобетоны, стабилизация грунтов, дорожное строительство.

*D.V. Bespolitov, P.P. Pankov, N.A. Konovalova, S.A. Evsyukov, E.A. Ageev*

*Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation*

## UTILIZATION OF ASH AND SLAG WASTE IN THE COMPOSITION OF ROAD SOIL CONCRETE

**Abstract.** This article presents the results of experimental research of the chemical composition, structural features and operational characteristics of ash and slag waste and waste from crushed stone production (Trans-Baikal region) for the purpose of their utilization in road soil concrete compositions. It was revealed that locomotive slag belongs to the category of non-porous. It was revealed that the studied fly ash in terms of hydraulic properties are classified as latent-active. It is shown that the investigated samples of screenings and fly ash belong to the 1st class of materials according to the radiation characteristic, since the value of the specific effective activity of natural radionuclides (Aeff) has a value of no more than 370 Bq/kg and the studied mineral raw materials can be used in the construction industry without restrictions. It was experimentally established that the optimal dosage of the mineral binder and fly ash in soil concrete samples was 8 and 10 wt. %, respectively. Introduction 1 wt. % of the stabilizer makes it possible to obtain frost-resistant samples with a strength grade of M 40.

**Keywords:** ash and slag waste, utilization of waste, road soil concrete, soil stabilization, road construction.

### Введение

Совершенствование технологии утилизации отходов топливно-энергетического комплекса представляется актуальной задачей, так как в результате функционирования российских ТЭЦ в отвалах накоплено порядка 1,2-1,5 млрд. т золошлаковых отходов [1]. Перспективным способом решения данной проблемы является крупнотоннажное вовлечение отходов ТЭЦ в производство дорожно-строительных материалов [2-4].

Цель исследования заключалась в разработке составов дорожных грунтобетон на основе зол уноса и отходов щебеночного производства, модифицированных полимерной стабилизирующей добавкой, разработанной в ЗаБИЖТ ИрГУПС.

Объекты исследования: зола уноса (ТЭЦ-2, г. Чита); отсев дробления фракции 0-5 мм (Забайкальский край). В исследовании использовали портландцемент ЦЕМ II/A-III 32,5Б (г. Ангарск).

## Материалы и методы

Мультиэлементный анализ образцов зол уноса и минерального вяжущего проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) на спектрометре эмиссионном *Optima 5300DV PerkinElmer* (167-403 нм) с предварительным растворением проб в смеси кислот  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  и  $\text{HClO}_4$ . Инфракрасные спектры регистрировали на ИК-спектрометре *SHIMADZU FTIR-8400S* на таблетках прокаленного КВг, изготовленных по стандартной методике.

Удельную эффективную активность естественных радионуклидов ( $A_{\text{эфф}}$   $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) устанавливали с учетом требований нормативных документов.

Эксплуатационные свойства грунтобетонных образцов изучены в соответствии с ГОСТ 23558-94 на образцах-цилиндрах и образцах-балочках при полном водонасыщении, физико-механические характеристики и показатель морозостойкости получены через 28 суток твердения.

## Результаты и их обсуждение

Изучаемые золы уноса по гидравлическим свойствам относятся к скрыто-активным. Алумосиликатный состав зол уноса:  $\omega$ , мас. %: 0,4  $\text{CaO}_{\text{св}}$ ; 0,41  $\text{TiO}_2$ ; 0,56  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0,61  $\text{SO}_3$ ; 1,21  $\text{K}_2\text{O}$ ; 1,42  $\text{MgO}$ ; 7,80  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 9,37  $\text{CaO}$ ; 10,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 36,1  $\text{SiO}_2$ .

Данные инфракрасной спектроскопии свидетельствуют о том, что в золе уноса содержится кальцит, полосы поглощения с максимумами при 876; 1435 и 1454  $\text{cm}^{-1}$  связаны с деформационными и валентными колебаниями группы  $\text{CO}_3^{2-}$  (рисунок 1)

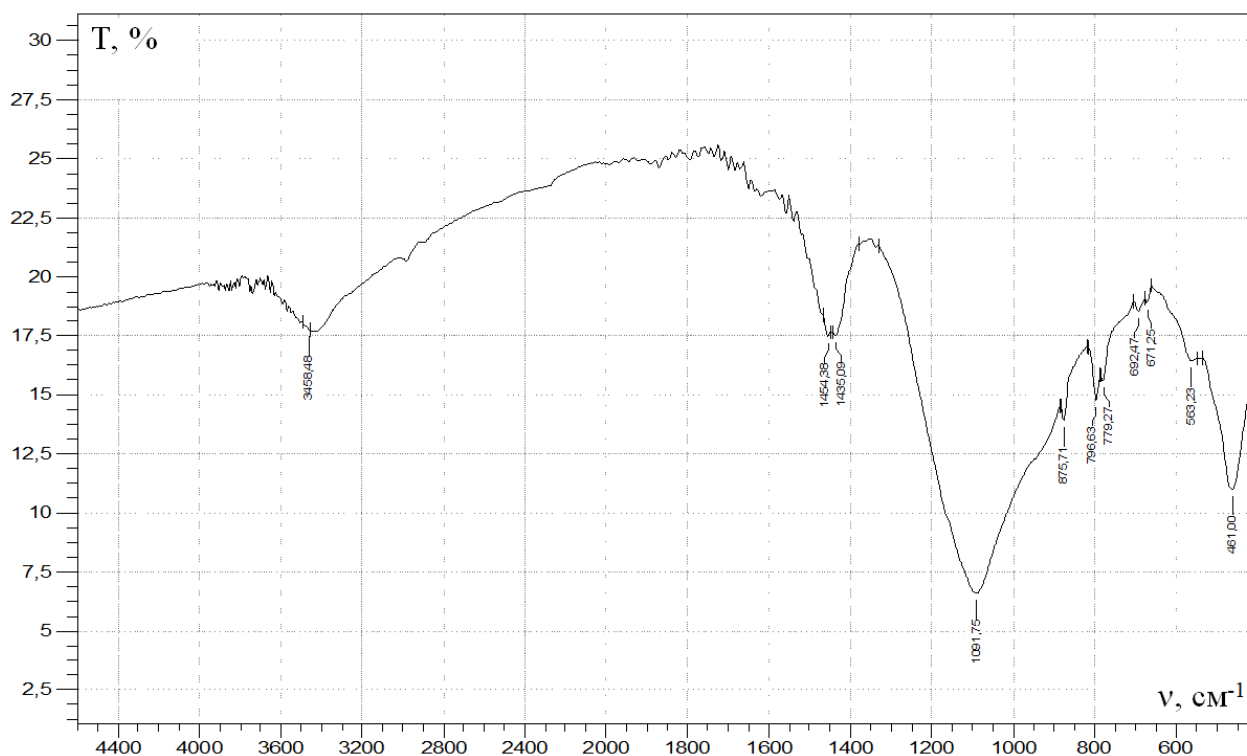


Рис. 1 Инфракрасный спектр образца зол уноса

Наличие в золе кристобалита и кварца подтверждается характерными полосами поглощения с максимумами при 692; 671  $\text{cm}^{-1}$  и 797; 779  $\text{cm}^{-1}$ . Для гематита ( $\text{Fe-O}$ ) характерны полосы поглощения в области 461 и 563  $\text{cm}^{-1}$ .

Полосы поглощения при 1092 и 3458  $\text{cm}^{-1}$  соответствуют валентным колебаниям  $\text{OH}$ -групп и групп  $\text{Si-O-Si(Al)}$ .

Оптимальная дозировка минерального сырья определена методом подбора, массовая доля минерального вяжущего 8,0 мас. %.

Физико-механические свойства образцов стабилизированных грунтобетонов (1 мас. % стабилизатора) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства стабилизированных грунтобетонов

$\omega$ золы уноса, мас. %	$R_{изг}$ , МПа	$R_{сж}$ , МПа	$R_{сж}$ 20 °С, МПа	Марка по морозостойкости
10	1,22	4,14	4,62	не менее F15
20	0,82	3,10	4,13	
30	0,80	3,00	3,52	

Показано, что исследуемые образцы отсева и зол уноса относятся к 1 классу материалов по радиационному признаку, так как величина  $A_{эфф}$  имеет значение не более 370 Бк/кг и изучаемое минеральное сырье может без ограничений использоваться в строительной индустрии.

Полученные экспериментальные данные позволяют заключить об эффективности вовлечения отходов щебеночного производства и золошлаковых отходов для получения грунтобетонов, стабилизированных добавками различной природы, применимых в регионах со сложными климатическими условиями.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адеева Л.Н. Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности / Л.Н. Адеева, В.Ф. Борбат // Вестник Омского университета. – 2009. – № 2. – С. 141-151.
2. Власова В.В. Определение направлений эффективного использования отходов ТЭС / В.В. Власова, О.С. Артемова, Е.Ю. Фомина // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – № 11. – С. 36-41.
3. Делицын Л.М. Возможные области промышленного использования шламовых отходов комплексной переработки золы Троицкой ГРЭС / Л.М. Делицын, Н.Н. Ежова, А.С. Власов, С.В. Сударева, Т.И. Бородин // Экология промышленного производства. – 2011. – № 3. – С. 38-46.
4. Худякова Л.И. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций / Л.И. Худякова, А.В. Залуцкий, П.Л. Палеев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2019. – № 4 (3). – С. 375-391.

### REFERENCES

1. Adeeva L.N. Borbat V.F. [Ashes of heating and power plant – perspective raw material for industry], *Vestnik Omskogo universiteta* [Herald of Omsk University], 2009, no. 2, pp. 141-151. (In Russ.)
2. Vlasova V., Artemova O., Fomina E. [Determination of Directions for the Effective Use of TPP Waste], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2017, vol. 21, no. 11, pp. 36-41. (In Russ.)
3. Delitzin L.M., Ezhova N.N., Vlasov A.S., Sudareva S.V., Borodina T.I. [Possible branches of the industrial application of slag wastes remained after the complex treatment of Troizk's power station ash], *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production], 2011, no. 3, pp. 38-46. (In Russ.)
4. Khudyakova L.I., Zalutskiy A.V., Paleev P.L. [Use of ash and slag waste of thermal power plants], *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'* [XXI Century. Technosphere Safety], 2019, no. 4 (3), pp. 375-391. (In Russ.)

### **Информация об авторах**

*Бесполитов Дмитрий Викторович* – младший научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗаБИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Панков Павел Павлович* – к.т.н., старший научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗаБИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Коновалова Наталья Анатольевна* – д.т.н., ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗаБИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Евсюков Сергей Андреевич* – студент, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Агеев Егор Андреевич* – студент, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

### **Information about the authors**

*Bespolitov Dmitry Viktorovich* – junior researcher of the Research Design and Technology Bureau "ZabIZhT-Engineering", Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Pankov Pavel Pavlovich* – candidate of technical sciences, senior researcher of the Research Design and Technology Bureau "ZabIZhT-Engineering", Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Konovalova Natalia Anatolyevna* – Doctor of Technical Sciences, leading researcher of the Research Design and Technology Bureau "ZabIZhT-Engineering", Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Evsyukov Sergey Andreevich* – student, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)

*Ageev Egor Andreevich* – student, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [zabizht\\_engineering@mail.ru](mailto:zabizht_engineering@mail.ru)