

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ КАК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АВТОДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ (ЧАСТЬ 2)

**П.М. Маниковский**, *manikovskiy@yandex.ru*  
**С.В. Белокрылова**, *sofiabelokrylova@yandex.ru*  
**П.М. Сахнова**, *polinasahnova445@gmail.com*  
**Д.С. Зубакова**, *daryalyulina01@gmail.com*  
**А.А. Зубаков**, *artem.zubakov01@gmail.com*  
**А.Д. Шабеева**, *alya\_shabaeva@mail.ru*  
*Забайкальский государственный университет, Чита, Россия*

**Аннотация.** Представленное в статье исследование посвящено получению материала на основе золошлаковых отходов, который мог бы выполнить функцию теплоизолятора при строительстве автомобильных дорог в регионах, имеющих сложные инженерно-геологические условия и географически расположенных в районах распространения вечной мерзлоты, в том числе островной. Целью работы является создание материала, имеющего теплоизоляционные свойства на основе золошлаковых отходов теплоэнергетических станций. Исследование носит экспериментальный характер, основано на стендовом моделировании процесса тепловой передачи энергии через плоскую стенку. В ходе выполнения исследования получена смесь на основе золошлаковых отходов одной из тепловых электростанций юга Забайкальского края, которая позиционируется как оптимальный состав для создания материала, обладающего крайне низкой теплопроводностью, что, несомненно, будет иметь положительный эффект при практической реализации в качестве структурного элемента автомобильной дороги. Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы при реализации распоряжения Правительства РФ от 28 августа 2024 г. № 2330-р, которое вступает в силу с 1 января 2025 г.

**Ключевые слова:** автодорожное покрытие, золошлаковые отходы, теплоизоляционный материал, коэффициент теплопроводности, угольная энергетика

**Благодарности.** Исследование выполнено при поддержке Программы развития Забайкальского государственного университета «Приоритет-2030. Дальний Восток», проект № НИ-1.

**Для цитирования.** Использование составов на основе золошлаковых отходов как теплоизоляционных материалов для автодорожных покрытий (часть 2) / П.М. Маниковский, С.В. Белокрылова, П.М. Сахнова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 4. С. 34–40. DOI: 10.14529/build240405

## THE USE COMPOSITIONS BASED ON ASH AND SLAG WASTE AS THERMAL INSULATION MATERIALS FOR ROAD SURFACES (PART 2)

**P.M. Manikovskiy**, *manikovskiy@yandex.ru*  
**S.V. Belokrylova**, *sofiabelokrylova@yandex.ru*  
**P.M. Sakhnova**, *polinasahnova445@gmail.com*  
**D.S. Zubakova**, *daryalyulina01@gmail.com*  
**A.A. Zubakov**, *artem.zubakov01@gmail.com*  
**A.D. Shabaeva**, *alya\_shabaeva@mail.ru*  
*Transbaikal State University, Chita, Russia*

**Abstract.** The paper focuses on the production of a material based on ash and slag waste. It could perform the function of a heat insulator during the construction of highways in regions with difficult engineering and geological conditions and geographically located in permafrost distribution areas including insular ones. The study aims to create a material with thermal insulation properties based on ash and slag waste from thermal power plants. The study is experimental in nature and is based on bench modeling of the process of thermal energy transfer through a flat wall. During

the study, the authors obtained a mixture based on ash and slag waste from one of the thermal power plants in the south of the Transbaikal Territory. It is considered the optimal composition for creating a material with extremely low thermal conductivity which will undoubtedly have a positive effect in practical implementation as a structural element of a highway. The results obtained during the study can be used in the implementation of the decree of the Government of the Russian Federation dated August 28, 2024 No. 2330-р which comes into force on January 1, 2025.

**Keywords:** road surface, ash and slag waste, thermal insulation material, thermal conductivity coefficient, coal power engineering

**Acknowledgements:** The research was supported by the Development Program of Transbaikal State University “Priority-2030. Far East”, project No. NP-1.

**For citation.** Manikovskiy P.M., Belokrylova S.V., Sakhnova P.M., Zubakova D.S., Zubakov A.A., Shabaeva A.D. The use compositions based on ash and slag waste as thermal insulation materials for road surfaces (part 2). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture.* 2024;24(4):34–40. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240405

## Введение

В Забайкальском крае, как и в большинстве приграничных регионов, в которых отсутствует газификация, преобладает тепловая генерация энергии, основанная на сжигании угля [1–3]. Сжигание угольного топлива влечет за собой образование вторичных материалов – золошлаковых отходов (далее – ЗШО), которые остаются после сжигания твердого топлива в виде минерализованных остатков золы и шлака. В результате описанного процесса происходит накопление большого объема ЗШО, который негативно влияет на места размещения золошлаковых отвалов как в части попадания потенциально опасных веществ в виде аэрозолей в атмосферу, так и в части миграции потенциально опасных элементов в грунтовые воды, впоследствии вызывающие загрязнения водоемов. В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2024 г. № 2330-р утвержден «Перечень видов работ и услуг, выполнение и оказание которых осуществляются с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе», которое вступает в силу с 1 января 2025 г. Согласно этому документу утвержден перечень видов работ, услуг, выполнение и оказание которых осуществляются с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе. Одним из наименований видов работ, услуг, которые попадают под действие этого нормативного документа, является «дорожное строительство и реконструкция автомобильных дорог с применением щебня и песка, полученных из шлаков, и (или) вскрышных пород, и (или) готовых щебеночно-песчаных смесей из шлаков, и (или) металлургических шлаков (доменных и сталеплавильных), и (или) комплексных минеральных вяжущих, произведенных с использованием шлаков доменных и электротермософосфорных гранулированных, и (или) золы-уноса, и (или) белитового шлама, и (или) золошлаковой смеси и пыли-уноса вращающихся печей, или с применением модификаторов на основе резиновых порошков, произведенных из изношенных шин». Учитывая протяженность автомобильных дорог Забайкальского края, а также возможность использования ЗШО, образующихся на теп-

ловых электростанциях региона (далее – ТЭС), доказанную ранее в первой части работы, авторский коллектив предполагает возможность использования золошлаковых отходов, размещенных близ ТЭС Забайкальского края, при строительстве протяженной сети автомобильных дорог для улучшения их качества [4].

## Материалы и методы исследований

Как было заявлено в аннотации к работе, в исследовании принимали участие пробы ЗШО, отобранные из золошлакоотвала одной из ТЭС юга Забайкальского края.

Изучив различные способы защиты автодорог, а также объем накопленных ЗШО на территории Забайкальского края, авторский коллектив приступил к созданию нового материала, который предположительно позволит сделать автодорожное покрытие более устойчивым к использованию в регионах, где присутствует вечная мерзлота, в том числе островная [5–7]. Предполагается получить материал двойного назначения. Во-первых, использовать материал при защите откосов автодорог, что позволит снизить воздействие солнечного тепла на откос, вследствие чего продлит срок их эксплуатации. Во-вторых, использовать материал как разделитель слоев дорожной одежды, что будет препятствовать перемешиванию материалов в границах их соприкосновения (рис. 1) [8].

## Результаты

Учитывая такие свойства золошлаковых отходов, как пористость и невысокая теплопроводность, провели эксперимент с получением нескольких смесей для определения коэффициента их теплопроводности. Для создания смесей использовалось три компонента в различных пропорциях. Первым материалом выступал цемент, вторым материалом – песок, третьим – ЗШО [9]. Также для создания раствора использовалась вода.

Процесс подготовки смесей был начат с подбора пропорций. Эксперимент был проведен для 7 смесей с различным соотношением используемых материалов (табл. 1). Соотношение материалов измерялось мерным стаканом вместимостью 100 мл согласно ГОСТ 29044–91.

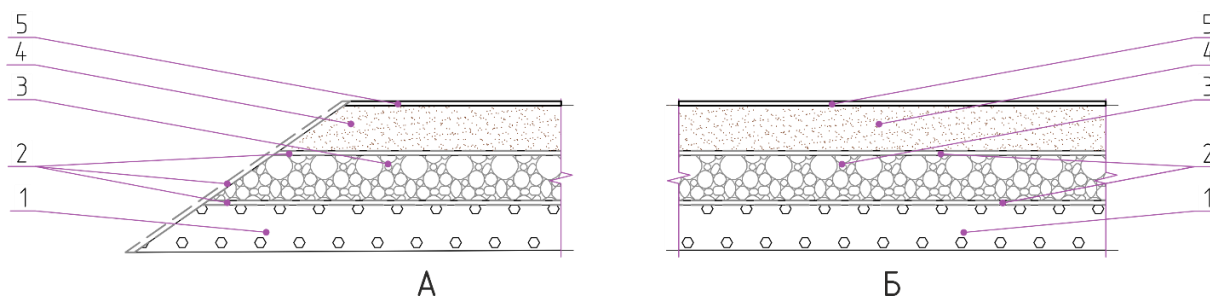


Рис. 1. Варианты использования нового материала как покрытия для откоса автодороги (А) или как структурного элемента дорожной одежды (Б): 1 – естественный грунт, 2 – материал с использованием ЗШО, 3 – гравий или щебень, 4 – песок, 5 – асфальт

Таблица 1

Соотношение пропорций материалов в тестируемых смесях

№ итогового полученного материала	Пропорция	Материал № 1 – цемент, мл	Материал № 2 – песок, мл	Материал № 3 – ЗШО, мл	Вода, мл
1	1:6:0:2,5	100	600	0	250
2	1:5:1:2,5	100	500	100	250
3	1:4:2:2,5	100	400	200	250
4	1:3:3:2,5	100	300	300	250
5	1:2:4:2,5	100	200	400	250
6	1:1:5:2,5	100	100	500	250
7	1:0:6:2,5	100	0	600	250

Теплопроводностью называется количественная характеристика способности тела проводить тепло [10, 11]. Для целей эксперимента она определялась стационарным методом с применением в качестве известного материала керамической кафельной плитки размером  $240 \times 160$  мм с известным по паспорту коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 2$  Вт/мК. Стационарный метод применялся ввиду специфики эксперимента – на всем протяжении эксперимента условия его проведения оставались неизменными, так же как предполагается и в случае использования исследуемого материала в качестве покрытия для откоса автодороги или как структурного элемента дорожной одежды. Формы для заливки растворов были подготовлены в размер с габаритами кафельной плитки для унификации материалов из пластика толщиной 4 мм. Стенки монтировались к основанию формы при помощи эпоксидной смолы (рис. 2).

После заливки растворов формы помещались в сушильный шкаф, где находились до стабилизации массы в сухом состоянии при  $105^\circ\text{C}$ . После стабилизации массы полученных материалов измерялась толщина покрытий с помощью штангенциркуля, которая в среднем составляла 13,47 мм, после чего полученные образцы помещались на подготовленный стенд для замера теплопроводности (рис. 3). В результате были получены плиты размером  $160 \times 240 \times 13,47$  мм, имеющие разный вещественный состав (см. табл. 1), которые испытывались при организации эксперимента на заранее подготовленном стенде.

### Обсуждение

В ходе проведения эксперимента полученные плиты устанавливались в верхнюю часть экспериментального стенда (8) (см. рис. 3), где находились в состоянии покоя до стабилизации показаний на

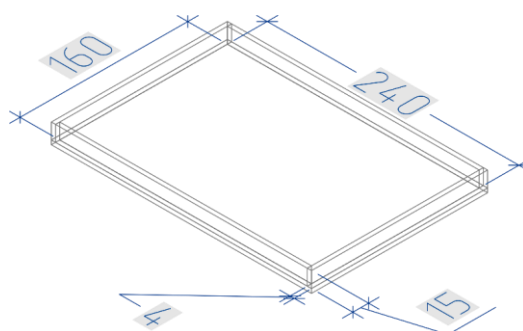


Рис. 2. Форма для заливки экспериментальных растворов

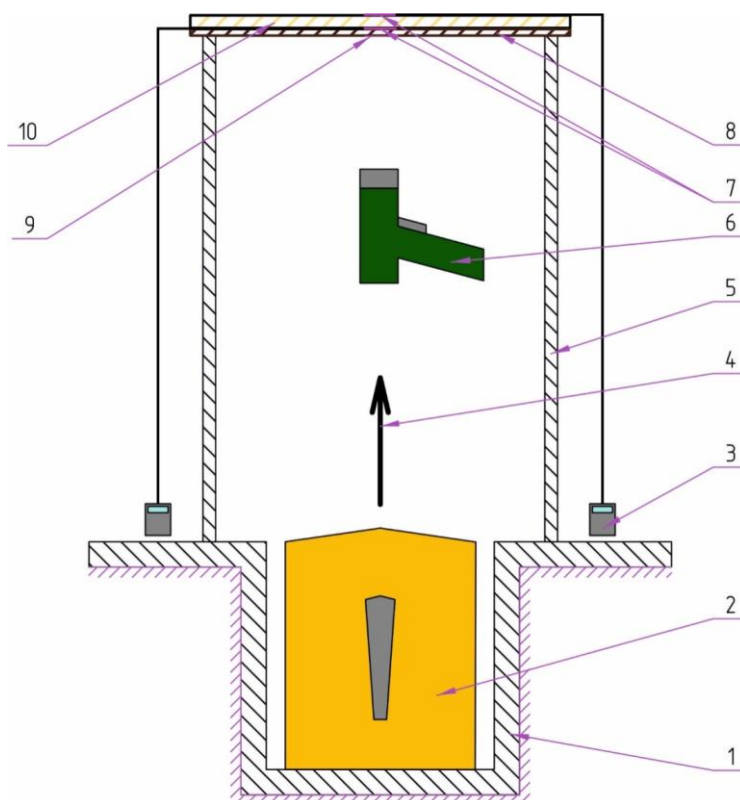


Рис. 3. Экспериментальный стенд измерения коэффициента теплопроводности полученных образцов

цифровых мультиметрах (3). Экспозиция составляла 600 с. После стабилизации температуры снимались показания мультиметров и пирометра, которые заносились в таблицу (табл. 2).

Для определения теплопроводности материала рассчитывалась плотность теплового потока. Тепловой поток – это количество тепла, передаваемого за единицу времени (Дж/с или Вт) по следующей формуле:

$$q = \lambda \times F \times \frac{(t_1 - t_2)}{\delta},$$

где  $q$  – тепловой поток,  $\lambda$  – теплопроводность материала стенки (коэффициент теплопроводности), Вт/(м · К);  $F$  – площадь поверхности стенки (площади изотермических поверхностей стенки, между которыми происходит теплопередача, равны), м<sup>2</sup>;  $t_1 - t_2$  – разность температур поверхностей стенок

( $t_1$  – температура более нагретой поверхности), °С;  $\delta$  – толщина стенки (расстояние между поверхностями стенки), м.

После вычисления теплового потока рассчитывали коэффициент теплопроводности  $\lambda$  для всех экспериментальных составов, из которых состояли плиты, по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{q \times \delta}{(t_1 - t_2) \times F}.$$

Результаты расчетов на основе экспериментальных данных для всех составов согласно номерам полученных материалов представлены в табл. 3. Результаты эксперимента и последующих расчетов показали, что наименее теплопроводящим материалом с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 1,85$  Вт/мК оказался материал № 6, полученный из смеси с пропорцией 1:1:5:2,5. То есть

Результаты испытаний

Таблица 2

№ полученного материала	Пропорция	Толщина (h), мм	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$t_3$ , °С
1	1:6:0:2,5	12,7	73	60	51
2	1:5:1:2,5	12	78,5	63	45
3	1:4:2:2,5	13	80,5	64	44
4	1:3:3:2,5	13	78,2	65	47
5	1:2:4:2,5	14,6	73,8	56	38
6	1:1:5:2,5	15	71,5	62	40
7	1:0:6:2,5	14	79,2	63	40

Результаты расчёта значений теплового потока  $q$  и коэффициента теплопроводности  $\lambda$

№ материала	Площадь поверхности плиты (F), м <sup>2</sup>	Толщина керамической плиты ( $\delta$ ), м	Толщина экспериментальной плиты ( $\delta$ ), м	t <sub>1</sub> , °C	t <sub>2</sub> , °C	t <sub>3</sub> , °C	q, Вт	$\lambda$ теплопроводности эксл. плиты, Вт / (м · К)
1	0,0384	0,007	0,0127	73	60	51	142,63	5,24
2	0,0384	0,007	0,012	78,5	63	45	170,06	2,95
3	0,0384	0,007	0,013	80,5	64	44	181,03	3,06
4	0,0384	0,007	0,013	78,2	65	47	144,82	2,72
5	0,0384	0,007	0,0146	73,8	56	38	195,29	4,13
<b>6</b>	<b>0,0384</b>	<b>0,007</b>	<b>0,015</b>	<b>71,5</b>	<b>62</b>	<b>40</b>	<b>104,23</b>	<b>1,85</b>
7	0,0384	0,007	0,014	79,2	63	40	177,74	2,82

1 часть цемента (100 мл), одна часть песка (100 мл), пять частей ЗШО (500 мл), 2,5 части воды (250 мл). Наиболее теплопроводящим материалом с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 5,24$  Вт/мК оказался материал № 1, полученный из смеси с пропорцией 1:6:0:2,5. То есть 1 часть цемента (100 мл), шесть частей песка (600 мл), 2,5 части воды (250 мл).

#### Заключение

По результатам проведенного эксперимента можно заключить следующее. Идея авторов об использовании материала на основе ЗШО для стабилизации температурного режима внутри автодорожного покрытия путем минимизации тепла, оказывающего разрушающее действие на его массив, имеет право на существование, что доказано результатом проведенного эксперимента. Учитывая климатические особенности региона, а также проблему нестабильности автодорожного покрытия

ввиду наличия островной вечной мерзлоты, авторы предлагают использовать золошлаковые отходы для создания материала с низкой теплопроводностью по примеру полученного материала и продолжить эксперименты в заданном направлении исследований, в том числе с вовлечением в эксперимент прочих отходов горного, перерабатывающего и иных производств, образующихся в больших количествах.

Вовлекая ЗШО в создание защитного слоя откосов автодорог либо разделителя слоев дорожной одежды, мы получаем уникальный опыт создания материала, обеспечивающего максимальную продолжительность жизни автодорожного покрытия. Кроме того, решая проблему накопления отходов ТЭС в Забайкальском крае, организации, занимающиеся строительством автодорог общего и федерального значения, будут выполнять требования распоряжения Правительства РФ от 28 августа 2024 г. № 2330-р.

#### Список литературы

1. Минерально-сырьевой сектор азиатской России: как обеспечить социально-экономическую отдачу / Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение науки, Ин-т экономики и организации промышленного пр-ва Сибирского отд-ния Российской акад. наук; отв. ред. В.В. Кулешов. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2015. 351 с.
2. Усманова Л.И., Замана Л.В. Сравнительная эколого-гидрохимическая характеристика гидрозолошлакоотвалов теплоэлектростанций топливно-энергетического комплекса Восточного Забайкалья // Гео-сферные исследования. 2021. № 2. С. 87–100. DOI: 10.17223/25421379/19/8. EDN: FUHTRT.
3. Малышев Е.А., Афанасьева А.В. Энергетическая отрасль как основа развития Забайкальского края // Вестник Забайкальского государственного университета. 2012. № 1(80). С. 127–131. EDN: OORFXL.
4. Использование составов на основе золошлаковых отходов как теплоизоляционных материалов для автодорожных покрытий (часть 1) / С.В. Белокрылова, Е.Р. Парыгина, Д.А. Днепровская и др. // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: Материалы XXIV Международной научно-практической конференции. В 3 ч., Чита, 25–29 ноября 2024 года. Чита: Забайкальский государственный университет, 2024. С. 139–146. EDN: IJFVZY.
5. Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В. Защита федеральной дороги «Амур» (Чита – Хабаровск) от опасных инженерногеокриологических процессов и явлений // Инженерная геология. 2013. № 5. С. 40–47. EDN: RUXFKT.

6. Шнайдер В.А., Сиротюк В.В. Новая классификация типов укрепления откосов земляного полотна // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2011. № 3(21). С. 24–28. EDN: PBIJLZ.
7. Игнатев А.А. Добавки в асфальтобетон. Обзор литературы // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. № 1 (63). С. 14–30. DOI 10.52409/20731523\_2023\_1\_14. EDN: EXDWYX.
8. Летутин С.Б., Мизгирев Р.А. К вопросу о стабилизации земляного полотна на вечномёрзлых грунтах // Специальная техника и технологии транспорта. 2023. № 19. С. 86–94. EDN: TQAIUF.
9. Касаткин В.Н., Альжанов М.К., Куземаев С.Б. Перспективы утилизации золы уноса ТЭЦ и применения их компонентов для производства новых материалов // Инновации в технологиях и образовании : сборник статей участников IX Международной научно-практической конференции, Белово, 18–19 марта 2016 года. Ч. 2. Белово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2016. С. 238–342. EDN: WLDQRP.
10. Сульtimiова В.Д., Чмелева Л.О. О возможности получения теплоизоляционных материалов с улучшенными физико-химическими свойствами // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: сборник материалов X Международной научно-практической конференции, Москва, 17 мая 2022 года / Редколлегия: Л.К. Гуриева [и др.]. М.: Общество с ограниченной ответственностью «ИРОК», ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. С. 98–101. EDN: YQVWKO.
11. Мальчик А.Г., Литовкин С.В., Родионов П.В. Исследование технологии переработки золошлаковых отходов ТЭС при производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 60–64. EDN: VSYAKV.

#### References

1. Kuleshov V.V. (Ed.) *Mineral'no-syr'evoy sektor aziatskoy Rossii: kak obespechit' sotsial'no-ekonomicheskuyu otdachu* [The mineral resource sector of Asian Russia: how to ensure socio-economic returns]. Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Federal State Budgetary Educational Institution of Science, Institute of Economics and Organization of Industrial Production of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Novosibirsk, IEOOPP SB RAS, 2015. 351 p. (in Russ.)
2. Usmanova L.I., Zamana L.V. [Comparative ecological and hydrochemical characteristics of hydraulic ash and slag dumps of thermal power plants of the fuel and energy complex of Eastern Transbaikalia]. *Geosfernye issledovaniya* [Geospheric research], 2021, no. 2, pp. 87–100. (in Russ.) DOI: 10.17223/25421379/19/8. EDN: FUHTRT
3. Malyshev E.A., Afanasyeva A.V. [The energy industry as the basis for the development of the Trans-Baikal Territory]. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikal State University], 2012, no. 1(80), pp. 127–131. (in Russ.) EDN: OORFXL
4. Belokrylova S.V., Parygina E.R., Dneprovskaya D.A., Petrova A.S., Manikovsky P.M. [The use of compositions based on ash and slag waste as thermal insulation materials for road coverings (part 1)]. In: *Kulaginskije chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov: Materialy XXIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, v 3 ch., Chita, 25–29 noyabrya 2024 goda* [Kulaginsky readings: techniques and technologies of production processes: Materials of the XXIV International Scientific and Practical Conference. In 3 parts. Chita, November 25–29, 2024]. Chita, Transbaikal State University, 2024, part 2, pp. 91–96. (in Russ.)
5. Kondratiev V.G., Kondratiev S.V. [Protection of the Amur Federal road (Chita–Khabarovsk) from dangerous geocryological engineering processes and phenomena]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 2013, no. 5, pp. 40–47. (in Russ.) EDN: RUXFKT
6. Schneider V.A., Sirotyuk V.V. [A new classification of types of strengthening of slopes of the roadbed]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy], 2011, no. 3(21), pp. 24–28. (in Russ.) EDN: PBIJLZ
7. Ignatiev A.A. [Additives in asphalt concrete. Literature review]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2023, no. 1(63), pp. 14–30. (in Russ.) DOI: 10.52409/20731523\_2023\_1\_14. EDN: EXDWYX
8. Letutin S.B., Mizgirev R.A. [On the issue of stabilization of the roadbed on permafrost soils]. *Spetsial'naya tekhnika i tekhnologii transporta* [Special equipment and technologies of transport], 2023, no. 19, pp. 86–94. (in Russ.) EDN: TQAIUF
9. Kasatkin V.N., Alzhanov M.K., Kuzemaev S.B. [Prospects for utilization of fly ash from CHP plants and the use of their components for the production of new materials]. In: *Innovatsii v tekhnologiyakh i obrazovanii: sbornik statey uchastnikov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Belovo, 18–19 marta 2016 goda* [Innovations in technology and education: a collection of articles by participants of the IX International Scientific and Practical Conference, Belovo, March 18–19, 2016]. Belovo, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2016, part 2, pp. 238–342. (in Russ.) EDN: WLDQRP

10. Sultimova V.D., Chmeleva L.O. [On the possibility of obtaining thermal insulation materials with improved physico-chemical properties]. In: *Aktual'nye problemy obshchestva, ekonomiki i prava v kontekste global'nykh vyzovov: Sbornik materialov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 17 maya 2022 goda* [Actual problems of society, economics and law in the context of global challenges: A collection of materials of the X International Scientific and Practical Conference, Moscow, May 17, 2022]. Makhachkala, IROK Publ., Alef Publ., 2022, pp. 98-101. (in Russ.) EDN: YQVWKO

11. Malchik A.G., Litovkin S.V., Rodionov P.V. [Investigation of the technology of processing ash and slag waste from thermal power plants in the production of building materials]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2016, no. 3–1, pp. 60–64. (in Russ.) EDN: VSYAKV

**Информация об авторах:**

**Маниковский Павел Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Открытые горные работы», Горный факультет, Забайкальский государственный университет, Чита, Россия; manikovskiymp@yandex.ru

**Белокрылова Софья Владимировна**, лаборант-исследователь научно-учебной испытательной лаборатории «Цифровое горное дело и геоэкология», Горный факультет, Забайкальский государственный университет, Чита, Россия; sofabelokrylova@yandex.ru

**Сахнова Полина Максимовна**, лаборант-исследователь научно-учебной испытательной лаборатории «Цифровое горное дело и геоэкология», Горный факультет, Забайкальский государственный университет, Чита, Россия; polinasahnova445@gmail.com

**Зубакова Дарья Сергеевна**, лаборант-исследователь научно-учебной испытательной лаборатории «Цифровое горное дело и геоэкология», Горный факультет, Забайкальский государственный университет, Чита, Россия; daryalyulina01@gmail.com

**Зубаков Артём Андреевич**, лаборант-исследователь научно-учебной испытательной лаборатории «Цифровое горное дело и геоэкология», Горный факультет, Забайкальский государственный университет, Чита, Россия; artem.zubakov01@gmail.com

**Шабаетва Алина Дмитриевна**, лаборант-исследователь научно-учебной испытательной лаборатории «Цифровое горное дело и геоэкология», Горный факультет, Забайкальский государственный университет, Чита, Россия; alya\_shabaeva@mail.ru

**Information about the authors:**

**Pavel M. Manikovskiy**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Open-pit Mining, Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia; manikovskiymp@yandex.ru

**Sofya V. Belokrylova**, Research Assistant at the Scientific and Educational Testing Laboratory of Digital Mining and Geoecology, Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia; sofabelokrylova@yandex.ru

**Polina M. Sakhnova**, Research assistant at the Scientific and Educational Testing Laboratory of Digital Mining and Geoecology, Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia; polinasahnova445@gmail.com

**Daria S. Zubakova**, Research Assistant at the Scientific and Educational Testing Laboratory of Digital Mining and Geoecology, Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia; daryalyulina01@gmail.com

**Artyom A. Zubakov**, Research Assistant at the Scientific and Educational Testing Laboratory of Digital Mining and Geoecology, Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia; artem.zubakov01@gmail.com

**Alina D. Shabaeva**, Research Assistant at the Scientific and Educational Testing Laboratory of Digital Mining and Geoecology, Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia; alya\_shabaeva@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 11.11.2024, принята к публикации 15.11.2024.*

*The article was submitted 11.11.2024, approved after reviewing 15.11.2024.*