

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ENVIRONMENTAL DEFENCE

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-1-82-91

УДК 504.05:691

Научная статья / Research article

Минимизация воздействия отходов щебеночного производства на окружающую среду путем их вовлечения в составы дорожно-строительных материалов

Н.А. Коновалова[✉], П.П. Панков, Д.В. Бесполитов

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
Российская Федерация, 672040, Чита, ул. Магистральная, д. 11*

[✉] zabizht_engineering@mail.ru

Аннотация. Рассмотрено воздействие Талданского щебеночного завода и отходов, образующихся в процессе его деятельности, на окружающую среду. На отвальных массивах общей площадью 600 га накоплено около 2,9 млн т отсевов дробления горных пород. Поэтому ликвидация накопленного вреда окружающей среде, возникшего за долгие годы функционирования завода, является актуальной задачей. Одно из технологических решений ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде, основанное на физико-химическом воздействии на отходы, – стабилизация, или искусственное камнеобразование. Вовлечение отсевов дробления в составы дорожных цементогрунтов (искусственных каменных материалов) позволит решить комплекс острых экологических проблем за счет их крупнотоннажного прямого использования. Применение отсевов дробления в дорожном строительстве будет способствовать рациональному и экономически эффективному использованию природного минерального сырья, так как данный процесс не повлечет за собой увеличение затрат на его добычу и переработку. Комплексом современных методов (атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия) изучены химический, фазовый состав и свойства отсева дробления для обоснования возможности его утилизации в составах цементогрунтов. Показано, что введение 8 мас. % минерального вяжущего и стабилизирующей добавки полимерной природы «Элемент» (1, 5, 10 мас. %) позволяет получить цементогрунты с маркой прочности М100.

Ключевые слова: отходы щебеночного производства, отсев дробления, антропогенное воздействие, объекты накопленного вреда окружающей среде, утилизация отходов, дорожный цементогрунт, стабилизирующая добавка

История статьи: поступила в редакцию 20.02.2020; принята к публикации 20.11.2020.

Для цитирования: Коновалова Н.А., Панков П.П., Бесполитов Д.В. Минимизация воздействия отходов щебеночного производства на окружающую среду путем их вовлечения в составы дорожно-строительных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 1. С. 82–91. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-82-91>

Minimization of the impact of rubble production wastes on the environment by their involvement in the compositions of road-building materials

Nataliya A. Konovalova✉, Pavel P. Pankov, Dmitry V. Bespolitov

*Trans-Baikal Institute of Railway Transport,
11 Magistralnaya St, Chita, 672040, Russian Federation*

✉ zabizht_engineering@mail.ru

Abstract. The impact of Taldan crushed stone plant and wastes formed in process of its activity on the environment is considered. About 2.9 million tons of siftings of rock grinding were accumulated in dump massifs with a total area of 600 hectares. Therefore, elimination of accumulated harm to the environment that has arisen over many years of operation of Taldan crushed stone plant is the actual task. One of the technological solutions of liquidation of objects of accumulated harm to the environment based on physicochemical impact on wastes is stabilization or artificial stone formation. Drawing of siftings of rock in soil concrete compositions (artificial stone materials) allows to solve complex of acute environmental problems due to their large-tonnage direct use. The use of siftings of rock in road building will contribute to the rational and cost-effective use of natural mineral raw materials, since this process will not entail an increase in the costs of its extraction and processing. A set of modern methods (atomic-emission spectrometry with inductively coupled plasma, scanning electron microscopy, X-ray phase analysis, infrared spectroscopy) were used to study the chemical, phase composition and properties of siftings of rock to substantiate the possibility of its utilization in the composition of soil concrete. It is shown that the introduction of an 8 wt. % of mineral binder and polymer stabilizing additive “Element” (1, 5, 10 wt. %) allows to get soil concrete with a mark of strength M100.

Keywords: rubble production wastes, sifting of rock, anthropogenic impact, objects of accumulated environmental damage, utilization of wastes, soil concrete, stabilizing additive

Article history: received 20.02.2020; revised 20.11.2020.

For citation: Konovalova NA, Pankov PP, Bespolitov DV. Minimization of the impact of rubble production wastes on the environment by their involvement in the compositions of road-building materials. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(1):82–91. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-82-91>

Введение

На долю горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности приходится до 80 % всех крупнотоннажных отходов [1], которые не пригодны для сельскохозяйственного использования, занимают значительные площади, приводят к ухудшению экологической обстановки на прилегающих территориях [2–4]. Добыча, транспортирование, первичная переработка

минерального сырья влекут нарушение структуры и целостности экосистем, изменение рельефа, образование провалов и проседание земной поверхности, пылеобразование, шумы, загрязнение химическими веществами, иссушение почвенно-грунтового покрова [5–9].

При переработке горных пород на щебеночных заводах России ежегодно образуется до 90 млн м³ отсеков дробления, отвалы которых занимают значительные площади плодородных земель и нарушают сбалансированное состояние в экосистемах [10]. Горные предприятия платят налог за использование земель, на которых расположены отвалы отсеков дробления, и, как правило, вынуждены включать данные затраты в себестоимость выпускаемой продукции [11; 12]. Техногенные месторождения таких отходов приводят к пылению, изменению рельефа, а также нарушают гидрогеологические и эколого-геологические условия на территории их размещения [13].

Вместе с тем утилизация крупнотоннажных отходов горнопромышленных предприятий в США и Европе достигает 85–90 % [14]. В России годовой объем реализации таких отходов не превышает 4 %, что связано с их наличием практически на всех предприятиях добывающей и перерабатывающей промышленности, а также с затратами на транспортировку и, соответственно, с ростом цен на них [15]. Утилизация отсеков является серьезнейшей проблемой предприятий, производящих щебень, поскольку выход отсеков дробления может составлять до 40 % от объема товарного щебня [16].

В научной литературе показано, что основной отраслью, применяющей отсеки дробления горных пород, является строительная [17–19]. Однако авторы [19] полагают, что утилизация отсеков в строительной индустрии сдерживается содержанием пылевидных частиц (до 25 %) и формой зерен. Классификация отсеков по фракциям является энергоемкой, а следовательно, дорогостоящей [16]. Производители строительных материалов отдают предпочтение первичным природным материалам, поэтому ресурсный потенциал отходов не достаточно полно используется [20]. Вместе с тем отсеки дробления обладают ресурсным потенциалом, вовлечение которого в производство дорожных цементогрунтов может значительно сократить использование первичного минерального сырья, особенно в тех регионах Российской Федерации, где дефицит и высокая стоимость кондиционного минерального сырья является основной причиной удорожания строительства.

Цель исследования заключается в анализе экологической обстановки на территории Талданского щебеночного завода и разработке способа утилизации отсеков дробления в составах дорожных цементогрунтов.

Материалы и методы

Талданский щебеночный завод, основанный в 1981 г., находится на территории поселка Талдан (Сковородинский район) в 2 км к юго-западу от станции Талдан Забайкальской железной дороги (рис. 1). Имеется подъездной железнодорожный путь протяженностью 4 км до погрузочного пункта щебеночного завода. Площадь Сковородинского района составляет 20,5 тыс. м², население – 33 000 человек. На территории района расположен комплексный Урушинский заказник, площадь которого 30 000 га, а также памятник природы – Игнашинский минеральный источник. По территории протекают реки Амур, Урка, Омутная, Уруша.



Рис. 1. Талданский щебеночный завод

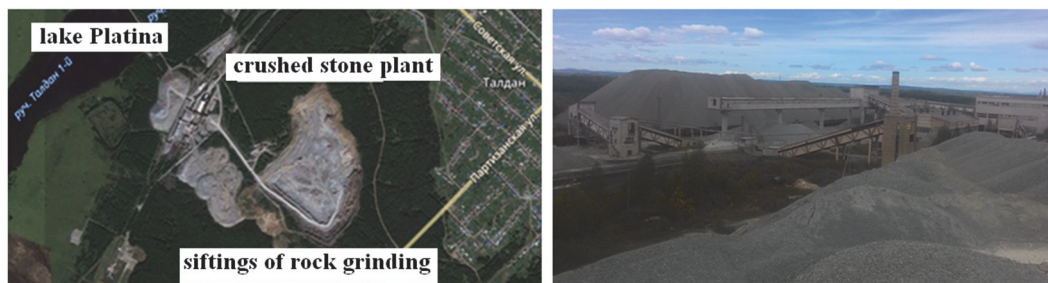


Figure 1. Taldan crushed stone plant

Талданский щебеночный завод с 2008 г. является филиалом ОАО «Первая нерудная компания» (ОАО «ПНК»), основанным на базе имущества ОАО «Российские железные дороги». ОАО «ПНК» – одна из крупнейших компаний, осуществляющих добычу и переработку нерудных полезных ископаемых с производительностью около 17 млн м³ в год. Проектная мощность Талданского щебеночного завода составляет 780 000 м³ щебня в год. Щебеночный завод занимается разработкой месторождения порфиристов и туфов, осуществляя собственными силами буровзрывные работы. Основным потребителем продукции завода является Забайкальская железная дорога – филиал ОАО «РЖД», а также предприятия строительной отрасли Забайкальского края и Амурской области.

Проведение предприятием открытых горных работ сопровождается формированием отвалов и нарушением значительных земельных ресурсов, причем негативному воздействию подвергаются не только земли и водные ресурсы в пределах карьера, но и территории, занимаемые под внешние отвальные массивы (рис. 2). Рядом с заводом и отвалом отсевов расположено озеро Платина и ручей Талдан (рис. 1).

Рентгенофазовый анализ отсева дробления и образцов на его основе выполняли методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Германия). ИК-спектры регистрировали инфракрасным Фурье-спектрометром SHIMADZU FTIR-8400S. Химический состав исходного минерального сырья определяли атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) с помощью спектрометра эмиссионного Optima 5300DV (167–403 нм) PerkinElmer, США. Образцы предварительно растворяли в смеси кислот HCl, HNO₃, HClO₄ и HF. Микроструктуру образцов исследовали растровым электронным микро-

скопом JSM-6510LV·JEOL (Япония) с системой микроанализа – энергодисперсионным рентгеновским спектрометром модели INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания). Тонкий слой платины на непроводящий образец напыляли посредством установки JFC-1600 (Великобритания).



Рис. 2. Отвальные массивы отсевов дробления
Figure 2. Dump massifs of sifting of rock

Цементогрунт получали согласно ГОСТ 23558–94 с применением стабилизирующей добавки полимерной природы «Элемент» (ТУ 5775-001-01107272-2017). Дозировку исходных сырьевых компонентов определяли методом подбора. Физико-механические характеристики образцов цементогрунта в возрасте 28 сут изучали по ГОСТ 23558–94 на образцах, подвергнутых полному водонасыщению.

Результаты и обсуждение

На отвальных массивах Талданского щебеночного завода общей площадью 600 га накоплено около 2,9 млн т отсевов дробления. Нарушенные земли становятся очагами загрязнений воздуха, почв, грунтовых и поверхностных вод. Все это приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий жизни населения, гидрологического, гидрогеологического режимов окружающей местности и, как следствие, снижению урожайности сельскохозяйственных культур, гибели растений на прилегающих к горному объекту территориях. Применение буровзрывного способа разупрочнения вскрышного слоя является одним из самых вредных по воздействию на окружающую среду. Взрывные работы вызывают загрязнение атмосферного воздуха пылью и газами, приводят к нарушению почвенного покрова, увеличению трещиноватости горных пород, а также исчезновению грунтовых вод. Пылегазовые выбросы создают ощутимые отрицательные эффекты в связи с осаждением пыли в жилых районах и на сельскохозяйственных угодьях. При этом нагрузка на атмосферу в момент проведения взрыва является значительной даже на большом расстоянии от источника. Загрязнение атмосферы пылью происходит также при транспортировании, переработке минерального сырья и формировании отвалов. Степень пыления отвалов зависит от влажности материала, скорости ветра и высоты отвала. В почвах, находящихся под отвалами, происходит геохимическая трансформация, приводящая, как правило, к разрушению почвенных коллоидов, нарушению почвенного поглощающего комплекса, увеличению подвижности органического вещества. Неблагоприятное воздействие на атмосферу оказывает карьерная техника, ав-

тотранспорт и другая вспомогательная техника. Увеличение загазованности и запыленности воздуха может оказывать фиброгенное и раздражающее действие на организм человека и способствовать повышению уровня заболеваемости сотрудников предприятия и населения, проживающего в данном районе, пылевыми бронхитами, силикозом и др., а также приводить к нарушению целостности и естественной структуры ландшафтов, эстетической привлекательности памятников природы, потере продуктивности земель.

Анализ технологических решений, применяемых для ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде, показал эффективность физико-химических методов, таких как затвердевание/стабилизация, промывка почвы, сорбция и фильтрация. Затвердевание/стабилизация (искусственное камнеобразование) является одним из самых перспективных направлений для решения экологических проблем. Быстрая утилизация отсевов дробления Талданского щебеночного завода возможна при их введении в состав цементогрунтов (искусственных каменных материалов), применяемых при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд, оснований, фундаментов зданий и сооружений, площадок различного назначения. Поскольку эффективность применения данного метода в значительной степени зависит от понимания процессов структурообразования цементогрунта, то в первую очередь необходимо определить состав и свойства исходного минерального сырья.

Отсев дробления фракции 0–5 мм относится к типу горной породы – изверженные, интрузивные (андезитодацитовые) порфириды, туфы. Характеристики отсева дробления: насыпная плотность – 1397 кг/м³; содержание пылевидных и глинистых частиц – 7,3 %; модуль крупности – 2,3 ед. Данные, полученные методом растровой электронной микроскопии, показывают, что исследуемый отсев неоднороден по своему дисперсному составу и содержит зернистые частицы неправильной формы размером менее 1 мм. Величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) составляет 110 Бк/кг, следовательно, отсев дробления можно применять в строительной индустрии без ограничений.

Химический состав отсева дробления, ω, %: 0,12 MnO; 0,18 P₂O₅; 0,66 TiO₂; 2,36 K₂O; 2,59 Na₂O; 5,01 MgO; 5,79 Fe₂O₃; 8,81 CaO; 13,90 Al₂O₃; 49,6 SiO₂; потери при прокаливании – 9,18; примеси микроэлементов – 1,80. Рентгенофазовый анализ (РФА) отсева показал, что в его состав входят кварц SiO₂ (4,26; 3,35; 2,45 Å), полевые шпаты NaAlSi₃O₈ (4,04; 3,19; 2,99 Å), хлорит (Mg, Al)₆(Si, Al)₄O₁₀(OH)₈ (7,14; 3,56; 2,85 Å) кальцит CaCO₃ (3,77; 3,03; 2,45 Å), доломит CaMg(CO₃)₂ (2,90; 1,79 Å).

Анализ результатов РФА портландцемента показал, что в его состав входят алит Ca₃SiO₅ (5,95; 3,03; 2,97; 2,74; 2,18 Å), белит Ca₂SiO₄ (3,43; 2,88; 2,81; 2,28; 1,76 Å), портландит Ca(OH)₂ (3,19; 2,65 Å) и кварц SiO₂ (3,35; 2,44; 2,32; 2,21; 2,11; 1,82 Å). По результатам АЭС-ИСП, базовый химический состав портландцемента, ω, мас. %: 6,75 Al₂O₃; 36,55 CaO; 4,41 Fe₂O₃; 4,04 MgO; 27,90 SiO₂; 2,80 SO₃.

Таким образом, исходное минеральное сырье можно отнести к многофазным полиминеральным системам, поэтому при их модификации стабилизирующей добавкой «Элемент» следует уделить внимание омоноличиванию мелкораздробленных частиц.

В образцах цементогрунта варьировали массовые доли портландцемента (6, 8, 10 мас. %) и стабилизирующей добавки «Элемент» (1, 5, 10 мас. %). Экспериментально установлено, что оптимальное содержание портландцемента составляет 8 мас. %. Введение в состав стабилизирующей добавки 1, 5, 10 мас. % позволяет получить морозостойкие образцы с прочностью при сжатии 6,29; 13,13 и 14,30 МПа, а также прочностью при изгибе 1,52; 1,98 и 2,56 МПа соответственно. Полученные цементогрунты соответствуют марке прочности М60–М100, тогда как контрольные образцы, не содержащие добавку «Элемент», имеют марку М20 и характеризуются низкой морозостойкостью. Повышение физико-механических характеристик образцов может свидетельствовать об активном участии стабилизирующей добавки в процессе структурообразования. На рис. 3 приведены данные инфракрасной спектроскопии (ИКС) образцов цементогрунта с различным содержанием добавки «Элемент» (1, 5, 10 мас. %), а также дифрактограмма образца с максимальными прочностными характеристиками, содержащего 10 мас. % стабилизирующей добавки.

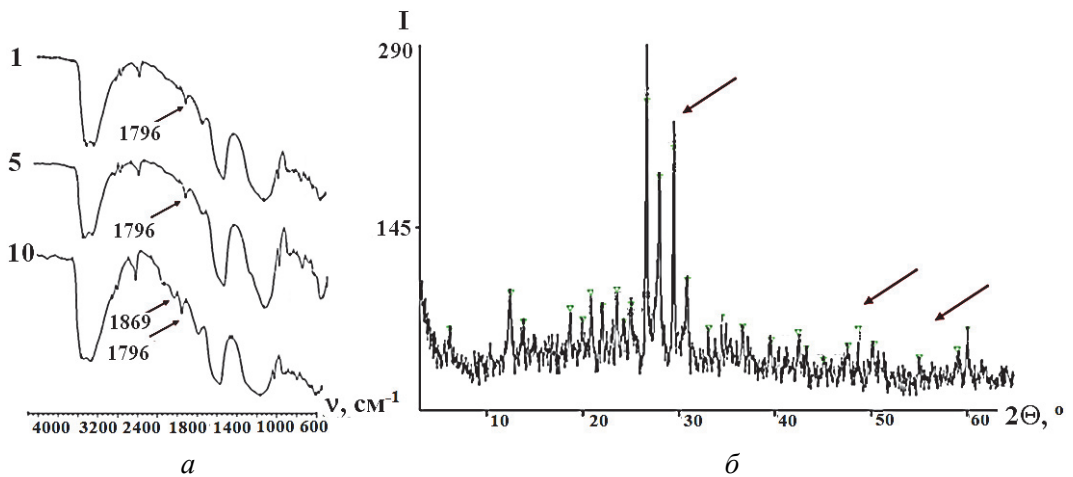


Рис. 3. ИК-спектры цементогрунтов (а) и дифрактограмма образца с долей стабилизатора 10 мас. % (б)
Figure 3. IR spectrum of soil concrete (a) and a diffractogram of a sample with a stabilizer fraction of 10 wt. % (б)

Выявлено, что увеличение содержания добавки «Элемент» приводит к усилению гидратации (полосы поглощения с максимумами при 3620 и 3420 cm^{-1}), а также появлению дополнительных полос поглощения в ИК-спектрах при 1869 cm^{-1} и увеличению интенсивности полос поглощения при 1796 cm^{-1} , относящейся к валентным колебаниям группы $\text{C} = \text{O}$, входящей в структуру стабилизирующей добавки полимерной природы. Данные РФА образца с максимальными прочностными характеристиками свидетельствуют о протекании процесса карбонизации, что подтверждается увеличением содержания CaCO_3 (3,0298; 1,8717; 1,6330 Å).

Таким образом, механизм действия стабилизирующей добавки включает процессы гидратации и карбонизации поверхности силикатных минералов, препятствующей выщелачиванию гидроксида кальция.

Заключение

Талданский щебеночный завод и образуемые в ходе его деятельности отвальные массивы отсевов дробления горных пород оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Это приводит к ухудшению здоровья человека, изменению природных условий обитания водной флоры и фауны, загрязнению подземных и поверхностных вод, изменению рельефа местности, снижению плодородности почв, изменению микроклимата и мн. др.

Перспективным способом ликвидации отвалов отсева дробления (объектов накопленного вреда окружающей среде) является их вовлечение в составы дорожных цементогрунтов с применением физико-химического метода стабилизации (искусственного камнеобразования). Выявлено, что исходное минеральное сырье относится к многофазным полиминеральным системам, поэтому их модификация стабилизирующей добавкой полимерной природы «Элемент» позволяет получить композиты с маркой прочности М60–М100.

Список литературы

- [1] Худякова Л.И., Войлошников О.В., Кислов Е.В. Пути повышения рационального природопользования на примере Северо-Байкальского рудного района // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2011. Т. 4. № 2. С. 155–161.
- [2] Matinde E., Simate G.S., Ndlovu S. Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2018. Vol. 118. Issue 8. Pp. 825–844.
- [3] Kasemodel M.C., Sakamoto I.K., Varesche M.B.A., Rodrigues V.G.S. Potentially toxic metal contamination and microbial community analysis in an abandoned Pb and Zn mining waste deposit // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 675. Pp. 367–379.
- [4] Размахнин К.К., Блиновская Я.Ю. Геоэкологические аспекты функционирования природно-технических систем при переработке цеолитсодержащих пород // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2018. Т. 5. С. 183–187.
- [5] Brooks S.J., Escudero-Onate C., Lillicrap A.D. An ecotoxicological assessment of mine tailings from three Norwegian mines // Chemosphere. 2019. Vol. 233. Pp. 818–827.
- [6] Krechetov P., Chernitsova O., Sharapova A., Terskaya E. Technogenic geochemical evolution of chernozems in the sulfur coal mining areas // Journal of Soils and Sediments. 2019. Vol. 19. Pp. 3139–3154.
- [7] Shi P., Zhang Y., Hu Z., Ma K., Wang H., Chai T. The response of soil bacterial communities to mining subsidence in the west China Aeolian sand area // Applied Soil Ecology. 2017. Vol. 121. Pp. 1–10.
- [8] García-Lorenzo M.L., Marimón J., Navarro-Hervás M.C., Pérez-Sirvent C., Martínez-Sánchez M.J., Molina-Ruiz J. Impact of acid mine drainages on surficial wasters of an abandoned mining site // Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23. Pp. 6014–6023.
- [9] Бугаева Г.Г., Козум А.В. Факторы экологического риска в зоне действия открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. Т. 9. № 12. С. 292–296.
- [10] Хафизова Э.Н., Ахтямов В.Ф. Исследование влияния техногенных отходов нерудного производства на свойства бетонов // Вестник ТГАСУ. 2017. № 4. С. 107–116.
- [11] Пухаренко Ю.В., Панарин С.Н., Веселова С.И., Черевко С.А. Применение отходов камнедробления в бетонах // Технологии бетонов. 2013. № 11 (88). С. 34–35.

- [12] Далатказин А.А. Отсевы дробления: проблема, требующая решения // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 28–29.
- [13] Коваленко Д.С. Перспективы использования техногенного сырья Луганского региона в строительной индустрии // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. Т. 124. № 2. С. 71–74.
- [14] Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Лащук В.В., Пак А.А. Вскрышные породы месторождений Кольского полуострова и получение щебня на их основе // Экология промышленного производства. 2007. № 1. С. 64–73.
- [15] Генкель А.В., Гришин И.А., Бурмистров К.В., Великанов В.С. Повышение эффективности производства щебня и способы применения отсеков дробления // Горная промышленность. 2015. Т. 124. № 6. С. 64–68.
- [16] Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строчкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // Строительные материалы. 2014. № 1–2. С. 38–41.
- [17] Zengxiang L., Meifeng C. Disposal methods in solid wastes from mines in transition from open-pit to underground mining // Procedia Environmental Sciences. 2012. Vol. 16. Pp. 715–721.
- [18] Zhou L. Investigation and practice on mining land rehabilitation and ecological reconstruction in China // Nonferrous Metals. 2007. Vol. 2. Issue 59. Pp. 90–94.
- [19] Артамонов В.А., Воробьев В.В., Свитов В.С. Опыт переработки отсеков дробления // Строительные материалы. 2003. № 6. С. 28–29.
- [20] Пугин К.Г., Пугина В.К. Особенности использования ресурсного потенциала отходов производства для получения строительных конструкций и материалов // Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 289–293.

References

- [1] Khudyakova LI, Voyloshnikov OV, Kislov EV. The ways of rational nature using increasing on example of North Baikal ore region. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2011;4(2):155–161. (In Russ.)
- [2] Matinde E, Simate GS, Ndlovu S. Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2018;118(8):825–844.
- [3] Kasemodel MC, Sakamoto IK, Varesche MBA, Rodrigues VGS. Potentially toxic metal contamination and microbial community analysis in an abandoned Pb and Zn mining waste deposit. *Science of the Total Environment*. 2019;675:367–379.
- [4] Razmahnin KK, Blinovskaya YaYu. Geo-ecological aspects of natural-technical system functioning in processing of zeolite-bearing rocks. *Interekspo GEO-Sibir'*. 2018;5: 183–187. (In Russ.)
- [5] Brooks SJ, Escudero-Onate C, Lillicrap AD. An ecotoxicological assessment of mine tailings from three Norwegian mines. *Chemosphere*. 2019;233:818–827.
- [6] Krechetov P, Chernitsova O, Sharapova A, Terskaya E. Technogenic geochemical evolution of chernozems in the sulfur coal mining areas. *Journal of Soils and Sediments*. 2019;19:3139–3154.
- [7] Shi P, Zhang Y, Hu Z, Ma K, Wang H, Chai T. The response of soil bacterial communities to mining subsidence in the west China Aeolian sand area. *Applied Soil Ecology*. 2017;121:1–10.
- [8] García-Lorenzo ML, Marimón J, Navarro-Hervás MC, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez MJ, Molina-Ruiz J. Impact of acid mine drainages on surficial wasters of an abandoned mining site. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23:6014–6023.
- [9] Bugaeva GG, Kogut AV. Environmental risk factors in the area of open mining. *Gornyj Informacionno-Analiticheskij Byulleten'*. 2007;9(12):292–296. (In Russ.)

- [10] Khafizova EN, Akhtyamov VF. Concrete production based on industrial non-metallic wastes. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017;(4): 107–116. (In Russ.)
- [11] Puharenko YuV, Panarin SN, Veselova SI, Cherevko SA. Use of waste stone crushing in concrete. *Tekhnologii Betonov*. 2013;11(88):34–35. (In Russ.)
- [12] Dalatkazin AA. Crushing screenings: a problem to be solved. *Stroitel'nye Materialy*. 2006;(8):28–29. (In Russ.)
- [13] Kovalenko DS. Prospects of using the technogenic raw material of Lugansk people's republic in the building industry. *Vestnik Donbasskoj Nacional'noj Akademii Stroitel'stva i Arhitektury*. 2017;124(2):71–74. (In Russ.)
- [14] Krashenninnikov ON, Belogurova TP, Lashchuk VV, Pak AA. Overburden rocks of the Kola Peninsula deposit and production of crushed stone on their basis. *Ekologiya Promyshlennogo Proizvodstva*. 2007;(1):64–73. (In Russ.)
- [15] Genkel AV, Grishin IA, Burmistrov KV, Velikanov VS. Obtaining the efficiency of crushed stone production and methods of using crushing screenings. *Gornaya Promyshlennost'*. 2015;124(6):64–68. (In Russ.)
- [16] Zhernovskij IV, Osadchaya MS, Cherevatova AV, Stokova VV. Aluminium-silicate nano-structured on the basis of granite raw material. *Stroitel'nye Materialy*. 2014;(1–2): 38–41. (In Russ.)
- [17] Zengxiang L, Meifeng C. Disposal methods in solid wastes from mines in transition from open-pit to underground mining. *Procedia Environmental Sciences*. 2012;16:715–721.
- [18] Zhou L. Investigation and practice on mining land rehabilitation and ecological reconstruction in China. *Nonferrous Metals*. 2007;2(59):90–94.
- [19] Artamonov VA, Vorobev VV, Svitov VS. Experience in processing crushing screenings. *Stroitel'nye Materialy*. 2003;(6):28–29.
- [20] Pugin KG, Pugina VK. Features of use of the resource potential of waste products for building constructions and materials. *Fundamental'nye Issledovaniya*. 2016;(9):289–293.

Сведения об авторах:

Коновалова Наталья Анатольевна, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Забайкальский институт железнодорожного транспорта. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Панков Павел Павлович, младший научный сотрудник, Забайкальский институт железнодорожного транспорта. E-mail: pavelpankov110990@mail.ru

Бесполитов Дмитрий Викторович, аспирант, Забайкальский институт железнодорожного транспорта. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Bio notes:

Nataliya A. Konovalova, PhD in Chemistry, leading researcher, Transbaikal Institute of Railway Transport. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Pavel P. Pankov, junior researcher, Transbaikal Institute of Railway Transport. E-mail: pavelpankov110990@mail.ru

Dmitry V. Bespolitov, graduate student, Transbaikal Institute of Railway Transport. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru