

УДК 504.05

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОСТАВА ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЫЛЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Т. В. Атевиновская¹, И. И. Злотников², А. Б. Невзорова³

¹ Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры нефтегазоразработки и гидропневмоавтоматики УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Гомель, Беларусь, e-mail: t_atvinovskaya@gstu.by

² К. т. н., доцент, доцент кафедры физики и электротехники УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Гомель, Беларусь, e-mail: zlotnikov@gstu.by

³ Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой нефтегазоразработки и гидропневмоавтоматики УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Гомель, Беларусь, e-mail: anevzorova@gstu.by

Реферат

Загрязнение окружающей среды выбросами пыли с поверхности отработанных техногенных источников являются актуальной экологической проблемой современности. Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха и окружающей среды в целом выбросами пыли наносят золоотвалы, хвостохранилища, шламохранилища и прочие свалки отходов горно-обогатительной отрасли. В настоящее время существует целый ряд способов закрепления пылящих поверхностей для снижения их негативного воздействия. Наиболее распространенным методом является обработка пылящей поверхности различными реагентами, растворами и составами, которые создают на ней прочный и водонепроницаемый защитный слой.

В статье рассмотрены перспективы использования бинарного силикатполимерного раствора на основе жидкого стекла и продуктов щелочного гидролиза отходов полиакрилонитрильного волокна для изготовления пылеподавляющих слоев. Определены оптимальные концентрации рабочего раствора и технологические приемы его получения. Проведены эксперименты по определению эксплуатационных свойств получаемых защитных покрытий. Приведены основные физико-механические характеристики покрытий. Обсуждаются преимущества и недостатки рассматриваемого состава по сравнению с известными. Исследуемый состав прост в изготовлении, не требует сложного оборудования, имеет длительный (до трёх месяцев) срок хранения, что расширяет области его применения. Готовый состав наносят на обрабатываемую поверхность с помощью поливочных автомобилей. Сравнительно небольшие участки поверхностей, требующие высокого качества пылеподавления, например сыпучие породы, хранящиеся на открытых складах, обрабатывают вручную с помощью пневмораспылителей. Рекомендуемый расход готового состава для успешного закрепления пылящих поверхностей 1,5–2,5 л/м² в зависимости от гранулометрического состава обрабатываемой породы, ее влажности и выбранной концентрации применяемого состава.

Ключевые слова: окружающая среда, отходы горно-обогатительной промышленности, выбросы пыли, пылеподавление, защитный слой, механическая прочность, водостойкость.

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF THE COMPOSITION FOR FIXING DUSTY SURFACES

T. V. Atvinovskaya, I. I. Zlotnikov, A. B. Nevzorova

Abstract

Environmental pollution by dust emissions from the surface of spent man-made sources is an urgent environmental problem of our time. Ash dumps, tailings dumps, sludge storage facilities and other landfills of mining and processing industry waste make the greatest contribution to the pollution of atmospheric air and the environment as a whole by dust emissions. Currently, there are a number of ways to fix dusty surfaces to reduce their negative impact. The most common method is to treat the dusting surface with various reagents, solutions and compounds that create a strong protective layer on it. The article discusses the prospects of using a binary solution based on liquid glass and hydrolysis products of polyacrylonitrile fiber waste for the manufacture of dust-suppressing layers. The optimal concentrations of the working solution have been determined. Experiments have been conducted to determine the operational properties of the resulting protective coatings. The basic physical and mechanical properties of the obtained coatings are given. The main advantages and disadvantages of the considered composition are discussed.

The developed composition is easy to manufacture and does not require complex equipment. The composition is applied to the treated surface using watering trucks. Small areas of dusty surfaces, such as loose rocks stored in open warehouses, are treated manually with pneumatic sprayers. The consumption of the finished composition for successful fixing of dusty surfaces is 1.5–2.5 liters/m², depending on the granulometric composition of the treated rock and its humidity.

Keywords: environment, waste from mining and processing industry, dust emissions, dust suppression, protective layer, mechanical strength, water resistance.

Введение

Добыча, хранение, переработка и использование полезных ископаемых часто сопровождаются образованием обширных по площади нарушенных и даже полностью деградированных земельных территорий, которые являются источниками пылевых загрязнений. Такая ситуация складывается практически на всех месторождениях полезных ископаемых, которые разрабатываются карьерным и шахтным способами и требующих последующего обогащения. Наибольший вклад в загрязнение как атмосферного воздуха, так и окружающей среды в целом выбросами пыли вносят рудные и породные отвалы, хвостохранилища, золоотвалы, шламохранилища и прочие свалки отходов в первую очередь горно-обогатительной отрасли. Вносят свой негативный вклад также откосы дамб и плотин и подвижные пески пересыхающих и осу-

шенных водоемов. Все эти объекты наносят вред окружающей среде, нарушают экологическое равновесие и мешают устойчивому развитию регионов.

Так, например, по данным на 2019 г. за время работы Гомельского химического завода в отвалах скопилось более 14 млн тонн отходов, в основном фосфогипса, и их количество продолжает постоянно увеличиваться. В настоящее время под отвалы занята территория площадью более 0,95 км². Хотя частицы фосфогипса обладают большой склонностью к агломерации и при природной влажности грунта 38–50 % происходит образование плотных комков, но в результате стока и испарения воды, особенно в жаркий и сухой период, сцепление между частицами резко снижается и уже при скорости ветра 2–3 м/с может наблюдаться пыление свежих горизонтов отвалов [1, 2].

Из общего объема накопленных в Республике Беларусь промышленных отходов наибольшее количество приходится на солеотвалы галитовых отходов (86 %) и глинисто-солевые шламы (10,3 %) ОАО «ПО «Беларуськалий». Количество отходов, накопленных на земной поверхности Солигорского района в солеотвалах и шламохранилищах в настоящее время превышает 700 млн тонн. Солеотвалы достигают высоты в 90–100 м, а в отдельных случаях превышают 120 м и занимают площадь около 1,5 тыс. га [2, 3]. Вследствие частичного разрушения поверхности солеотвалов посредством ветровой эрозии происходит снос пыли с открытых участков, что причиняет окружающей среде значительный ущерб.

Большую проблему с точки зрения загрязнения окружающей среды представляют собой места захоронения буровых шламов. По приблизительным оценкам в настоящее время на территории Российской Федерации накоплено свыше 3 млн. тонн нефтяных шламов, причем большая их часть имеет возраст, доходящий до нескольких десятков лет [4]. Хотя в настоящее время разработано много методов переработки и обезвреживания бурового шлама перед захоронением, однако из-за высоких материальных, энергетических и финансовых затрат этих методов чаще всего проблему их утилизации решают просто: из амбара, где находятся буровые шламы, выкачивают свободную жидкость, после чего остатки бурового шлама присыпают цементом и после отверждения засыпают грунтом [5]. Такое захоронение с необезвреженным буровым шламом со временем под воздействием атмосферных факторов разрушается и в сухую погоду начинается пыление с открывшихся участков.

Негативное воздействие на окружающую среду оказывают и обезвоженные осадки сточных вод, образующиеся на очистных сооружениях, которые хранятся на иловых площадках. При несвоевременной утилизации таких отходов, особенно в условиях изменения климата (увеличения количества жарких и сухих дней) возникает угроза выброса мелкодисперсных загрязняющих веществ в атмосферный воздух [6, 13].

Существует целый ряд способов обеспыливания и закрепления пылящих поверхностей, которые заключаются в их обработке различными реагентами, растворами и составами, которые создают на поверхности прочный защитный слой [14, 15]. Наиболее экологичным способом постоянного закрепления пылящей поверхности является биологическое зарастание ее растительностью, для чего поверхность отвалов обрабатывают грунтовыми смесями, состоящими из воды, удобрений, семян трав и мульчирующих добавок (глина, опилки, торф и др.) [16]. Однако этот способ достаточно дорогой и часто затруднен или вообще невозможен технически. Поэтому обычно идут по пути обработки (пропитки) поверхностного пылящего слоя составами, имеющими выраженные клеящие свойства [17, 18], что приводит к агломерации и слипанию частиц пыли и образованию после высыхания на поверхности стекловидного прочного и водостойкого покрытия (корки). Для этих целей применяют цемент, известь, жидкое стекло, битумы, смолы, растворы различных полимеров (в первую очередь акриловых) и другие вещества [7–10]. Однако применение многих реагентов (соли, битумы, смолы и т. д.) может приводить к загрязнению грунтовых вод вредными компонентами [19, 20]. В этой связи разработка новых и усовершенствование существующих способов снижения пыления является актуальной задачей.

Цель работы – разработка состава, позволяющего получать на пылящих поверхностях прочного и водостойкого покрытия, обеспечивающего полное подавление сноса пыли с поверхности сыпучих пород, не содержащего дорогих и дефицитных компонентов и определение основных эксплуатационных свойств получаемых защитных покрытий.

Материалы и методы исследования

Среди водорастворимых полимеров, пригодных в качестве основы пылеподавляющих составов, особый интерес представляют различные акриловые полимеры, которые могут быть получены из полиакрилонитрила – крупнотоннажного и сравнительно недорогого полимера, а также из отходов его переработки. Поэтому в качестве исходных продуктов использовали отходы синтетического полиакрилонитрильного волокна «Нитрон Д» (производитель ОАО «Полимир», г. Полоцк), которые образуются при производстве искусственного меха на ОАО «Белфа» (г. Жлобин).

Для получения водорастворимого акрилового полимера указанные волокна гидролизуют 5 %-ным водным раствором гидроксида натрия из расчета 100 г NaOH на 126 г волокна в закрытой емкости при температуре 80–90 °C в течение 4 ч. Получали вязкий раствор продуктов гидролиза с водородным показателем pH = 11,5 – 12,0, который отстаивали в течение 24 ч и фильтровали через холст для удаления остатков неразложившихся волокон и случайных примесей. Содержание сухого вещества в очищенном растворе составляло 10–12 мас. % (в зависимости от исходного количества волокна и наличия нерастворимых продуктов). По результатам ранее проведенных исследований [11, 12] в макромолекулах полученного сополимера не содержится нитрильных и карбоксильных функциональных групп, но присутствуют акриламидные и карбоксилатные группы. Молекулярная масса сополимера составляет 10^4 – 10^5 . Вторым компонентом разрабатываемого состава было выбрано натриевое жидкое стекло по ГОСТ 13078-81 с силикатным модулем (молярное отношение SiO_2 к Na_2O) в пределах 2,6–3,0.

Раствор продуктов гидролиза полиакрилонитрильного волокна хорошо разбавляется водой и совмещается с натриевым жидким стеклом в любых пропорциях с образованием устойчивого бинарного силикатполимерного раствора, так как они оба являются щелочными полиэлектролитами. Признаков коагуляционных процессов в таком растворе не наблюдалось после трех месяцев хранения. Наличие в исследуемом составе вяжущих веществ силикатной и полимерной природы предполагает его высокую адгезию к обрабатываемым поверхностям различной химической природы. Рабочий состав для закрепления пылящих поверхностей изготавливали путем последовательного растворения компонентов (продуктов гидролиза и жидкого стекла) в воде. Краевой угол смачивания исследуемых растворов оценивали методом лежащей капли, для чего на поверхность стеклянной пластинки помещали каплю жидкости и после ее растекания и формирования равновесной формы проводили фотографирование профили капли веб-камерой.

Оценку свойств разработанного состава проводили на лабораторных моделях наиболее распространенных сыпучих отходов различных производств.

Модель 1. Отходы от сжигания каменного угля в котельных в виде золы влажностью 12 ± 2 %. Золу сушили, насыпали в стальной поддон размером 40×20×10 см, разравнивали и подвергали уплотнению на вибростол. Испытуемый состав для закрепления пылящих поверхностей с помощью ручного пульверизатора равномерно наносили на поверхность золы в количестве 2 л/м². Обработанную модель выдерживали в течение 24 ч при температуре 20 ± 5 °C и подвергали испытанию.

Модель 2. Фосфогипс Гомельского химического завода влажностью 12 ± 3 %. Испытания проводили аналогично модели 1.

Модель 3. Песок формовочный по ГОСТ 2138-91. Испытания проводили аналогично предыдущим моделям.

Для оценки эффективности разработанного состава определяли усилие продавливания полученного на поверхности породы твердого покрытия. Усилие продавливания определяли с помощью грунтового пенетromетра ПБ-1Ф с конусным индентором с углом конуса накопника 30°. Величину усилия продавливания определяли как отношение стандартной нагрузки к площади образующегося в покрытии следа от конуса. Для определения водостойкости покрытие обрабатывали водой с помощью пульверизатора из расчета 1 л/м². Затем модели выдерживали 1 ч при температуре 20 ± 5 °C для пропитки покрытия водой и определяли усилие продавливания.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Для определения эффективности смачивающей способности разрабатываемого состава, которая проявляется в растекании по обрабатываемой поверхности, проникновении жидкости вглубь сыпучих пород и образовании прочного наружного слоя были проведены исследования по определению краевого угла смачивания состава от соотношения применяемых компонентов (рисунок 1). Установлено, что величина краевого угла смачивания θ каплей жидкого стекла поверхности стеклянной пластины зависит от содержания в нем продуктов гидролиза. Как следует из рисунка 1 стандартный раствор (50 %) жидкого стекла обладает сравнительно невысокой смачива-

ющей способностью (угол смачивания $\theta = 40^\circ$). При введении в него 5–20 мас.% продуктов гидролиза значение краевого угла смачивания уменьшается с 40° до 20° и поэтому дальнейшее повышение их содержания нецелесообразно.

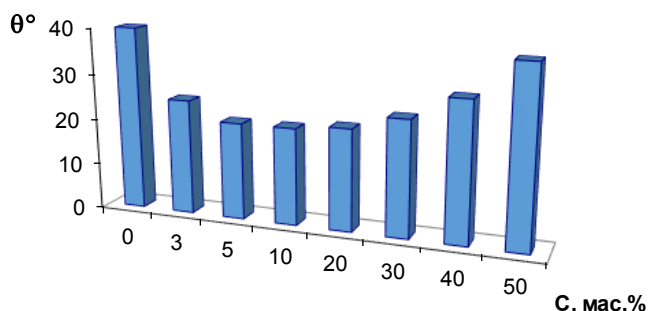


Рисунок 1 – Зависимость величины краевого угла смачивания θ жидкими стеклом поверхности стеклянной пластины от содержания в нем продуктов гидролиза C, мас.%

Таким образом, продукты щелочного гидролиза полиакрилонитрильного волокна значительно увеличивают смачивающую способность жидкого стекла, что приводит к увеличению глубины проникновения состава внутрь обрабатываемых сыпучих пород и созданию стабильной поверхностной структуры из связующего и частиц дисперсной породы.

На рисунке 2 приведена поверхность исходного фосфогипса после виброуплотнения (а) и поверхность фосфогипса после обработки исследуемым составом для закрепления пылящих поверхностей и сушки течение 24 ч при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ (б). Видно, что после обработки поверхность становится более гладкой и покрыта твердым наружным слоем (коркой), в некоторых местах которой возможно появление небольших трещин, связанных с усадкой материала при высыхании.

На рисунке 3а приведена фотография фрагментов разрушения покрытия (корки) сформированного на поверхности фосфогипса после механического воздействия на него, а на рисунке 3б – поперечный излом такого фрагмента.

Видно, что закрепляющий состав пропитывает обрабатываемый материал неравномерно, но проникает достаточно глубоко и после высыхания образует твердое защитное покрытие.



а

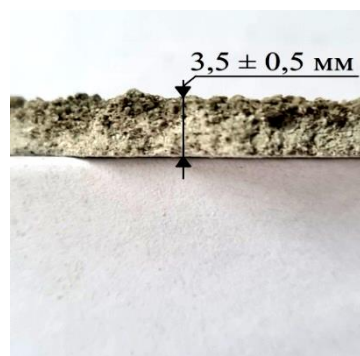


б

Рисунок 2 – Вид поверхности слоя фосфогипса исходного необработанного (а) и обработанного пылеподавляющим составом (б)



а



б

Рисунок 3 – Вид сверху фрагментов разрушения покрытия после механического воздействия (а) и вид сбоку границы разрушения фрагмента покрытия (корки), образованного на поверхности фосфогипса (б)

В таблице 1 приведены составы для закрепления пылящих поверхностей конкретного выполнения.

На рисунке 4 представлены результаты сравнительных испытаний покрытий, полученных при обработке пород разработанными составами в сравнении с широко известным составом-пылеподавителем FLOSET S 44 (Франция), который представляет собой водную дисперсию акрилового сополимера (состав номер 4).

Таблица 1 – Составы для закрепления пылящих поверхностей, мас.%

Компонент	Номер составов		
	1	2	3
Жидкое стекло	2,0	5,0	8
Раствор продуктов гидролиза (по сухому остатку)	0,5	1,5	2,5
Вода	97,5	93,5	89,5

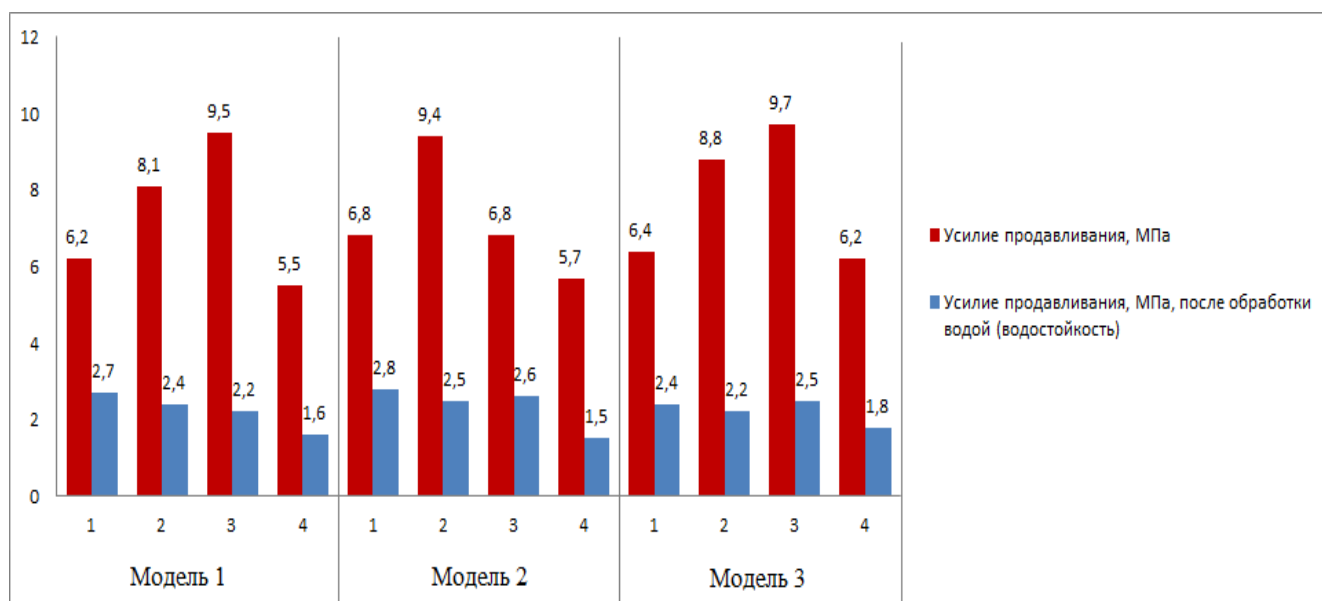


Рисунок 4 – Изменения усилий продавливания покрытий различных составов (1–4) моделей 1, 2, 3 до и после обработки водой

Как следует из сравнения полученных данных, покрытия, сформированные из разработанного состава, обладают более высокой механической прочностью и хорошей устойчивостью к воздействию влаги (дождя) по сравнению с известным составом. Исследуемый состав прост в изготовлении, не требует сложного оборудования, имеет длительный (до 3 месяцев) срок хранения, что расширяет области его применения. Готовый состав наносят на обрабатываемую поверхность с помощью поливочных автомобилей. Сравнительно небольшие участки пылящих поверхностей, требующие высокого качества пылеподавления, например сыпучие породы, хранящиеся на открытых складах, обрабатывают вручную с помощью пневмораспылителей. Рекомендуемый расход готового состава для успешного закрепления пылящих поверхностей 1,5–2,5 л/м² в зависимости от гранулометрического состава обрабатываемой породы, ее влажности и выбранной концентрации применяемого состава.

Заключение

Таким образом, разработанный состав на основе жидкого стекла и продуктов гидролиза отходов полиакрилонитрильного волокна может быть успешно использован для закрепления пылящих поверхностей путем формирования на их поверхностях прочных пылеподавляющих слоев. Разработанный состав не содержит дорогих или дефицитных компонентов, прост в изготовлении, не требует сложного оборудования и имеет длительный (до 3 месяцев) срок хранения. Состав можно применять как для обработки больших площадей породных отвалов, хвостохранилищ, золоотвалов, шламохранилищ, так и для небольших участков пылящих поверхностей, например сыпучих продуктов, хранящихся на открытых площадках, а также подъездных дорог и др. Применение разработанного состава позволит успешно решать экологические проблемы, связанные с пылью, а кроме того является хорошим способом утилизации отходов синтетического полиакрилонитрильного волокна.

Список цитированных источников

1. Утилизация отходов Гомельского химического завода с получением товарной продукции / А. Г. Губская, Т. В. Воловик, А. П. Гапотченко, И. Н. Горбач // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 89–107. – DOI: 10.35579/2076-6033-2019-11-07.
2. Шершнева, О. В. Оценка воздействия отходов фосфогипса на компоненты окружающей среды / О.В. Шершнева // Экологический вестник. – 2016. – № 2. – С. 97–103.
3. Семашко, А. В. Экологические проблемы Солигорского горнопромышленного района / А. В. Семашко, С. А. Федотова // Сборник материалов 72-й студенческой научно-технической конференции, 20–28 апреля 2016 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2016. – С. 264–267.
4. Лаверов, Н. П. Фундаментальные аспекты освоения ресурсов нефти и газа и шельфа России: стратегия, перспективы и проблемы / Н. П. Лаверов, В. И. Богоявленский, И. В. Богоявленский // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 2. – С. 4–13.
5. Максимов, А. Д. Буровые отходы: проблемы и решения / А. Д. Максимов // Промышленность и экология Севера. – 2011. – № 1. – С. 48–49.
6. Невзорова, А. Б. Влияние изменения климата на сферу обращения с активным илом сточных вод / А. Б. Невзорова. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2022. – 109 с.
7. Немировский, А. В. Применение различных способов пылеподавления на поверхности хвостохранилища / А. В. Немировский, Е. Н. Сторожев // Горный журнал. – 2021. – № 6. – С. 103–105.
8. Ляшенко, В. И. Обоснование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ гидрометаллургического производства / В. И. Ляшенко, А. А. Гуринов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 9. – С. 58–72.
9. Study on preparation and properties of antifreeze compound road dust suppressant / Shiyang Xia, Ziliang Song, Xiaoliang Zhao [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-67683-6> (date of access: 22.02.2025).
10. Композиции водорастворимых полимеров для закрепления засоленных песков Арала / Б. А. Жумабаев, А. С. Алламураева, К. Ш. Зарипбаев, Л. Г. Аймурзаева // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. – 2023 – № 2 (104). – URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/14944> (дата обращения: 14.02.2025).
11. Влияние природы сополимеров акрилонитрила на химический состав продуктов их щелочного гидролиза / Л. П. Круль, Л. Б. Якимцова, Ю. И. Матусевич, Д. В. Кракодеев // Весті НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2000. – № 1. – С. 103–105.
12. Злотников, И. И. СОЖ для механической обработки стекла на основе растворов полимеров / И. И. Злотников, П. А. Хило, М. И. Зубрицкий // Трение и износ. – 2007. – Т. 28, № 3. – С. 301–304.

13. Невзорова, А. Б. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь / А. Б. Невзорова, О. В. Шершнёв // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2024. – № 2 (283). – С. 194–200. – DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-22.
14. Song, Q. Research on intelligent green mining technology of open-pit mine / Q. Song // Min. Technol. – 2020. – Vol. 20. – P. 7–9.
15. Исследование органических составов для снижения аэротехногенной нагрузки от автомобильных дорог угольных разрезов / А. В. Кацубин, С. В. Ковшов, И. С. Ильяшенко, В. М. Маринина // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 1. – С. 63–67. – DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-63-67.
16. Подображин, С. Н. Исследование составов для предотвращения пыления открытых поверхностей при добыче угля / С. Н. Подображин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 1. – С. 67–74.
17. Рыбичев, А. А. Оценка эффективности пылеподавления с использованием смачивающих растворов / А. А. Рыбичев, Б. П. Пернебек // Уголь. – 2023. – № 12. – С. 60–63. – DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-60-63.
18. Abnormal concentration and origin of heavy hydrocarbon in upper permian coal seams from Enhong syncline, Yunnan, China / Fengjuan Lan, Yong Qin, Ming Li [et al.] // Journal of Earth Science. – 2012. – No 23. – P. 842–853. – DOI: 10.1007/s12583-012-0294-x.
19. Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами / Т. В. Дмитриева, Р. П. Куцына, А. А. Безродных [и др.] // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 7. – С. 14–23.
20. Исмаилов, Б. Т. Экономико-математическая модель оценки эколого-экономической эффективности мер по снижению пылегазового загрязнения окружающей среды при открытой добыче доломитов / Б. Т. Исмаилов // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – № 2. – С. 49–55.
7. Nemirovskij, A. V. Primenenie razlichnyh sposobov pylepodavleniya na poverhnosti hvostohranilishcha / A. V. Nemirovskij, E. N. Storozhev // Gornyj zhurnal. – 2021. – № 6. – С. 103–105.
8. Lyashenko, V. I. Obosnovanie prirodohrannyh tekhnologii i sredstv dlya pylepodavleniya poverhnostej hvostohranilishch gidrometallurgicheskogo proizvodstva / V. I. Lyashenko, A. A. Gurin // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2018. – № 9. – С. 58–72.
9. Study on preparation and properties of antifreeze compound road dust suppressant / Shiyang Xia, Ziling Song, Xiaoliang Zhao [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-67683-6> (date of access: 22.02.2025).
10. Kompozicii vodorastvorimyh polimerov dlya zakrepleniya zasolennyh peskov Arala / B. A. ZHumabaev, A. S. Allamuratova, K. SH. Zariptbaev, L. G. Ajmurzaeva // Universum: himiya i biologiya: elektron. nauchn. zhurn. – 2023. – № 2 (104). – URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/14944> (data obrashcheniya: 14.02.2025).
11. Vliyaniye prirody sopolimerov akrilonitrila na himicheskij sostav produktov ih shchelochnogo gidroliza / L. P. Krul', L. B. YAkimcova, YU. I. Matushevich, D. V. Krakodeev // Vesci NAN Belarusi. Ser. him. nauk. – 2000. – № 1. – С. 103–105.
12. Zlotnikov, I. I. SOZH dlya mekhanicheskoy obrabotki stekla na osnove rastvorov polimerov / I. I. Zlotnikov, P. A. Hilo, M. I. Zubrickij // Trenie i iznos. – 2007. – T. 28, № 3. – С. 301–304.
13. Nevzorova, A. B. Nakopleniye othodov proizvodstva i ih vliyaniye na sostoyaniye podzemnyh vod v Respublike Belarus' / A. B. Nevzorova, O. V. SHershnyov // Trudy BGTU. Ser. 2, Himicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geoekologiya. – 2024. – № 2 (283). – С. 194–200. – DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-22.
14. Song, Q. Research on intelligent green mining technology of open-pit mine / Q. Song // Min. Technol. – 2020. – Vol. 20. – P. 7–9.
15. Issledovaniye organicheskikh sostavov dlya snizheniya aerotekhnogennoj nagruzki ot avtomobil'nyh dorog ugo'lynyh razrezov / A. V. Kacubin, S. V. Kovshov, I. S. Il'yashenko, V. M. Marinina // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2020. – № 1. – С. 63–67. – DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-63-67.
16. Podobrazhin, S. N. Issledovaniye sostavov dlya predotvrashcheniya pyleniya otkrytyh poverhnostej pri dobyche uglya / S. N. Podobrazhin // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugo'lynoy promyshlennosti. – 2022. – № 1. – С. 67–74.
17. Rybichev, A. A. Ocenka effektivnosti pylepodavleniya s ispol'zovaniem smachivayushchih rastvorov / A. A. Rybichev, B. P. Pernebek // Ugol'. – 2023. – № 12. – С. 60–63. – DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-60-63.
18. Abnormal concentration and origin of heavy hydrocarbon in upper permian coal seams from Enhong syncline, Yunnan, China / Fengjuan Lan, Yong Qin, Ming Li [et al.] // Journal of Earth Science. – 2012. – No 23. – P. 842–853. – DOI: 10.1007/s12583-012-0294-x.
19. Effektivnost' ukrepleniya tekhnogennoy grunta mineral'nym modifikatorami / T. V. Dmitrieva, R. P. Kucyna, A. A. Bezrodnyh [i dr.] // Vestnik BGTU im. V. G. SHuhova. – 2019. – № 7. – С. 14–23.
20. Ismailov, B. T. Ekonomiko-matematicheskaya model' ocenki ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti mer po snizheniyu pylegazovogo zagryazneniya okruzhayushchej sredy pri otkrytoj dobyche dolomitov / B. T. Ismailov // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. – 2012. – № 2. – С. 49–55.

References

1. Utilizatsiya othodov Gomel'skogo himicheskogo zavoda s polucheniem tovarnoj produktsii / A. G. Gubskaya, T. V. Volovik, A. P. Gapotchenko, I. N. Gorbach // Problemy sovremennoy betona i zhelezobetona: sb. nauch. tr. / In-t BelNIISt; redkol.: O. N. Leshkevich [i dr.]. – Minsk, 2019. – Vyp. 11. – С. 89–107. – DOI: 10.35579/2076-6033-2019-11-07.
2. SHershnev, O. V. Ocenka vozdeystviya othodov fosfogipsa na komponenty okruzhayushchej sredy / O. V. SHershnev // Ekologicheskij vestnik. – 2016. – № 2. – С. 97–103.
3. Semashko, A. V. Ekologicheskie problemy Soligorskogo gornopromyshlennogo rajona / A. V. Semashko, S. A. Fedotova // Sbornik materialov 72-j studencheskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, 20–28 aprelya 2016 g. / Belorusskij nacional'nyy tekhnicheskij universitet. – Minsk, 2016. – С. 264–267.
4. Laverov, N. P. Fundamental'nye aspekty osvoeniya resursov nefiti i gaza i shel'fa Rossii: strategiya, perspektivy i problemy / N. P. Laverov, V. I. Bogoyavlenskij, I. V. Bogoyavlenskij // Arktika: ekologiya i ekonomika. – 2016. – № 2. – С. 4–13.
5. Maksimov, A. D. Burovye othody: problemy i resheniya / A. D. Maksimov // Promyshlennost' i ekologiya Severa. – 2011. – № 1. – С. 48–49.
6. Nevzorova, A. B. Vliyaniye izmeneniya klimata na sferu obrashcheniya s aktivnym ilom stochnykh vod / A. B. Nevzorova. – Gomel' : GGTU im. P. O. Suhogo, 2022. – 109 s.

Материал поступил 06.03.2025, одобрен 10.03.2025, принят к публикации 13.03.2025