

*Н.Д. Шаванов<sup>1</sup>, Д.В. Бесполитов<sup>2</sup>, П.П. Панков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ПАРОВОЗНЫХ ШЛАКОВ В СОСТАВАХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

**Аннотация.** В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований характеристик, химического состава и особенностей строения паровозных шлаков, накопленных в результате эксплуатации ретропоезда, курсирующего по Кругобайкальской железной дороге (ст. Слюдянка, Иркутская область), с целью их утилизации в составах композиционных материалов для усиления земляного полотна железнодорожного пути. Выявлено, что паровозный шлак относится к категории непучинистых. Показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов Аэфф ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) находится в пределах допустимых значений и составляет  $242\pm 25$  Бк/кг, что позволяет применять паровозный шлак в строительстве без ограничений. Показано, что паровозный шлак по гидравлическим свойствам относится к инертным материалам, что потребует его модификации добавками различной природы.

**Ключевые слова:** озеро Байкал, Кругобайкальская железная дорога, паровозные шлаки, золошлаковые отходы, утилизация отходов, композиционные материалы

**Информация о финансовой поддержке.** Работа выполнена в рамках гранта ОАО «РЖД» для молодых ученых на проведение научных исследований, направленных на создание новой техники и технологий для применения на железнодорожном транспорте «Разработка полимерных композиционных материалов для теплоизоляции и усиления земляного полотна железнодорожного пути на слабом основании» (Договор № 5103671 от 26.12.2022 г.).

*N.D. Shavanov<sup>1</sup>, D.V. Bespolitov<sup>2</sup>, P.P. Pankov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation

## **STUDY OF THE POSSIBILITY OF UTILIZATION OF STEAM LOCOMOTIVE CINDER SLAGS IN THE COMPOSITES FOR STRENGTHENING ROADBED**

**Abstract.** This article presents the results of experimental studies of the characteristics, chemical composition and structural features of locomotive slag accumulated as a result of the operation of a retro train running along the Circum-Baikal Railway (Slyudyanka station, Irkutsk region), with the aim of their utilization in compositions of composite materials to strengthen the subgrade of the railway way. It was revealed that locomotive slag belongs to the category of non-porous. The indicator of the specific effective activity of natural radionuclides Aeff ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) is within the permissible range and is  $242\pm 25$  Bq/kg, which makes it possible to use locomotive slag in construction without restrictions. It is shown that the hydraulic properties of locomotive slag are inert materials, which will require its modification with additives of various nature.

**Keywords:** Lake Baikal, Circum-Baikal Railway, locomotive slag, ash and slag waste, waste disposal, composite materials

**Information about financial support.** The work was carried out within the framework of the Russian Railways grant for young scientists to conduct scientific research aimed at creating new equipment and technologies for use in railway transport "Development of polymer composite materials for thermal insulation and strengthening of the subgrade of the railway track on a weak foundation" (Agreement No. 5103671 dated December 26, 2022).

### **Введение**

В настоящее время сохранение уникальных экологических систем Байкальского региона и минимизация антропогенного воздействия, приводящего к деградации экосистемных функций [1, 2], являются актуальными задачами. Озеро Байкал, как объект Всемирного природного наследия, водоохранная зона и прилегающие к озеру особо охраняемые природные территории, составляют центральную экологическую зону

площадью 89165 км<sup>2</sup> [2]. Уникальность озера Байкал определяется наличием свыше 2628 подвидов и видов животных, а также 1085 видов растений [3, 4]. Состояние экосистемы озера является пред-метом научных исследований [5-8], а уникальная сокровищница природы выступает в качестве привлекательной туристской дестинации [9]. При этом, развитие туризма приводит к ухудшению экологической обстановки на прилегающих к Байкалу территориях [10-14].

Особым объектом притяжения туристов является ландшафтно-архитектурный комплекс «Кругобайкальская железная дорога» – памятник инженерного искусства и национальное достояние Российской Федерации [15, 16]. В 1950-е годы дорога была заброшена в результате закрытия основного движения поездов, в настоящее время она выступает в качестве активно развивающегося туристического объекта международного значения в рамках экономической зоны туристско-рекреационного типа «Ворота Байкала» [17, 18]. Протяженность однопутной неэлектрифицированной Кругобайкальской железной дороги составляет 89 км. Однодневные туристические туры по ней совершают Кругобайкальский экспресс и рельсовый автобус (тепловозы РА-1, РА-2), а также ретропоезд, пользующийся особой популярностью среди туристов.

Локомотивом ретропоезда, курсирующего с мая по ноябрь, является паровоз с паросиловой установкой, работающей на угле [15, 19]. Паровозы, отапливаемые антрацитами или тощими углями, оснащены зольниками для регулировки подачи воздуха, сбора продуктов сжигания угля (паровозных шлаков) и предотвращения их попадания на междупутье при открытых клапанах. Движение на паровозной тяге сопровождается необходимостью очистки зольника через каждые 100 км [20], что приводит к формированию отвалов паровозных шлаков. Данные об объемах накопленных паровозных шлаков отсутствуют и они не учтены в Федеральном классификационном каталоге отходов. При этом, продукты сжигания углей характеризуются особыми химическими и физическими свойствами и могут выступать ценным вторичным сырьем для строительной индустрии.

Цель работы заключалась в изучении состава и свойств паровозных шлаков (ретропоезд, Кругобайкальская железная дорога) для установления возможности их утилизации в составах композитов для усиления земляного полотна железнодорожного пути.

### **Материалы и методы**

Элементный анализ паровозного шлака проведен с привлечением метода рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре рентгеновском флуоресцентном BRUKER S4 PIONEER. Алюмосиликатный состав изучен методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре эмиссионном Optima 5300DV (Perkin Elmer), схема ICP95A.

Фазовый состав образцов изучали методом порошковой дифракции (рентгеновский дифрактометр D8 Advance BRUKER AXS, Ni-фильтр, CuK $\alpha$ , 40 мА, 40 кВ, шаг сканирования 0,02 ° с экспозицией 1 с, программа EVA Diffracplus, PDF-2).

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии (ДСК и ТГ) установлены термические особенности образцов (синхронный термоанализатор STA 449F1 NETZSCH, атмосфера аргона, 20 °С/мин, диапазон 30-1000 °С, программа NETZSCH Proteus Analysis, v 5.2.1).

Исследование микроструктуры образцов выполняли с помощью светового микроскопа ZEISS Axio Scope.A1 (галогенный осветитель проходящего света 100 Вт, 6-позиционная турель для установки светоделительных элементов, цветная цифровая 5-мегапиксельная камера ProgRes).

Удельную поверхность образцов определяли на приборе Товарова (постоянная прибора 29,91), влажность устанавливали по ГОСТ 8735-88, плотность – по ГОСТ 9758-2012. Стойкость шлакового щебня к силикатному и железистому распаду устанавливали по ГОСТ 9758-2012. Оценку морозоопасности образцов проводили посредством прибора УПГ-МГ4 «Грунт», при этом учитывали максимально неблагоприятные условия (ГОСТ 28622-2012).

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Аэфф) паровозного шлака изучена с учетом СанПиН 2.6.1.2523-09 и требований ГОСТ 30108-94. Оценку радиационной опасности образцов выполняли на спектрометре-радиометре гамма и бета-излучений РАДЭК МКГБ-01 и гамма спектрометре РАДЭК МКСП-01.

### Результаты и их обсуждение

С целью установления применимости паровозных шлаков ст. Слюдянка в составах композиционных материалов для усиления земляного полотна железнодорожного пути проведено исследование соответствия их состава и свойств требованиям ГОСТ 25592-2019.

Выявлено, что удельная поверхность частиц составила 240 м<sup>2</sup>/кг, что соответствует требованиям нормативных документов (норма – не менее 150 м<sup>2</sup>/кг). Влажность шлака – 0,68 %; насыпая, истинная и средняя плотность – 694, 1596 и 1360 кг/м<sup>3</sup>, соответственно. Полный остаток зольной фракции (< 0,315 мм) составил 22 %, стойкость к железистому и силикатному распаду – 7,67 и 40,00 %, соответственно.

Паровозные шлаки могут быть применены при получении дорожно-строительных композиционных материалов в качестве малоактивной гидравлической добавки. В связи с этим для данного материала определено содержание К<sub>2</sub>O, СаО, SO<sub>3</sub>, MgO и Na<sub>2</sub>O.

Установлен следующий алюмосиликатный состав паровозного шлака, ω, мас. %: 50,50 SiO<sub>2</sub>; 20,50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 9,00 С; 3,55 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,29 СаО; 1,73 MgO; 1,04 К<sub>2</sub>O; 0,41 TiO<sub>2</sub>; 0,40 SO<sub>3</sub>; 0,30 СаО<sub>св</sub>; 0,27 Na<sub>2</sub>O; 0,05 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,02 MnO; 10,00 – потери при прокаливании (п.п.п.).

Основные элементы пробы, ω, мас. %: 11,3 Al; 1,73 Са; 2,52 Fe; 0,82 К; 1,04 Mg; 0,01 P; 0,25 Ti; 0,164 S; 0,0101 Со; 0,0053 V; 0,044 Ва; 0,0035 Cr; 0,0193 Ni; 0,0054 Cu; 0,006 Zn; 0,0024 Ga; 0,0009 As; 0,0039 Rb; 0,0407 Sr; 0,0084 Y; 0,0336 Zr; 0,0026 Nb; 0,0027 Pb.

По гидравлическим свойствам паровозные шлаки являются инертными материалами (таблица 1).

Таблица 1

Показатели гидравлической активности паровозных шлаков

Показатели	Значение
Силикатный модуль $M_c$	2,09
Модуль основности $M_o$	0,08
Содержание $CaO_{своб}$ , мас. %	0,30
Содержание $CaO_{общ}$ , мас. %	2,29
Коэффициент качества $K$	0,48
Группа активности	инертные

Рентгенофазовый анализ паровозного шлака позволил установить, что в его состав входят: кварц SiO<sub>2</sub> (22 %), муллит 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub> (35 %), анортит CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (16 %), кристобалит SiO<sub>2</sub> (24 %), кордиерит Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(AlSi<sub>5</sub>O<sub>18</sub>) (3 %).

Данные термического анализа свидетельствуют о наличии на ДСК-кривой экзотермического эффекта при 665 °С (рис. 1), потеря веса (15,6 %) связана с остаточным окислением органических веществ, представляющих собой частицы угля, коксовые и полукоксовые остатки. Слабый эндотермический эффект с максимумом при 657 °С отвечает диссоциации карбонатов. Таким образом, на термограмме отмечается проявление процессов окисления органических веществ и разложения карбонатов.

На рисунке 2 показана микроструктура образца при различном увеличении. Выявлено, что паровозный шлак состоит из полидисперсных фракций крупных частиц неправильной формы с размерами 7,36-329,88 мкм.

Паровозные шлаки являются непучинистыми, показатель Аэфф (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) находится в пределах 242±25 Бк/кг, что позволяет их отнести к материалам 1 класса (ГОСТ 30108-94; НРБ-99/2009) и применять в строительстве без ограничений.

### Заключение

Отвал паровозного шлака, накопленного в результате очистки зольника паровоза репропоезда (ст. Слюдянка), является объектом накопленного вреда окружающей среде. Размещение отвала на берегу озера Байкал приводит к существенному негативному воздействию на уникальную экосистему озера. В этой связи ликвидация отвала посредством утили-

зации в составах композиционных материалов будет способствовать решению комплекса экологических проблем.

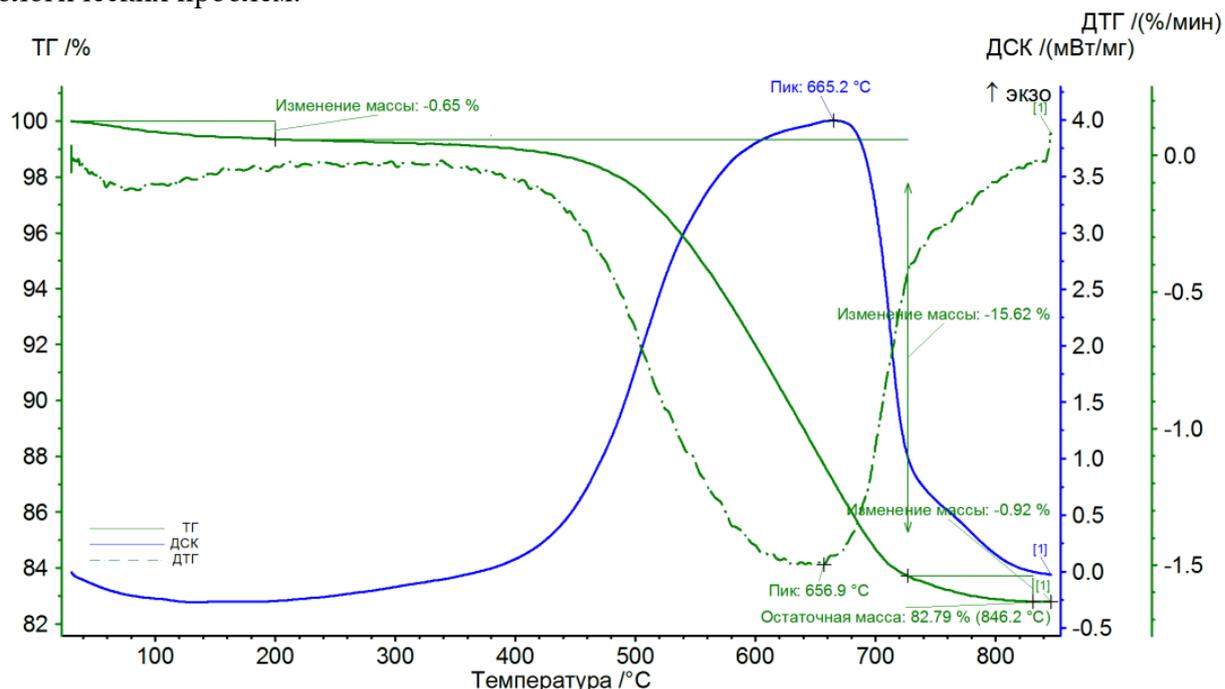


Рис. 1 Термограмма паровозного шлака в атмосфере воздуха

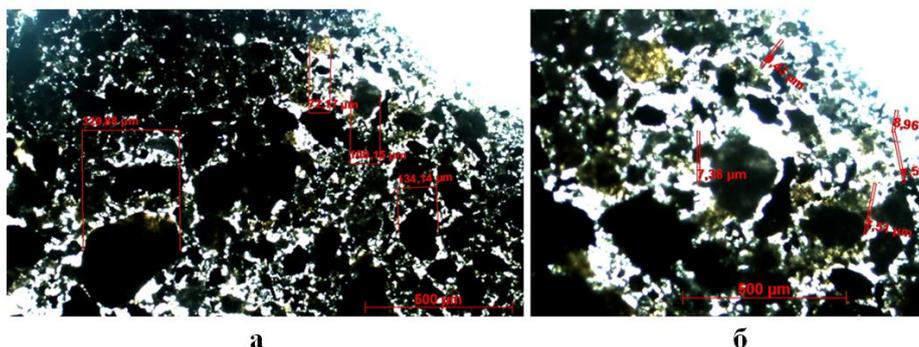


Рис. 2 Размеры частиц паровозного шлака при 25- (а) и 50-кратном (б) увеличении

Возможность утилизации паровозного шлака в составах материалов для усиления земляного полотна железнодорожного пути будет зависеть от химического и фазового состава, свойств и особенностей строения шлаков. Выявлено, что показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов в образцах паровозного шлака находится в пределах нормы (менее 370 Бк/кг), что позволяет утилизировать данный отход в дорожном строительстве без ограничений. Паровозный шлак по гидравлическим свойствам относится к инертным материалам, что не позволяет его использовать в качестве минерального вяжущего. Шлаки являются многофазными полиминеральными системами, поэтому при разработке способов их утилизации в составах дорожно-строительных материалов целесообразно уделить внимание связыванию частиц посредством введения стабилизирующих добавок различной природы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды / С.А. Бузмаков // Географический вестник. – 2012. – № 4 (23). – С. 46-50.
2. Коновалова Т.И. Уникальность геосистем и функциональное зонирование центральной экологической зоны оз. Байкал / Т.И. Коновалова // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2011. – Т. 4. – № 2. – С. 107-119.

3. Поздняков Ш.Р. Уникальные озера как объект научного интереса / Ш.Р. Поздняков, А.В. Измайлова, А.М. Расулова // Известия Русского географического общества. – 2020. – Т. 152. – № 3. – С. 17-31.
4. Тимошкин О.А. Озеро Байкал: разнообразие фауны, проблемы ее несмешиваемости и происхождения, экология и «экзотические» сообщества / О.А. Тимошкин // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск: Наука, 2001. Т. 1. кн. 1. С. 16-73.
5. Hampton S.E. Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia / S.E. Hampton, L.R. Izmet'eva, M.V. Moore, S.L. Katz, B. Dennis, E.A. Silow // *Global Change Biology*. – 2008. – Vol. 14. – P. 1947-1958.
6. Vladimirov I.N. The ecological potential of Baikal region's geosystems / I.N. Vladimirov // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 190. – P. 012017.
7. Kobanova G.I. Lake Baikal Ecosystem Faces the Threat of Eutrophication / G.I. Kobanova, V.V. Takhteev, O.O. Rusanovskaya, M.A. Timofeyev // *International Journal of Ecology*. – 2016. – Vol. 2016. – P. 6058082.
8. Бычков И.В. Институциональное обеспечение реализации системного подхода к мониторингу уникальной экосистемы озера Байкал / И.В. Бычков, И.И. Максимова, А.Н. Кузнецова // *География и природные ресурсы*. – 2015. – № 4. – С. 43-52.
9. Евстропьева О.В. Объекты притяжения туристов в Слюдянском районе иркутской области / О.В. Евстропьева, П.Л. Попов, А.А. Чернев, В.Г. Сараев // *Успехи современного естествознания*. – 2021. – № 3. – С. 49-55.
10. Pellinen V. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia / V. Pellinen, T. Cherkashina, M. Gustaytis // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 786. – P. 147441.
11. Semenov M.Yu. Assessing the Self-Purification Capacity of Surface Waters in Lake Baikal Watershed / M.Yu. Semenov, Yu.M. Semenov, A.V. Silaev, L.A. Begunova // *Water*. – 2019. – Vol. 11. – P. 1505.
12. Popovicheva O. Industrial and wildfire aerosol pollution over world heritage Lake Baikal / O. Popovicheva, E. Molozhnikova, S. Nasonov, V. Potemkin, I. Penner, M. Klemasheva et. al. // *Journal of Environmental Sciences*. – 2021. – Vol. 107. – P. 49-64.
13. Bilgaev A. Baikal Region (Russia) Development Prospects Based on the Green Economy Principles / A. Bilgaev, S. Dong, F. Li, H. Cheng, A. Tulohonov, E. Sadykova et. al. // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. – P. 157.
14. Bilgaev A. Assessment of the Current Eco-Socio-Economic Situation of the Baikal Region (Russia) from the Perspective of the Green Economy Development / A. Bilgaev, S. Dong, F. Li, H. Cheng, E. Sadykova, A. Mikheeva // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – P. 3767.
15. Бибаева А.Ю. Анализ структуры туристского потока в Слюдянский район Иркутской области / А.Ю. Бибаева // *Успехи современного естествознания*. – 2020. – № 7. – С. 61-69.
16. Фефелов И.В. Видовой состав и количество птиц на участке Кругобайкальской железной дороги Ангасольская-Баклань в июне 2008 и 2014 гг. / И.В. Фефелов // *Байкальский зоологический журнал*. – 2015. – № 1 (16). – С. 110-112.
17. Опекунова М.Ю. Рекреационные геоморфосистемы побережья Южного Байкаля / М.Ю. Опекунова, О.В. Евстропьева // *Успехи современного естествознания*. – 2022. – № 5. – С. 58-64.
18. Курашов Ю.Ю. Проблемы сохранения и использования объектов культурного наследия железных дорог / Ю.Ю. Курашов, Е.А. Маслова // *Академический Вестник УралНИИпроект РААСН*. – 2014. – № 1. – С. 35-40.
19. Косарева Н.В. Железнодорожный туризм как один из векторов устойчивого развития регионов России / Н.В. Косарева, Т.А. Адашова // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. – 2021. – № 2. – С. 61-65.

20. Хмелевский А.В. Паровоз (Устройство, работа и ремонт) / А.В. Хмелевский, П.И. Симушков. – М.: Транспорт, 1973. – 416 с.

## REFERENCES

1. Buzmakov S.A. [Anthropogenic transformation of environment], *Geograficheskij vestnik* [Geographical Bulletin], 2012, no 4 (23), pp. 46-50. (In Russ.)
2. Konovalova T.I. [The unique character of Geosystems and zoning of the central ecological zone of Lake Baikal], *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Earth Sciences»], 2011, vol. 4, no 2, pp. 107-119. (In Russ.)
3. Pozdnyakov Sh.R., Izmailova A.V., Rasulova A.M. [Unique Lakes as an Object of Scientific Interest], *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Regional Research of Russia], 2020, vol. 152, no 3, pp. C. 17-31. (In Russ.)
4. Timoshkin O.A. [Lake Baikal: diversity of fauna, problems of its immiscibility and origin, ecology and «exotic» communities], *Annotirovannyj spisok fauny ozera Bajkal i ego vodosbornogo bassejna* [Index of animal species in habiting Lake Baikal and its catchment area], 2001, vol. 1, pp. 16-73. (In Russ.)
5. Hampton S.E., Izmet'eva L.R., Moore M.V., Katz S.L., Dennis B., Silow E.A. Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia, *Global Change Biology*, 2008, vol. 14, pp. 1947-1958.
6. Vladimirov I.N. The ecological potential of Baikal region's geosystems, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 190, pp. 012017.
7. Kobanova G.I., Takhteev V.V., Rusanovskaya O.O., Timofeyev M.A. Lake Baikal Ecosystem Faces the Threat of Eutrophication, *International Journal of Ecology*, 2016, vol. 2016, pp. 6058082.
8. Bychkov I.V., Maksimova I.I., Kuznetsova A.N. [Institutional support for the implementation of a systematic approach to monitoring the unique ecosystem of Lake Baikal], *Geografiya i prirodnye resursy*, [Geography and natural resources], 2015, no 4, pp. 43-52. (In Russ.)
9. Evstropieva O.V., Popov P.L., Cherenev A.A., Sarajev V.G. [Objects of attraction for tourists in the Slyudyansky district of the Irkutsk region], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, [Modern Problems of Science and Education. Surgery], 2021, no 3, pp. 49-55. (In Russ.)
10. Pellinen V., Cherkashina T., Gustaytis M. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia, *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 786, pp. 147441.
11. Semenov M.Yu., Semenov Yu.M., Silaev A.V., Begunova L.A. Assessing the Self-Purification Capacity of Surface Waters in Lake Baikal Watershed, *Water*, 2019, vol. 11, pp. 1505.
12. Popovicheva O., Molozhnikova E., Nasonov S., Potemkin V., Penner I., Klemasheva M. et. al. Industrial and wildfire aerosol pollution over world heritage Lake Baikal, *Journal of Environmental Sciences*, 2021, vol. 107, pp. 49-64.
13. Bilgaev A., Dong S., Li F., Cheng H., Tulohonov A., Sadykova E. et. al. Baikal Region (Russia) Development Prospects Based on the Green Economy Principles, *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 157.
14. Bilgaev A., Dong S., Li F., Cheng H., Sadykova E., Mikheeva A. Assessment of the Current Eco-Socio-Economic Situation of the Baikal Region (Russia) from the Perspective of the Green Economy Development, *Sustainability*, 2020, vol. 12, pp. 3767.
15. Bibaeva A.Yu. [Analysis of the structure of the tourist flow to the Slyudyansky district of the Irkutsk region], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, [Modern Problems of Science and Education. Surgery], 2020, no 7, pp. 61-69. (In Russ.)
16. Fefelov I.V. [Species list and numbers of birds at the part of Circumbaikal railway between Angasol'skaya and Baklan' in June 2008 and 2014], *Bajkal'skij zoologicheskij zhurnal*, [Baikal zoological magazine], 2015, no 1 (16), pp. 110-112. (In Russ.)

17. Opekunova M.Yu., Evstropieva O.V. [Recreational geomorphosystems of the South Baikal coast], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, [Modern Problems of Science and Education. Surgery], 2022, no 5, pp. 58-64. (In Russ.)

18. Kurashov Y.Y., Maslova E.A. [The problems of preservation and maintenance of the railway heritage], *Akademicheskij Vestnik UralNIiproekt RAASN*, [Academic Bulletin UralNIiproekt RAASN], 2014, no 1, pp. 35-40. (In Russ.)

19. Kosareva N.V., Adashova T.A. [Railway tourism as one of the vectors of sustainable development of Russian regions], *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava*, [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law], 2021, no 2, pp. 61-65. (In Russ.)

20. Khmelevsky A.V., Simushkov P.I. [Steam locomotive (Device, work and repair)], *Moskva: Transport*, [Moscow: Transport], 1973, 416 p.

### **Информация об авторах**

*Шаванов Николай Дмитриевич* – ассистент, аспирант кафедры «Техносферная безопасность», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: shavanov.nikolay@mail.ru

*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

*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

### **Information about the authors**

*Shavanov Nikolay Dmitrievich* – Assistant, Postgraduate student of the Department of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: shavanov.nikolay@mail.ru

*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

*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