

УДК 628.477.7:625.8:69.003
DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-10-14-21

**УТИЛИЗАЦИЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА
С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**DISPOSAL OF LARGE-TONNED WASTE OF PRODUCTION WITH THE PURPOSE
OF OBTAINING ECONOMICALLY EFFECTIVE ROAD-BUILDING MATERIALS**



Н. А. Коновалова,
*Забайкальский институт
железнодорожного
транспорта, г. Чита
zabizht_engineering@mail.ru*

N. Konovalova,
*Transbaikal Railway Transport
Institute, Chita*



О. Н. Дабизжа,
*Забайкальский
государственный университет,
Забайкальский институт
железнодорожного
транспорта, г. Чита
dabiga75@mail.ru*

O. Dabizha,
*Transbaikal State University,
Transbaikal Railway Transport
Institute, Chita*



Е. В. Ярилов,
*Забайкальский институт
железнодорожного
транспорта, г. Чита
zabizht_engineering@mail.ru*

E. Yarilov,
*Transbaikal Railway Transport
Institute, Chita*



Е. А. Корякина,
*Забайкальский институт
железнодорожного
транспорта, г. Чита
zabizht_engineering@mail.ru*

E. Koryakina,
*Transbaikal Railway Transport Institute,
Chita*



П. П. Панков,
*Забайкальский институт
железнодорожного
транспорта, г. Чита
zabizht_engineering@mail.ru*

P. Pankov,
*Transbaikal Railway Transport Institute,
Chita*

Рассмотрен процесс утилизации крупнотоннажных отходов предприятий теплоэнергетики и добывающей промышленности Забайкальского края в дорожном строительстве, позволяющий снизить расход дорогостоящих материалов и решить комплекс острых экологических проблем. Разработаны составы экономически эффективных дорожно-строительных композиционных материалов на основе отсева дробления горных пород и золы уноса, модифицированных комплексной стабилизирующей добавкой. Изучены физические, физико-механические характеристики, химический состав исходного минерального сырья, вяжущего и образцов на их основе с учетом государственных стандартов на методы испытаний и технических требований. Определено, что оптимальное содержание портландцемента и золы уноса в образцах составляет 8 и 10 мас. % соответственно. Обнаружено, что увеличение содержания золы уноса в составе композита до 30 мас. % приводит к постепенному разуплотнению образцов и снижению их прочностных характеристик, в том числе морозостойкости. Доказано, что применение отсева Жипхегенского щебеночного завода и золы уноса ТЭЦ-2 позволяет значительно удешевить цену одного квадратного метра конструктивных слоев из разработанного композиционного материала. Установлено, что отходы ТЭЦ-2 (г. Чита) и Жипхегенского щебеночного завода (Забайкальский край) можно применять для получения морозостойких экономически эффективных материалов для дорожного строительства, которые соответствуют марке по прочности М 40 – М 60. Рассчитана стоимость одного квадратного метра конструктивных слоев дорожных одежд в зависимости от толщины слоя. В результате проведенного исследования сделан вывод, что композиционный материал на основе промышленных отходов Забайкальского края является более экономичным, чем другие традиционно используемые в дорожном строительстве материалы

Ключевые слова: дорожно-строительные материалы; композиционные материалы; промышленные отходы; золошлаковые отходы; отходы щебеночного производства; физико-механические свойства; морозостойкость; химический состав; стабилизирующие добавки; экономическая эффективность

The possibility of utilization of large-tonnage wastes of enterprises of heat and power industry, as well as mining industry of the Transbaikal region in road construction is shown, which allows reducing the cost of expensive materials and solving a complex of acute environmental problems. Compositions of economically effective road-building composite materials, based on screening of crushing of rocks, and fly ash, modified with a complex stabilizing additive, are developed. The physical, physical and mechanical characteristics, chemical composition of the initial mineral raw material, binder and samples, based on them, taking into account state standards for test methods and technical requirements, were studied. The optimal content of cement and fly ash in the samples is 8 and 10 wt. %, respectively. It was found that an increase in the fly ash content of the composite up to 30 wt. % leads to a gradual decompaction of the samples and a decrease in their strength characteristics, including frost resistance. The use of screening of the Zhiphegen crushed stone plant and fly ash of CHP-2 makes it possible significantly to reduce the price of a square meter of structural layers from the developed composite material. It is established that the waste of Cogeneration plant (Chita) and the Zhiphegen crushed stone plant can be used to obtain frost-resistant economically effective materials for road construction, which correspond to the grade of strength M 40-M 60. The cost per square meter of constructive layers of road clothes was calculated depending on the thickness of the layer. It is revealed that the application of the developed composite material on the basis of industrial waste of the Transbaikal region is much cheaper in comparison with traditional materials in road construction

Key words: road building materials; composite materials; industrial waste; ash and slag wastes; waste of crushed-stone production; physical and mechanical properties; frost resistance; chemical composition; stabilizing additives; economic efficiency

Введение. Широкомасштабное применение в дорожном строительстве традиционных каменных материалов сдерживается их дефицитом и высокой стоимостью. Одним из путей решения обозначенной проблемы является прямое использование многотоннажных отходов производства [1; 3–6; 8; 9], модифицированных стабилизирующими добавками различной природы. В результате деятельности предприятий в

отвалах накоплено около 1,5 млрд т золошлаковых отходов и более 120 млн м³ отсева дробления, что приводит к изменению рельефа и ухудшению экологической обстановки [2; 7; 10]. В связи с этим разработка составов экономически эффективных дорожно-строительных композиционных материалов на основе крупнотоннажных отходов производства представляется особо актуальной.

Цель работы: разработка экономически эффективных композиционных материалов с оптимальными для дорожного строительства свойствами на основе отходов щебеночного производства и золошлаковых материалов, модифицированных комплексной стабилизирующей добавкой, разработанной в научно-исследовательском проектно-технологическом бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг» Забайкальского института железнодорожного транспорта.

Материалы и методы исследования. В качестве исходных сырьевых материалов выбраны отсев гранитной фракции 0...5 мм по ГОСТ 8736-2014 Жипхегенского щебеночного завода (Забайкальский край) и зола уноса (ЗУ) ТЭЦ-2 (г. Чита), в качестве вяжущего компонента – портландцемент (ПЦ) марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б, изготовленный на Ангарском цементно-горном комбинате (Иркутская область). Характеристики отсева гранитной фракции Жипхегенского щебеночного завода приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

**Физико-механические показатели исследуемого отсева дробления /
Physical and mechanical properties of the screened crushing screening**

Показатели, единицы измерения / Indicators, units of measure		Фактическая величина показателя / Actual value indicator
Содержание пылевидных и глинистых частиц / Content of pulverized and clay particles		0,60
Содержание глины в комках, почвы, растительного слоя, других примесей / Clay content in lumps, soils, vegetable layer, other impurities	мас. % / wt. %	0,15
Содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы / Content of grains of lamellar and needle-shaped		5,10
Содержание зерен слабых пород / Content of grains of weak rocks		1,20
Удельная активность (Аэфф) естественных радионуклидов ²²⁶ Ra, ²³² Th, ⁴⁰ K / Specific activity (Aeff) of natural radionuclides ²²⁶ Ra, ²³² Th, ⁴⁰ K	Бк/кг / Bq / kg	298

Зола уноса ТЭЦ-2 (г. Чита) относится к типу С – среднезернистая, категории – непучинистая, содержит 47 % шлаковой составляющей и имеет удельную поверхность частиц 251 м²/кг. Величина удельной активности естественных радионуклидов ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, согласно ГОСТ 30108-94, составляет 248 Бк/кг, что позволяет без ограничений применять данные отходы теплоэнергетики в строительстве.

Химический состав золы уноса и вяжущего определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) с помощью спектрометра эмиссионного *Optima 5300DV* (167-403 нм) *Perkin Elmer*, США. Образцы предварительно растворяли в смеси кислот HCl, HNO₃, HClO₄ и HF. ИК-спектр регистрировали Инфракрасным Фурье-спектрометром SHIMADZU FTIR-8400S на таблетках с

КВг, приготовленных по стандартной методике. Термическую устойчивость образцов изучали методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии (ДСК и ТГ) в ИПРЭК СО РАН (г. Чита) с помощью синхронного термоанализатора STA 449F1 (фирма NETZSCH, Германия) с программным обеспечением Proteus Analysis (v 5.2.1). Образцы нагревали в платиновых тиглях в динамической атмосфере аргона со скоростью 10 °С/мин от 30 до 998 °С. Рентгенофазовый анализ (РФА) портландцемента выполняли методом порошковой дифракции в ИЗК СО РАН (г. Иркутск) на дифрактометре ДРОН-3.0, излучение – CuK_α, Ni-фильтр, U = 25 кВ, I = 20 мА, угловой диапазон: 2θ, ° = 3–55, скорость измерения – 1 °/мин.

Образцы получали по стандартной методике ГОСТ 23558-94. Дозировку сырьевых компонентов определяли методом

подбора. Физико-механические характеристики композитов изучали в соответствии с требованиями ГОСТ 23558-94 на образцах в возрасте 28 сут, подвергнутых полному водонасыщению.

При расчете стоимости одного квадратного метра конструктивных слоев дорожных одежд учитывали затраты на приобретение отсева, портландцемента и реактивов для синтеза комплексной стабилизирующей добавки.

Результаты исследования и их обсуждение. Для обеспечения морозостойкости дорожно-строительных композитов

имеют значение как содержание основных структурообразующих минералов портландцемента, так и его химический состав. Результаты ИСП-АЭС свидетельствуют, что портландцемент содержит следующие оксиды w , мас. %: 7,40 Al_2O_3 ; 40,80 CaO ; 4,20 Fe_2O_3 ; 3,90 MgO ; 27,90 SiO_2 ; 2,80 SO_3 .

Анализ результатов РФА портландцемента (рис. 1) показал, что в его состав входят алит Ca_3SiO_5 (5,95; 3,03; 2,97; 2,74; 2,18 Å), белит Ca_2SiO_4 (3,43; 2,88; 2,81; 2,28; 1,76 Å), портландит $Ca(OH)_2$ (3,19; 2,65 Å) и кварц SiO_2 (3,35; 2,44; 2,32; 2,21; 2,11; 1,82 Å).

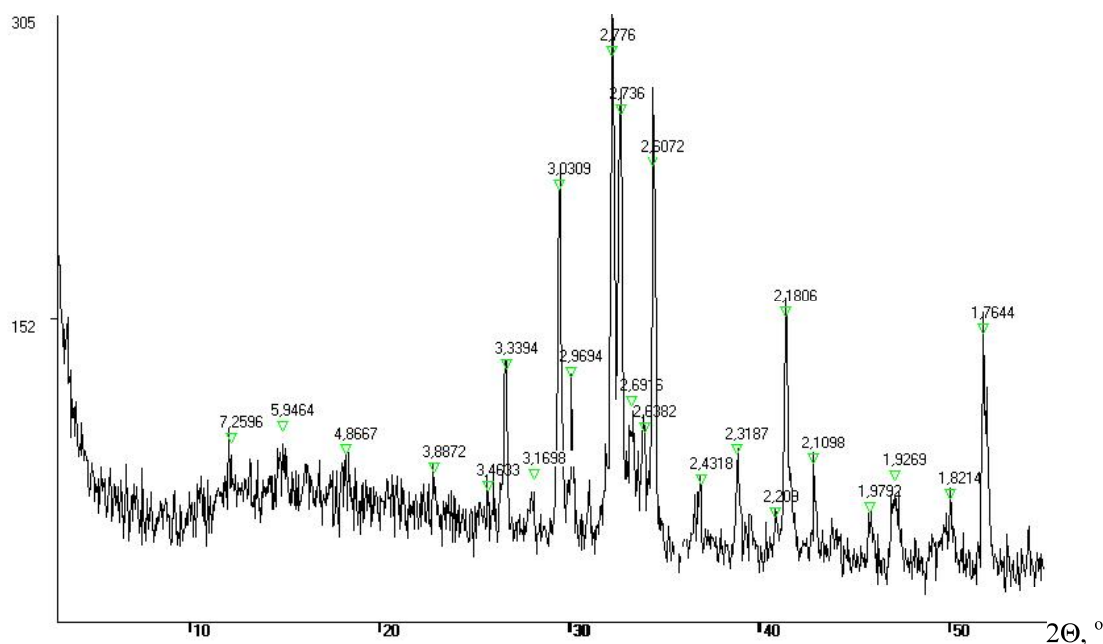


Рис. 1. Диффрактограмма портландцемента / Fig. 1. The diffractogram of Portland cement

Фазовый состав портландцемента подтверждают данные, полученные методом ДСК и ТГ (рис. 2).

Эндоэффект при 119 °С на ДСК-кривой обусловлен процессом дегидратации и сопровождается потерей массы 0,67 % на ТГ-кривой. Выявлено, что при температуре выше 400 °С происходит дегидратация $Ca(OH)_2$, которая достигает максимума при 464 °С. На дифференциальной ТГ-кривой наблюдается несимметричный экстремум при 688 °С, свидетельствующий

о переходе двухкальциевого силиката в γ -форму.

Исследуемая зола уноса представляет собой светло-серый порошок и имеет алумосиликатный состав: w , мас. %: 36,10 SiO_2 ; 10,20 Al_2O_3 ; 7,80 Fe_2O_3 ; 1,42 MgO ; 0,56 Na_2O ; 1,21 K_2O ; 0,41 TiO_2 ; 0,61 SO_3 ; 9,37 CaO ; 0,40 CaO_{cb} . Следовательно, данные отходы теплоэнергетики относятся к скрыто-активным и могут применяться в составе дорожно-строительных композитов в качестве наполнителя.

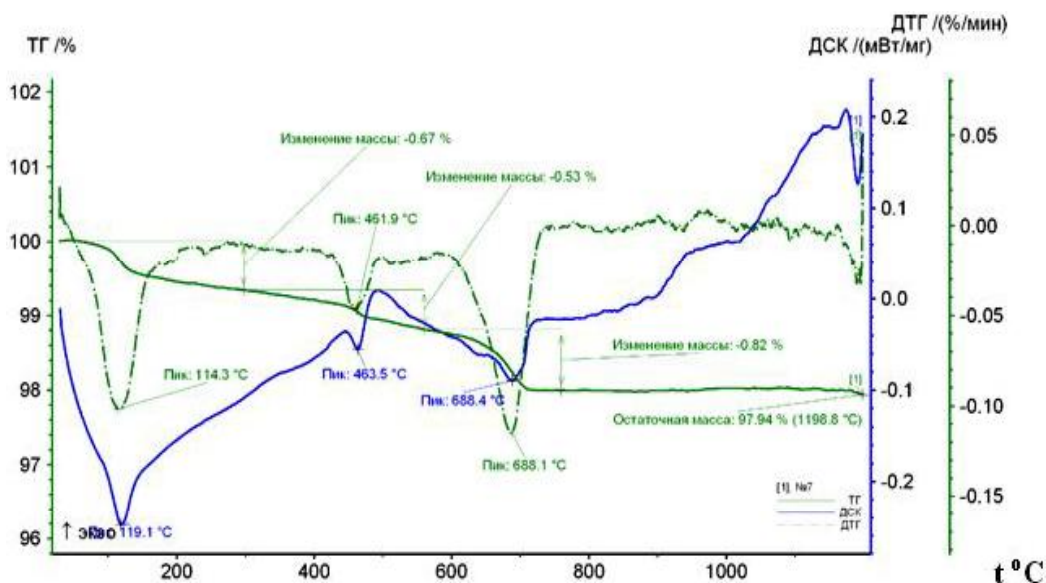


Рис. 2. Термограмма портландцемента при нагреве на воздухе /
 Fig. 2. The thermogram of Portland cement when heated in air

Согласно данным инфракрасной спектроскопии (рис. 3), зола уноса содержит кальцит, о чем свидетельствуют полосы поглощения (п.п.) с максимумами при

1454, 1435 и 876 см^{-1} , связанные с валентными и деформационными колебаниями группы CO_3^{2-} .

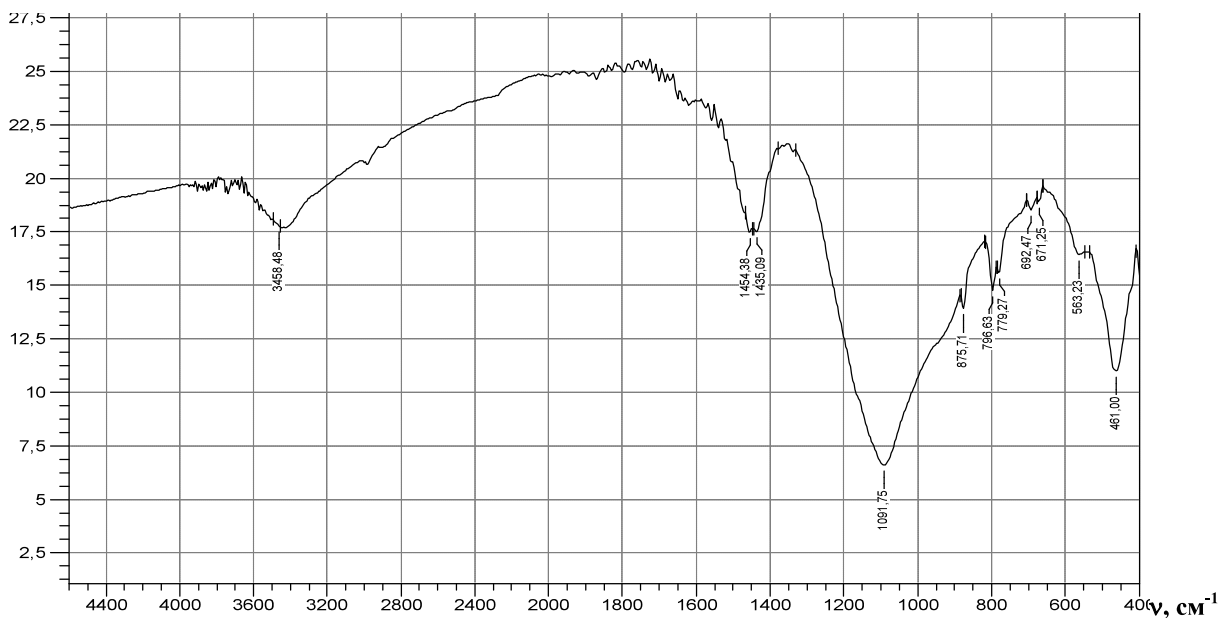


Рис. 3. ИК-спектр золы уноса T, % / Fig. 3. IR spectrum of fly ash T, %

Характерные п.п. с максимумами при 797, 779 и 692, 671 см^{-1} свидетельствуют о наличии в золе уноса кварца и кристоба-

лита соответственно. Полосы поглощения 3458 и 1092 см^{-1} отвечают валентным колебаниям групп OH и Si-O-Si(Al) , а гематиту

принадлежат п.п. с максимумами при 563 и 461 см⁻¹ (Fe-O).

Физико-механические характеристики образцов, в зависимости от содержания золы уноса и портландцемента, приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что оптимальное содержание портландцемен-

та и золы уноса в образцах составляет 8 и 10 мас. %, соответственно. Анализ полученных результатов показал, что физико-механические характеристики композитов, содержащих 10 и 8 мас. % вяжущего, незначительно отличаются друг от друга, однако удорожание материала экономически нецелесообразно.

Таблица 2 / Table 2

**Физико-механические характеристики композитов /
Physical and mechanical characteristics of composites**

Композиты / Composites	ω, мас. % ω / wt. %		R _{сж} , МПа / Rs, МПа	R _{изг} , МПа / Rig, МПа	Марки по морозостойкости / Grades on frost resistance
	ЗУ	ПЦ			
Отсев-ПЦ ₆ -ЗУ / Screening-PC ₆ -ZU	10	6	4,5	0,8	F 15
	20		3,2	0,5	
	30		2,1	0,4	
Отсев-ПЦ ₈ -ЗУ / Screening-PC ₈ -ZU	10	8	6,8	1,2	F 25
	20		4,8	0,8	
	30		2,6	0,4	
Отсев-ПЦ ₁₀ -ЗУ / Screening-PC ₁₀ -ZU	10	10	5,7	0,8	F 15
	20		4,3	0,8	
	30		3,4	0,4	

Обнаружено, что увеличение содержания золы уноса в составе композита до 30 мас. % приводит к постепенному разуплотнению образцов и снижению их прочностных характеристик, в т. ч. морозостойкости.

Как известно, стоимость (S) конструктивных слоев дорожной одежды, выполненных по традиционной технологии с применением асфальтобетона, достигает 4500 р/м². Применение отсева Жипхгенского щебеночного завода и золы уноса ТЭЦ-2 позволяет значительно удешевить цену одного квадратного метра конструктивных слоев из разработанного композиционного материала (рис. 4).

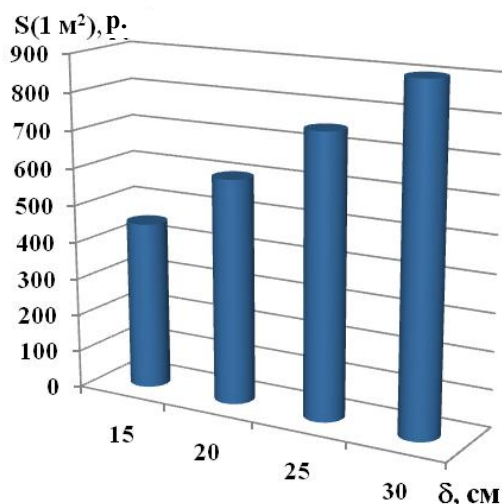


Рис. 4. Стоимость одного квадратного метра конструктивных слоев на основе композита Отсев-ПЦ₈-ЗУ в зависимости от их толщины /
Fig. 4. The cost per square meter of structural layers on the basis of the Screening-PC8-ZU composite, depending on their thickness

Заключение. Из полученных результатов следует, что композиционный материал на основе промышленных отходов Забайкальского края (отсев гранитной фракции, зола уноса) является более дешевым, чем традиционно используемые в дорожном строительстве материалы, что делает проведенную разработку экономически выгодной. Кроме того, прочностные

характеристики и морозостойкость композиционного материала на основе отсева гранитной фракции, содержащего 10 и 8 мас. % золы уноса и портландцемента и модифицированного комплексной стабилизирующей добавкой, можно рекомендовать к применению в дорожном строительстве в сложных геолого-климатических условиях северных регионов.

Список литературы

1. Балабанов В.Б., Николаенко В.Л. Применение зольных отходов в дорожном строительстве // Вестник ИрГТУ. 2011. № 6(53). С. 37–41.
2. Гаак В.К., Лебедев В.М., Шерстобитов М.С. Проблемы использования золошлаковых материалов тепловых электростанций // Омский научный вестник. 2017. № 2(152). С. 70–72.
3. Генкель А.В., Гришин И.А., Бурмистров К.В., Великанов В.С. Повышение эффективности производства щебня и способы применения отсевов дробления // Горная промышленность. 2015. № 6(124). С. 64–72.
4. Дмитриев В.Н., Трофимов К.С., Сорокин Ю.В. Об эффективности применения техногенных материалов в дорожном строительстве // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». 2010. № 1. С. 240–244.
5. Иванов В.В., Кованова Л.И., Кривошеев С.Г., Ушакова Н.А. Перспективы использования сухой золы уноса Рефтинской ГРЭС в дорожном строительстве // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». 2011. № 2. С. 200–206.
6. Кривошеев С.Г., Шаламова Е.Н. Применение золы уноса Рефтинской ГРЭС в технологиях дорожного строительства // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». 2012. № 3. С. 90–98.
7. Мавлиев Л.Ф., Буланов П.Е., Вдовин Е.А., Захаров В.В., Гимазов А.Р. Модификация дорожно-строительных материалов на основе отходов камнедробления, обработанных цементом, введением природного песка и метилсиликоната калия // Известия КГАСУ. 2016. № 1(35). С. 247–254.
8. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог с использованием техногенных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2011. № 1. С. 35–43.
9. Bolden J., Abu-Lebdeh T., Fini E. Utilization of recycled and waste materials in various construction applications // American Journal of Environmental Science. 2013. № 9(1). P. 14–24.
10. Mamta Mishra Use of Industrial Waste Materials in Road Construction // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2016. Vol. 4. Issue XI. P. 191–194.

References

1. Balabanov V. B., Nikolaenko V. L. *Vestnik IrGTU* (IrSTU Bulletin), 2011, no. 6(53), pp. 37–41.
2. Gaak V. K., Lebedev V. M., Sherstobitov M. S. *Omskiy nauchny vestnik* (Omsk Scientific Bulletin), 2017, no. 2(152), pp. 70–72.
3. Genkel A. V., Grishin I. A., Burmistrov K. V., Velikanov V. S. *Gornaya promyshlennost* (Mining Industry), 2015, no. 6(124), pp. 64–72.
4. Dmitriev V. N., Trofimov K. S., Sorokin Yu. V. *Aktualnye voprosy proektirovaniya avtomobilnyh dorog: Sb. nauch. tr. OAO «GIPRODORNII»* (Topical issues of highways' design: collected scientific works. OJSC GIPRODORNII), 2010, no. 1, pp. 240–244.
5. Ivanov V. V., Kovanova L. I., Krivosheev S. G., Ushakova N. A. *Aktualnye voprosy proektirovaniya avtomobilnyh dorog: sbornik nauchnyh trudov OAO «GIPRODORNII»* (Actual questions of highways' design: collected scientific works OJSC GIPRODORNII), 2011, no. 2, pp. 200–206.
6. Krivosheev S. G., Shalamova E. N. *Aktualnye voprosy proektirovaniya avtomobil'nyh dorog: sbornik nauchnyh trudov OAO «GIPRODORNII»* (Actual problems of highways' design: collected scientific works OJSC GIPRODORNII), 2012, no. 3. pp. 90–98.
7. Mavliev L. F., Bulanov P. E., Vdovin E. A., Zakharov V. V., Gimazov A. R. *Izvestiya KGASU* (News of KGASU), 2016, no. 1(35), pp. 247–254.
8. Pugin K. G., Yushkov V. S. *Transport. Transportnye sooruzheniya. EHkologiya* (Transport. Transport facilities. Ecology), 2011, no. 1, pp. 35–43.

9. Bolden J., Abu-Lebdeh T., Fini E. *American Journal of Environmental Science* (American Journal of Environmental Science), 2013, no. 9(1), pp. 14–24.

10. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)* (International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)), 2016, vol. 4, issue XI, pp. 191–194.

Коротко об авторах

Коновалова Наталия Анатольевна, канд. хим. наук, доцент, начальник научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия. Область научных интересов: химия элементоорганических соединений, высокомолекулярные соединения, строительные материалы и изделия, геотехнология
zabizht_engineering@mail.ru

Дабизжа Ольга Николаевна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры «Химия», Забайкальский государственный университет; ст. науч. сотрудник научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия. Область научных интересов: высокомолекулярные соединения, полимерные композиционные материалы, механоактивация, модификация цеолитсодержащих пород
dabizha75@mail.ru

Ярилов Евгений Витальевич, канд. экон. наук, директор, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экономика, дорожное строительство, геоэкология
zabizht_engineering@mail.ru

Корякина Елена Анатольевна, канд. биол. наук, доцент кафедры «Научно-инженерные дисциплины», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геоэкология, геотехнология
zabizht_engineering@mail.ru

Панков Павел Павлович, мл. науч. сотрудник научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия. Область научных интересов: строительные материалы и изделия, геотехнология, геоэкология
zabizht_engineering@mail.ru

Briefly about the authors

Nataliya Konovalova, candidate of chemical sciences, assistant professor, head of Research and Design Bureau «Zabizht-Engineering», Transbaikal Railway Transport Institute, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: chemistry organo-element compound, high-molecular compound, building materials and products, geotechnology

Olga Dabizha, candidate of chemical sciences, associate professor, Chemistry department, Transbaikal State University, senior research worker, Research and Design Bureau «Zabizht-Engineering», Transbaikal Railway Transport Institute, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: high-molecular compounds, polymer composite materials, mechano-activation, modification of zeolite-containing rocks

Evgeniy Yarilov, candidate of economic sciences, director, Transbaikal Railway Transport Institute, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: economy, road construction, geoecology

Elena Koryakina, candidate of biological sciences, associate professor, Scientific and Engineering Disciplines department, Transbaikal Railway Transport Institute, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: geoecology, geotechnology

Pavel Pankov, junior research worker, Research and Design Bureau «Zabizht-Engineering», Transbaikal Railway Transport Institute, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: building materials and products, geoecology, geotechnology

Образец цитирования

Коновалова Н. А., Дабизжа О. Н., Ярилов Е. В., Корякина Е. А., Панков П. П. Утилизация крупнотоннажных отходов производства с целью получения экономически эффективных дорожно-строительных материалов // Вести. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 10. С. 14–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-10-14-21.

Konovalova N., Dabizha O., Yarilov E., Koryakina E., Koryakina P. Disposal of large-tonned waste of production with the purpose of obtaining economically effective road-building materials // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 10, pp. 14–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-10-14-21.

Дата поступления статьи: 24.10.2017 г.
Дата опубликования статьи: 31.10.2017 г.