

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-2-182-191
УДК 504.062:691

Научная статья / Research article

Утилизация вскрышных пород в составах экологически безопасных композиционных материалов для дорожного строительства

Н.А. Коновалова✉, Д.В. Бесполитов, П.П. Панков, Е.А. Руш, Н.Д. Авсеенко

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15*

✉ zabizht_engineering@mail.ru

Аннотация. Изучена возможность утилизации вскрышных пород Черновского бурого угольного и Балеиско-Тасеевского золоторудного месторождений (Забайкальский край) в дорожно-строительной индустрии. В качестве стабилизирующих добавок в составах дорожно-строительных композитов выбраны добавки полимерной природы Криогелит и StabOL. Исходные минеральные образцы изучены методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, порошковой дифракции, инфракрасной спектроскопии. Установлено, что введение в состав композитов на основе вскрышных пород 8 мас. % портландцемента и 10 мас. % золы уноса, а также стабилизирующих добавок «Криогелит» (Черновское месторождение) и StabOL (Балеиско-Тасеевское месторождение), позволяет получить образцы с маркой по прочности М40 и маркой по морозостойкости F15. Методом биотестирования доказано, что полученные композиты не оказывают острого токсического действия на тест-объекты и безопасны для окружающей среды и здоровья человека.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, отходы горнопромышленного комплекса, вскрышные породы, зола уноса, стабилизирующая добавка, дорожное строительство, укрепление грунтов, композиционный материал

История статьи: поступила в редакцию 23.12.2021; принята к публикации 11.01.2021.

Для цитирования: Коновалова Н.А., Бесполитов Д.В., Панков П.П., Руш Е.А., Авсеенко Н.Д. Утилизация вскрышных пород в составах экологически безопасных композиционных материалов для дорожного строительства // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 2. С. 182–191. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-2-182-191>

Utilization of overburden in formulations of environmentally friendly compositional materials for road construction

Nataliya A. Konovalova✉, Dmitry V. Bespolitov,
Pavel P. Pankov, Elena A. Rush, Nadezhda D. Avseenko

*Irkutsk State Transport University,
15 Chernyshevskogo St, Irkutsk, 664074, Russian Federation*

✉ zabizht_engineering@mail.ru

Abstract. The possibility of utilization of overburden rocks of the Chernovsky brown coal and Baleysko-Taseevsky gold occurrences (Trans-Baikal Region) in the road construction industry is studied. Polymeric additives “Cryogelite” and “StabOL” were chosen as stabilizing

additives in the compositions of road-building composites. The initial mineral samples were examined by methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, powder diffraction, and infrared spectroscopy. It was found that the introduction to formulation of composites with use of overburden rocks of 8 wt. % Portland cement and 10 wt. % fly ash, as well as stabilizing additives “Cryogelit” (Chernovskoe occurrence) and “StabOL” (Baleysko-Taseevskoe occurrence), allows to obtain samples with strength grade M40 and frost resistance grade F15. The biotesting method proved that the obtained composites do not have an acute toxic effect on test objects and are safe for the environment and human health.

Keywords: anthropogenic impact, mining wastes, overburden, fly ash, stabilizing additive, road construction, soil strengthening, compositional material

Article history: received 23.12.2021; revised 11.01.2021.

For citation: Konovalova NA, Besspolitov DV, Pankov PP, Rush EA, Avseenko ND. Utilization of overburden in formulations of environmentally friendly compositional materials for road construction. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(2):182–191. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-2-182-191>

Введение

Регионы с развитой горнодобывающей промышленностью характеризуются наличием острых проблем, связанных с сохранением природных ландшафтов и биоразнообразием [1]. Добыча полезных ископаемых сопровождается извлечением вскрышных и вмещающих пород, не пригодных для сельскохозяйственного использования. Отвалы массивы вскрышных пород, занимающие значительные площади, нарушают структуру и целостность экосистем, изменяют рельеф, способствуют пылеобразованию и загрязнению химическими веществами прилегающих территорий [2–4]. Площадь выводимых из лесо- и агрооборота земель может достигать 0,8 га на 1 тыс. т извлекаемого из недр минерального сырья [5], а отчуждаемые земли горных разработок составляют 60–90 % [6]. Нарушенные земли подвергаются эрозии, загрязняют атмосферный воздух, почвы, водные ресурсы, растительность и среду обитания человека в целом [7–9].

Эффективность технологических решений, направленных на ликвидацию объектов накопленного вреда окружающей среде, зависит от вида и объемов отходов, степени их опасности, времени существования и размеров объекта накопленного вреда, а также масштабов воздействия на экосистемы [10]. В этой связи для решения проблем восстановления техногенно нарушенных земель требуется разработка эффективных способов ликвидации отвалов вскрышных пород, являющихся объектами накопленного вреда окружающей среде.

Наиболее эффективными методами ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде являются физико-химические, среди которых особое место занимает затвердевание (стабилизация), или искусственное камнеобразование. Проведенный анализ отечественных и зарубежных исследований в области утилизации техногенных грунтов показал целесообразность их крупнотоннажного прямого использования в составах дорожно-строительных композитов [11–14]. Теоретические аспекты применения метода стабилизации при модификации минерального сырья отражены в работах В.М. Безрука [15; 16], а разработка методологии химической стабилизации принадлежит И.И. Бройду, А. Herzod, J. Mitchell [17; 18] и др.

Однако вовлечение вскрышных пород в дорожно-строительное производство сдерживается неоднородностью их свойств и состава. Для улучшения физико-механических характеристик дорожно-строительных композитов на основе техногенных грунтов эффективными могут быть комплексные методы стабилизации, сочетающие применение вяжущих веществ и стабилизаторов различной природы, поскольку некоторые виды грунтов не поддаются эффективной стабилизации с использованием лишь вяжущего материала. Так, композиты на основе грунтов, укрепленных битумами, излишне пластичны, а цементогрунты имеют повышенную истираемость. Поэтому поиск более совершенных методов стабилизации техногенных грунтов, сочетающих применение вяжущих веществ и стабилизирующих добавок, снижающих их отрицательные свойства, позволит получить композиты с оптимальными для дорожного строительства свойствами и решить комплекс острых экологических проблем.

Цель работы заключалась в изучении возможности утилизации вскрышных пород в составах экологически безопасных дорожно-строительных композиционных материалов.

Материалы и методы

В качестве сырьевых компонентов использовали вскрышные породы Черновского бурогольного и Балейско-Тасеевского золоторудного месторождений (Балейский, Тасеевский, Каменский карьеры), золу уноса ТЭЦ-2 Читы (Забайкальский край), в качестве вяжущего – портландцемент марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б.

Отвалы вскрышных пород Черновского бурогольного месторождения, которое эксплуатировалось с 1907 по 1989 г., расположены в Черновском районе Читы. Согласно архивным данным, для подготовки вскрышных пород мощностью до 30 м проводились буровзрывные работы. Отмечено сдвижение земной поверхности, за время эксплуатации месторождения мерзлота протаяла на глубину до 50 м.

Балейско-Тасеевское месторождение, открытое в 1934 г., является одним из важнейших золоторудных месторождений с запасом 105,6 т. За все годы работы Балейского рудного поля было добыто около 250 т золота [19]. При разведке месторождения пройдено 118,4 км подземных горных выработок, пробурено 334,5 км скважин, а за первые 35 лет эксплуатации месторождения протяженность подземных выработок составила 412 км [20].

При эксплуатации данных месторождений практиковалось неселективное отвалообразование, о чем свидетельствует хаотичное размещение вскрышных пород в отвалах. Открытая разработка привела к геомеханическим нарушениям окружающей среды в результате строительства карьеров, отсыпки отвалов, деформации поверхности, а также воздействия карьерного оборудования, что привело к изменению рельефа местности и уничтожению почв (рис. 1).

Дорожно-строительные композиты на основе вскрышных пород получали согласно ГОСТ 23558–94 с применением стабилизирующих добавок полимерной природы «Криогелит» (ТУ 5775-002-01107272-2012) и StabOL

(ТУ 5775-001-01107272-2020). В состав композитов на основе вскрышных пород Черновского месторождения, модифицированных добавкой «Криогелит», дополнительно вводили золу уноса без ее предварительной обработки. Для увеличения прочностных характеристик композитов на основе вскрышных пород Балейско-Тасеевского месторождений, модифицированных добавкой StabOL, дополнительно проводили механическую активацию золы на истирателе вибрационном чашевом ИВЧ-3 в течение 1 мин. Дозировку исходных сырьевых компонентов определяли методом подбора. Массовая доля портландцемента и золы уноса в смеси составила 8 и 10 мас. % соответственно. Гранулометрический анализ вскрышных пород проводили по ГОСТ 12536–2014. Физико-механические характеристики композитов в возрасте 28 сут изучали по ГОСТ 23558–94 на образцах, подвергнутых полному водонасыщению. Влажность золы уноса определяли по ГОСТ 8735–88. Удельную поверхность частиц золы определяли на приборе Товарова Т-3 методом воздухопроницаемости, насыпную плотность в сухом состоянии изучали по ГОСТ 9758–2012, битумоемкость – по ГОСТ 32766–2014. Степень пучинистости золы определяли на приборе УПГ-МГ4 «Грунт» по ГОСТ 28622–2012. Вода для приготовления образцов соответствовала требованиям ГОСТ 23732–2011.

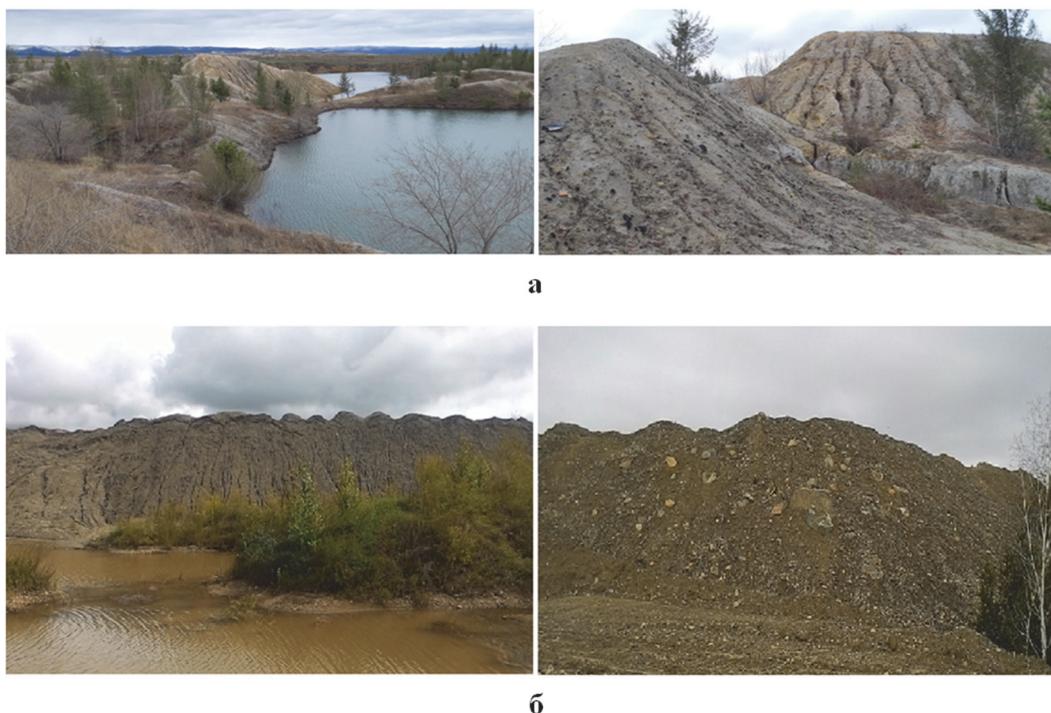


Рис. 1. Ландшафтные изменения нарушенных территорий:
а – Черновское буроголивное месторождение; б – Балейско-Тасеевское месторождение
Figure 1. Landscape changes of disturbed areas:
а – Chernovskoe brown coal occurrence; б – Baleisko-Taseevskoe occurrence

Мультиэлементный анализ минерального сырья выполняли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) с применением эмиссионного спектрометра (Optima 5300DV, 167–403 нм, PerkinElmer, США), схема ICP95A. Рентгенофазовый анализ (РФА) портландце-

мента выполняли методом порошковой дифракции на дифрактометре ДРОН-3.0, излучение – $\text{CuK}\alpha$, Ni-фильтр, $U = 25$ кВ, $I = 20$ мА, угловой диапазон: $2\theta, ^\circ = 3\text{--}55$, скорость измерения – $1^\circ/\text{мин.}$). Фазовый состав проб расшифровали с помощью программы EVA (Diffra^{plus}). ИК-спектр золы регистрировали инфракрасным Фурье-спектрометром SHIMADZU FTIR-8400S на таблетках с KBr, приготовленных по стандартной методике.

Экологическую безопасность композитов на основе вскрышных пород изучали комплексом методов. Удельную эффективную активность естественных радионуклидов в образцах определяли в соответствии с НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) и ГОСТ 30108–94. Радиологические испытания проводили на спектрометре-радиометре гамма- и бета-излучений МКГБ-01 «РАДЭК», гамма-спектрометре МКСП-01 «РАДЭК», санитарно-химические – на газовом хроматографе «Хроматек-Кристалл 5000.2». Тест-объекты для биотестирования – *Daphnia magna Straus* и *Chlorella vulgaris Beijer*.

Результаты и обсуждение

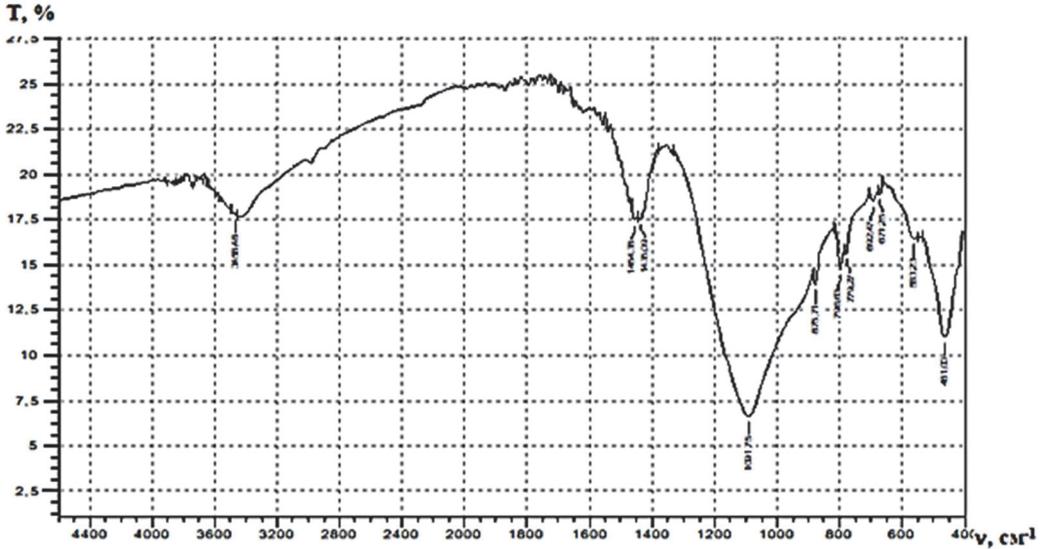
Естественное зарастание отвалов вскрышных пород Черновского и Балейско-Тасеевского месторождений происходит неравномерно, так как вынесенные на поверхность глубинные породы характеризуются незначительным содержанием элементов минерального питания и имеют отличные от почв свойства. Обнаружены проявления негативных геологических процессов: деградация и эрозия почв, размыв и оползание нарушенной поверхности отвалов и их обрушение, оврагообразование. Ликвидация отвалов возможна за счет крупнотоннажного прямого использования вскрышных пород в дорожном строительстве. Эффективность применения метода стабилизации (искусственного камнеобразования) зависит от понимания процессов структурообразования композита, поэтому важным является изучение состава и свойств исходного минерального сырья.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в образцах вскрышных пород, %: Каменский карьер – 15,96; Балейский карьер – 33,46; Тасеевский карьер – 20,42; Черновское месторождение – 39,00.

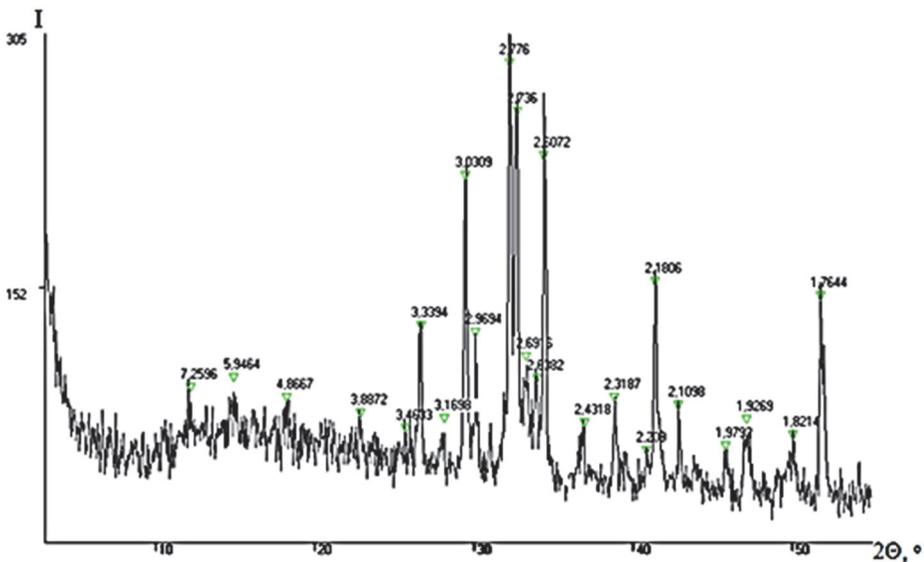
Вскрышные породы имеют химический состав, $\omega, \%$: *Каменский карьер* 67,6 SiO_2 ; 12,1 Al_2O_3 ; 3,6 Fe_2O_3 ; 2,7 K_2O ; 2,5 Na_2O ; 0,9 CaO ; 0,5 MgO ; 0,4 TiO_2 ; 0,1 P_2O_5 ; 0,1 Cr_2O_3 ; 0,1 MnO ; 3,7 – потери при прокаливании (п. п. п.); 5,7 – примеси микроэлементов (п.м.); *Балейский карьер* 62,1 SiO_2 ; 12,8 Al_2O_3 ; 4,2 Fe_2O_3 ; 3,5 K_2O ; 1,4 CaO ; 1,2 MgO ; 1,1 Na_2O ; 0,4 TiO_2 ; 0,2 P_2O_5 ; 0,1 Cr_2O_3 ; 0,1 MnO ; 7,0 – п.п.п.; 5,9 – п.м.; *Тасеевский карьер* 67,0 SiO_2 ; 12,6 Al_2O_3 ; 2,1 Fe_2O_3 ; 1,5 K_2O ; 0,6 TiO_2 ; 0,4 MgO ; 0,3 CaO ; 0,1 Cr_2O_3 ; 0,1 P_2O_5 ; 0,1 Na_2O ; 9,3 – п.п.п.; 5,9 – п.м.; *Черновское месторождение* 66,1 SiO_2 ; 12,5 Al_2O_3 ; 0,9 Fe_2O_3 ; 3,9 K_2O ; 0,2 TiO_2 ; 0,3 MgO ; 0,3 CaO ; 0,1 Cr_2O_3 ; 0,1 P_2O_5 ; 1,1 Na_2O ; 5,7 – п.п.п.; 8,8 – п.м.

Исследуемая зола относится к категории непучинистых и имеет алюмосиликатный состав: $\omega, \text{мас. } \%$: 36,1 SiO_2 ; 10,2 Al_2O_3 ; 7,8 Fe_2O_3 ; 1,4 MgO ; 0,6 Na_2O ; 1,2 K_2O ; 0,4 TiO_2 ; 0,6 SO_3 ; 9,4 CaO ; 0,4 $\text{CaO}_{\text{св}}$. По гидравлическим свойствам зола относится к скрыто-активным. Влажность составила 0,59 %, насыпная плотность – 660 кг/м^3 , битумоемкость – 54 г, удельная поверх-

ность частиц – 276 м²/кг (при норме не менее 150 м²/кг). Согласно данным ИКС (рис. 2, а), в составе золы обнаружен кальцит (полосы поглощения с максимумами при 1454; 1435 и 876 см⁻¹), кварц и кристобалит (797; 779 см⁻¹ и 692; 671 см⁻¹), гематит (563 и 461 см⁻¹).



а



б

Рис. 2. ИК-спектр золы уноса (а) и дифрактограмма портландцемента (б)
Figure 2. IR spectrum of fly ash (a) and a diffractogram of Portland cement (b)

Для обеспечения морозостойкости дорожно-строительных композитов имеет значение содержание основных структурообразующих минералов минерального вяжущего. Базовый химический состав портландцемента, ω, мас. %: 6,8 Al₂O₃; 36,6 CaO; 4,4 Fe₂O₃; 4,0 MgO; 27,9 SiO₂; 2,8 SO₃. Анализ результа-

тов РФА (рис. 2, б) показал, что в состав портландцемента входят алит (5,95; 3,03; 2,97; 2,74; 2,18 Å), белит (3,43; 2,88; 2,81; 2,28; 1,76 Å), портландит (3,19; 2,65 Å) и кварц (3,35; 2,44; 2,32; 2,21; 2,11; 1,82 Å).

Установлено, что исследуемые пробы минерального сырья по радиационному признаку относятся к первому классу, поскольку величина $A_{эфф}$ не превышает 370 Бк/кг и сырьевой материал может использоваться в строительстве без ограничений.

Дорожно-строительные композиты на основе вскрышных пород Балейского, Тасеевского и Каменского карьеров, модифицированные добавкой StabOL, так же как и композиты на основе вскрышных пород Черновского месторождения, модифицированные добавкой «Криогелит», соответствуют марке по прочности М40 и марке по морозостойкости F15, что позволяет рекомендовать их к применению на дорогах с переходным и низшим типом дорожных одежд. Найдено, что процесс повышения прочности модифицированных добавками образцов основан на формировании кристаллизационного каркаса из оксид-силикатов кальция и коагуляционной сетки из пылеватых и глинистых частиц, соединенных прослойками полимера и воды.

Проведенными исследованиями установлено, что в модельных условиях (насыщенность 0,01 м²/м³, температура среды +20 °С) уровень миграции бензола, дибутилфталата, диоктилфталата, этилацетата, ацетона, метанола, винилацетата с поверхности композитов, модифицированных добавкой StabOL, а также бензола, толуола, стирола, этилацетата, ацетона, метанола, бутилацетата для композитов, модифицированных добавкой «Криогелит», создает в атмосферном воздухе концентрации, не превышающие среднесуточные ПДК, установленные гигиеническими нормативами (СанПиН 1.2.2353-08, ГН 2.1.6.3492-17, ГН 2.1.6.2309-07). Интенсивность запаха всех составов оценена в 0 баллов (при нормативе не более 2 баллов).

Оценка токсичности проб исследуемых дорожно-строительных материалов, определенная по смертности (летальности) *Daphnia magna Straus* и по изменению оптической плотности тест-культуры – зеленой протококковой водоросли *Chlorella vulgaris Beijer*, позволила заключить о безопасности для окружающей среды и здоровья человека дорожно-строительных композитов, модифицированных стабилизирующими добавками «Криогелит» и StabOL.

Заключение

Отвалы вскрышных пород Черновского бурогоугольного и Балейско-Тасеевского золоторудного месторождений (Балейский, Тасеевский, Каменский карьеры) являются объектами накопленного вреда окружающей среде. Применение физико-химического метода стабилизации минерального сырья позволит утилизировать вскрышные породы в составах дорожно-строительных композиционных материалов. Найдено, что используемое минеральное сырье относится к первому классу по удельной эффективной активности естественных радионуклидов (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K), поэтому может применяться в дорожном строительстве без ограничений. Установлено, что введение в состав композитов 8 мас. % портландцемента и 10 мас. % золы уноса, а также стабилизирующих добавок «Криогелит» (вскрышные породы Черновского ме-

сторождения) и StabOL (вскрышные породы БалеЙско-Тасеевского месторождения), позволяет получить образцы, соответствующие марке по прочности М40 и марке по морозостойкости F15. Выявлено, что структурообразование образцов, модифицированных добавками «Криогелит» и StabOL, определяется наличием коагуляционного и кристаллизационного типов контактов между частицами. Установлено, что полученные композиты не оказывают острого токсического действия на тест-объекты и безопасны для окружающей среды и здоровья человека.

Список литературы

- [1] Манаков Ю.А., Курьянов О.А. Система ООПТ Кемеровской области как фактор смягчения воздействия угледобычи на биоразнообразие // Уголь. 2019. № 7. С. 89–94.
- [2] Вохмин С.А., Курчин Г.С., Волков Е.П., Зайцева Е.В. Современное видение развития добычи нерудных строительных материалов в России // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2014. № 4. С. 82–84.
- [3] Комаров М.А., Алискеров В.А., Кусевич В.И., Заверткин В.Л. Горно-промышленные отходы – дополнительный источник минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 4. С. 3–9.
- [4] 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. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.020>
- [5] Опрышко Д.С., Облицов А.Ю. Современные подходы к горнотехнической рекультивации // Записки горного института. 2013. Т. 200. С. 142–145.
- [6] Щелканов Н.С., Овешников Ю.М., Субботин Ю.В. Рекультивация отвалов вскрышных пород на угольных разрезах Забайкальского края // Вестник ЗабГУ. 2012. № 11 (90). С. 28–33.
- [7] Хачатрян Т.С. Окружающая среда и здоровье населения (обзор литературы) // Журнал экспериментальной и клинической медицины. 1981. Т. 21. № 3. С. 287–292.
- [8] Lin H., Guo Y., Zheng Y. et al. Long-term effects of ambient PM 2.5 on hypertension and blood pressure and attributable risk among older Chinese adults // Hypertension. 2017. Vol. 69. No. 5. Pp. 806–812. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.08839>
- [9] Табакаев М.В., Артамонова Г.В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на распространенность сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения // Вестник РАМН. 2014. № 3–4. С. 55–60.
- [10] Соловьянов А.А. О подходах к решению проблем накопленного экологического ущерба в Российской Федерации // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 8. С. 33–38.
- [11] Филатов М.М. Почвенный поглощающий комплекс и дорожные свойства грунтов // Труды ДОРНИИ. 1932. Вып. 3. С. 109.
- [12] Безрук В.М. Основные принципы укрепления грунтов. М.: Транспорт, 1987. 32 с.
- [13] Correns C.W. The experimental chemical weathering of silicates. Clay minerals bull // Mineralogisch-Petrographisches Institute. 1961. No. 26. P. 4.
- [14] Прокопец В.С., Дмитренко Е.Н., Поморова Л.В. Параметрическая модель прочности композиционных материалов из цементогрунта // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. № 6. С. 66–70.
- [15] Безрук В.М., Тулаев А.Я. Дорожные основания из стабилизированных грунтов. М.: Дориздат, 1948. 176 с.
- [16] Безрук В.М. Теоретические основы укрепления грунтов цементами. М.: Автотрансиздат, 1958. 159 с.
- [17] Бройд И.И. Струйная геотехнология. М.: Изд-во АСВ, 2004. 448 с.

- [18] Herzod A., Mitchell J. Reactions accompanying stabilization of clay with cement // Cement – treated soil mixtures. Highway research record. 1962. No. 36. Pp. 146–171.
- [19] Серезников А.И. Геолого-гидрогеологическая характеристика и палеогидрогеологические реконструкции Балейского золоторудного поля (Забайкалье) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 3. С. 93–105.
- [20] Верхотуров А.Г. Трансформация геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых в Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 4. С. 370–373.

References

- [1] Manakov YuA, Kupriyanov OA. The system of specially protected natural areas of the Kemerovo region as a factor in mitigating the impact of coal mining on biodiversity. *Ugol'*. 2019;(7):89–94. (In Russ.)
- [2] Vohmin SA, Kurchin GS, Volkov EP, Zajceva EV. Modern viewing of non-metallic building materials extraction in Russia. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskij Region*. 2014;(4):82–84. (In Russ.)
- [3] Komarov MA, Aliskerov VA, Kusevich VI, Zavertkin VL. Mine waste – an additional source of mineral resources. *Mineral'nye Resursy Rossii. Ekonomika i Upravlenie*. 2007;(4):3–9. (In Russ.)
- [4] 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. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.020>
- [5] Opryshko DS, Oblicov AYu. Modern approaches to mining reclamation. *Zapiski Gornogo Instituta*. 2013;200:142–145. (In Russ.)
- [6] Shchelkanov NS, Oveshnikov YuM, Subbotin YuV. Reclamation of tailings dumps at coal mines of Zabaykalsky region. *Vestnik ZabGU*. 2012;(11(90)):28–33. (In Russ.)
- [7] Hachatryan TS. Environment and public health literature review. *Zhurnal Eksperimental'noj i Klinicheskoy Mediciny*. 1981;21(3):287–292. (In Russ.)
- [8] Lin H, Guo Y, Zheng Y et al. Long-term effects of ambient PM 2.5 on hypertension and blood pressure and attributable risk among older Chinese adults. *Hypertension*. 2017;69(5):806–812. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.08839>
- [9] Tabakaev MV, Artamonova GV. Particulate matter air pollution effects on the incidence of heart diseases among the urban population. *Vestnik RAMN*. 2014;(3–4):55–60. (In Russ.)
- [10] Solovyanov AA. Some approaches to the solution of the problems of accumulated environmental damage in the Russian Federation. *Zashchita Okruzhayushchej Sredy v Neftegazovom Komplekse*. 2015;(8):33–38. (In Russ.)
- [11] Filatov MM. Soil absorbing complex and road properties of soils. *Trudy DORNII*. 1932;(3):109. (In Russ.)
- [12] Bezruk VM. Basic principles of soil strengthening. Moscow: Transport Publ.; 1987. (In Russ.)
- [13] Correns CW. The experimental chemical weathering of silicates. *Clay minerals bull. Mineralogisch-Petrographisches Institute*. 1961;(26):4.
- [14] Prokopec VS, Dmitrenko EN, Pomorova LV. Basic principles of soil strengthening. *Vestnik Sibirskoj Gosudarstvennoj Avtomobil'no-Dorozhnoj Akademii*. 2012;(6):66–70 (In Russ.)
- [15] Bezruk VM, Tulaev AYa. *Road foundations made of stabilized soils*. Moscow: Dorizdat Publ.; 1948. (In Russ.)
- [16] Bezruk VM. *Theoretical foundations of soil reinforcement with cements*. Moscow: Avtotransizdat Publ.; 1958. (In Russ.)
- [17] Brojd II. *Jet geotechnology*. Moscow: Publishing House ASV; 2004. (In Russ.)

- [18] Herzod A, Mitchell J. Reactions accompanying stabilization of clay with cement. *Cement – Treated Soil Mixtures. Highway Research Record*. 1962;(36):146–171.
- [19] Serezhnikov AI. Geological and hydrological characteristics and paleohydrological reconstructions of the Baley gold field (Transbaikalia). *Tihookeanskaya Geologiya*. 2011;30(3):93–105. (In Russ.)
- [20] Verhoturov AG. Transformation of the geological environment during the development of mineral deposits in Transbaikalia. *Gornyj Informacionno-Analiticheskij Byulleten'*. 2014;(4):370–373. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Коновалова Наталья Анатольевна, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Бесполитов Дмитрий Викторович, аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: dimazabizht2018@mail.ru

Панков Павел Павлович, младший научный сотрудник, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: pavelpankov110990@mail.ru

Руш Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: lrush@mail.ru

Авсеенко Надежда Дмитриевна, доктор медицинских наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: avsennd@rambler.ru

Bio notes:

Nataliya A. Konovalova, PhD in Chemistry, leading researcher, Irkutsk State Transport University. E-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Dmitry V. Bespolitov, graduate student, Irkutsk State Transport University. E-mail: dimazabizht2018@mail.ru

Pavel P. Pankov, junior researcher, Irkutsk State Transport University. E-mail: pavelpankov110990@mail.ru

Elena A. Rush, Doctor of Technical Sciences, Professor, Irkutsk State Transport University. E-mail: lrush@mail.ru

Nadezhda D. Avseenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Irkutsk State Transport University. E-mail: avsennd@rambler.ru