

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТВАЛЬНЫХ МАССИВОВ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ОТ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ

**О. Н. Дабижа, Д. В. Бесполитов,  
Н. А. Коновалова, П. П. Панков, Е. А. Руш**

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Чита, Россия;  
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия*

*Рецензент д-р мед. наук, профессор Н. Д. Авсеенко*

**Ключевые слова:** ветровая эрозия; вскрышные породы; отвальные массивы; отходы горнодобывающей промышленности; пыление отвалов; пылеподавление; пылесвязывающий состав; стабилизирующая добавка.

**Аннотация:** Изучена эффективность применения стабилизирующей добавки StabOL для закрепления поверхности отвалов вскрышных пород. Установлено, что среднемассовый радиус надмолекулярных образований в полимерном растворе StabOL составляет 593 нм. Выявлено, что данный полимерный раствор образует высококачественную пленку: прозрачную, однородную, без трещин и кристаллических включений. Установлены фазовый и гранулометрический составы вскрышных пород для формирования устойчивых к воде и механическому воздействию органоминеральных агрегатов частиц. Показано, что использование экологически безопасного полимерного раствора StabOL позволяет снизить содержание высокодисперсных частиц и является эффективным способом защиты отвальных массивов вскрышных пород от ветровой эрозии.

---

Дабижа Ольга Николаевна – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник НИ ПТБ «ЗабИЖТ-Инжиниринг», e-mail: dabiga75@mail.ru, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Чита; Бесполитов Дмитрий Викторович – аспирант кафедры «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск; Коновалова Наталия Анатольевна – кандидат химических наук, доцент, начальник НИ ПТБ «ЗабИЖТ-Инжиниринг»; Панков Павел Павлович – младший научный сотрудник НИ ПТБ «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Чита, Россия; Руш Елена Анатольевна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия.

## Введение

Забайкальский край, являясь одним из старейших горнорудных районов Российской Федерации, обладает стратегическими общероссийскими запасами урана, молибдена, лития, титана, золота и других полезных ископаемых [1]. Однако интенсивность горного производства сопровождается усилением эксплуатации природных ресурсов и появлением техногенных ландшафтов. Открытый способ отработки приводит к образованию трещин, оползней, обвалов, пустот, нарушений напряженно-деформированного состояния массива, активации эрозионных процессов, загрязнению атмосферного воздуха, водных ресурсов, растительности и среды обитания человека в целом [2]. Незакрепленные поверхности отвалов вскрышных пород при определенных метеорологических условиях приводят к интенсивному пылению. Кроме того, техногенные грунты, обладающие значительной поглотительной способностью, могут прочно удерживать токсиканты в своем составе [3], поэтому отвальные массивы выступают средой, аккумулирующей ксенобиотика, и являются источником вторичного загрязнения посредством пыления [4].

Множественные эколого-гигиенические исследования подтверждают взаимосвязь атмосферных загрязнений и заболеваемости населения. Хроническое воздействие токсикантов на организм человека способствует возникновению и развитию общетоксических, канцерогенных, мутагенных и других эффектов [5]. Загрязнение атмосферного воздуха приводит к развитию атеросклероза, коронарных и дегенеративных заболеваний сердца, рака легких, эмфиземы, бронхиальной астмы и других заболеваний, а также росту смертности от сердечно-сосудистой патологии [6]. Загрязнение воздуха твердыми частицами размером менее 10 мкм является максимально опасным, так как они составляют до 70 % всех взвешенных частиц и обладают способностью свободно проникать в живые организмы [7]. Частицы микроразмерного ряда адсорбируют из окружающей среды токсичные вещества и, попадая во внутреннюю среду организма, накапливаются в органах и тканях, оказывая мощнейшее токсическое действие [8]. Установлено, что повышение концентрации высокодисперсных частиц РМ 2,5 приводит к развитию артериальной гипертензии, острых сердечно-сосудистых событий, риску тромбообразования и сердечно-сосудистой смертности [9, 10]. В этой связи снижение концентрации частиц микроразмерного ряда в окружающей среде представляется актуальной задачей.

Одним из путей решения данной проблемы является закрепление поверхности отвалов пылесвязывающими составами, обеспечивающими высокую адгезию к минеральным частицам, однако применяемые на практике пылесвязывающие составы (нефтяной гудрон, едкий натр, битум, сульфатно-спиртовая барда и др.) токсичны и малоэффективны, поскольку имеют незначительные сроки обеспыливающего действия.

Наиболее перспективным способом борьбы с пылением является образование на поверхности техногенных грунтов связной структуры, обладающей ветроустойчивостью, водонепроницаемостью и экологической безопасностью. Таким условиям отвечают стабилизирующие добавки на основе органических высокомолекулярных соединений, позволяющие снизить интенсивность пыления за счет увеличения крупности частиц.

Известны составы для подавления пыли грунта, гравия, почвы, золы уноса ТЭС, включающие, масс. %: полиакрилат 0 – 20, поливинилацетат 0 – 20, глицерин 40 – 95 и воду 0 – 40 [11]; сополимер 1 – 20 (20 – 80 мол. % метакрилата щелочного металла и 80 – 20 мол. % метилметакрилата) и воду 99 – 80 [12]. Поэтому применение стабилизирующей добавки полимерной природы StabOL может быть также эффективным для создания связной структуры на поверхности техногенных грунтов.

Цель исследования – изучение эффективности применения стабилизирующей добавки StabOL для закрепления поверхности отвалов вскрышных пород.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны крупнотоннажные отходы золотодобывающей промышленности – вскрышные породы Балецкого (Б), Каменского (К) и Тасеевского (Т) карьеров (Забайкальский край). Химический состав вскрышных пород, изученный методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре эмиссионном OPTIMA 5300DV (167...403 нм, PerkinElmer, США; схема ICP95A), приведен в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показал имеющиеся отличия по содержанию щелочных, щелочноземельных металлов и железа.

Фазовый состав вскрышных пород, исследованный методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.0 (излучение  $\text{CuK}\alpha$ , Ni-фильтр, 25 кВ, 20 мА,  $2\theta^\circ = 3...55$ , шаг сканирования  $0,05^\circ$ ; программа Diffraction<sup>plus</sup>, PDF-2, 2007 г.), следующий:

– Балецкий карьер: кварц  $\text{SiO}_2$  (2,46; 2,28; 1,98 Å); альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (3,78; 3,19; 2,56 Å); микроклин  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  (3,48; 3,24; 2,90 Å); иллит  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$  (10,05; 5,00; 2,90 Å); каолинит  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$  (7,16; 3,58; 1,67 Å);

– Каменский карьер: кварц  $\text{SiO}_2$  (2,46; 2,28; 1,98 Å); альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (6,42; 3,77; 2,93 Å); микроклин  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  (4,04; 3,24; 2,89 Å); иллит  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$  (10,05; 3,19; 2,00 Å); каолинит  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$  (7,18; 3,58; 3,19 Å); гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,70 Å);

– Тасеевский карьер: кварц  $\text{SiO}_2$  (3,36; 2,46; 2,13 Å); каолинит  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (7,23; 2,57; 2,34 Å); иллит  $\text{K}_{0,7}\text{Al}_{2,1}(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (5,16; 4,38; 3,30 Å).

Таблица 1

### Химический состав вскрышных пород

Карьер	ω, масс. %*											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	п.м.	п.п.п.
Балецкий	62,1	12,8	4,2	3,5	1,4	1,2	1,1	0,4	0,2	0,1	5,9	7,0
Каменский	67,6	12,1	3,6	2,7	0,9	0,5	2,5	0,4	0,1	0,1	5,7	3,7
Тасеевский	67,0	12,6	2,1	1,5	0,3	0,4	0,1	0,6	0,1	–	5,9	9,3

\*п.м. – примеси микроэлементов; п.п.п. – потери при прокаливании; содержание оксида хрома (II) во всех породах составляет 0,1 масс. %

В таблице 2 приведены данные полуколичественного анализа фазового состава. Найдено, что вскрышная порода Тасеевского карьера выделяется повышенным содержанием кварца и меньшим количеством фаз. Кроме того, порода БалеЙского карьера содержит меньше глинистых минералов – каолинита и иллита.

Термический анализ проводили с помощью синхронного термоанализатора STA 449F1 NETZSCH ( $m = 30...33$  мг,  $t = 30...997$  °С, Pt тигли, динамичная атмосфера аргона, скорость нагрева 20 °С/мин). На термограммах исходных образцов первый эндотермический минимум связан с удалением адсорбционной воды и наблюдается при 141; 161; 146 °С для вскрышных пород БалеЙского, Каменского и Тасеевского карьеров, соответственно. О присутствии в них кварца свидетельствует характерный небольшой эндоэффект при 576; 576 и 566 °С соответственно. Величина потери массы при 997 °С составляет 6,31; 3,45 и 10,01 % для перечисленных выше пород соответственно. Следует отметить, что эндоэффект при 161 °С у вскрышной породы Каменского карьера отличается широкой формой и сопровождается незначительной потерей веса ~ 0,6 %, что в 3-4 раза меньше, чем аналогичные эффекты на термограммах пород БалеЙского и Тасеевского карьеров.

Для получения высокодисперсных частиц из вскрышных пород с помощью сита отделяли тонкие фракции частиц крупностью менее 1 мм. Для увеличения содержания высокодисперсных частиц дополнительно измельчали пробы на стирателе вибрационном чашевом ИВЧ-3 (энергонапряженность 12 Вт/г, частота колебаний 23,4 Гц) в течение 1 минуты.

Полимерная добавка StabOL (S) представляет собой прозрачную вязкую жидкость; плотность, определенная пикнометрическим методом, составляет 1,20 г/см<sup>3</sup>; реакция среды pH = 8. Перед использованием стабилизирующую добавку StabOL разбавляли водой. Содержание добавки в водном растворе составляло 0,5 %. Чтобы устранить пенообразование, полимерный раствор отстаивали в течение 20 минут.

Для исследований методами оптической микроскопии и ИК-спектроскопии получали полимерные пленки. Для этого наносили полимерный раствор ( $\omega = 10$  масс.%) на предметное стекло методом полива и оставляли в воздушной атмосфере при 25 °С до полного высыхания.

Морфологию пленок изучали на стереомикроскопе с функцией плавного увеличения (ZOOM) серии RZ 3487MEIJ TECHNO CO., LTP, Япония. Увеличение изображений составляло  $\times 100 - \times 400$ .

Таблица 2

### Сравнительный анализ фазового состава вскрышных пород

Карьер	$\omega$ , масс.%					
	кварц	альбит	микроклин	иллит	каолинит	гематит
БалеЙский	35	26	21	10	8	–
Каменский	32	18	17	12	15	6
Тасеевский	72	–		11	17	–

Инфракрасный спектр пленки, полученной из полимерного раствора StabOL, регистрировали посредством инфракрасного Фурье-спектрометра SHIMADZU FTIR-8400S в области  $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$ . Отнесение полос поглощения,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 3728 ( $\nu\text{OH}$ ); 3352 ( $\nu\text{NH}$ ,  $\text{OH}$ ); 2942, 2913 ( $\nu_{\text{a+s}}\text{CH}_2$ ); 1663 ( $\nu\text{C} = \text{O}$ ); 1620 ( $\delta\text{OH}$ ); 1564 ( $\delta\text{NH}$ ); 1446, 1418 ( $\delta\text{CH}_2$ ); 1329 ( $\delta\text{CH} + \text{OH}$ ,  $\delta\text{CN}$ ); 1238 ( $\gamma\text{CH}$ ); 1139, 1094 ( $\nu\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ); 918 ( $\nu\text{C}-\text{C}$ ); 851 ( $\gamma\text{OH}$ ); 600 ( $\delta\text{CO}$ ).

Надмолекулярные образования в полимерном растворе StabOL исследовали методом спектра мутности с помощью фотометра КФК-3-«ЗОМЗ». Для измерений использовали кюветы толщиной 3 мм. Среднемассовый радиус надмолекулярных образований  $\bar{r}_w$  рассчитывали по формуле

$$\bar{r}_w = \frac{\alpha \lambda_{\text{cp}}}{2\pi}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – характеристическая функция от  $x = -\Delta \lg D / \Delta \lg \lambda$ ,  $D$  – оптическая плотность;  $\lambda_{\text{cp}}$  – среднее значение из используемого диапазона длин волн, деленное на показатель преломления растворителя (воды)  $n_0 = 1,333$ .

Качество пленки, полученной из полимерного раствора, оценивали по следующим признакам: однородности (наличия или отсутствия видимой границы расслоения), прозрачности, отсутствия трещин и кристаллических включений.

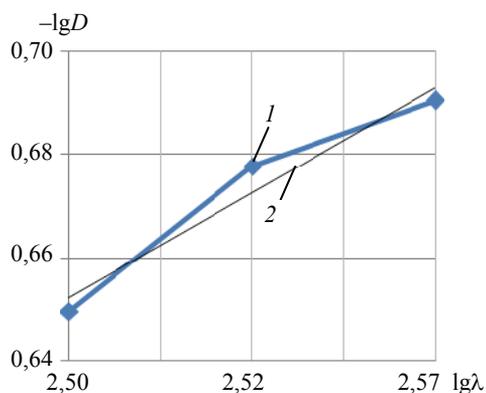
Агрегирующие свойства полимерного раствора S изучали путем сравнения гранулометрического состава высокодисперсных фракций исходных (Б; К; Т) и обработанных полимерным раствором (СБ; СК; СТ) вскрышных пород. Для этого отбирали пробу крупностью 0...1 мм массой 50 г и выкладывали тонким слоем на поверхность размером  $0,0254 \text{ м}^2$ . По всей поверхности равномерно распыляли  $20 \text{ см}^3$  полимерного раствора с содержанием активного вещества  $1 \text{ г}/100 \text{ см}^3$ . Обработанные пробы высушивали 24 часа на воздухе, после чего проводили ситовый анализ.

Водостойкость органоминеральных агрегатов, образованных из вскрышных пород после их обработки полимерным раствором, изучали двумя способами. Первый способ: обработанную полимерным раствором высокодисперсную фракцию вскрышной породы выкладывали тонким слоем на поверхность и равномерно распыляли по ней  $20 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$ . Пробы оставляли на 24 часа в воздушной атмосфере до полного высыхания. Далее проводили рассев на ситах 1 и 0,25 мм. Второй способ: отобранную часть надрешеточного продукта (10 крупных агрегатов частиц), полученного при испытаниях на сите размером меш 1 мм, помещали в чашку Петри. Затем наливали воду так, чтобы все находящиеся в ней агрегаты частиц покрылись водой. После этого наблюдали происходящее взаимодействие частиц с водой каждые 5 минут в течение 30 минут.

Оценку экологической безопасности вскрышных пород, обработанных полимерным раствором StabOL, проводили методом биотестирования с тест-объектами *Daphnia magna Straus* и *Chlorella vulgaris Beijer*.

## Результаты и обсуждение

Результаты исследования полимерного раствора StabOL, полученные методом спектра мутности, показали, что зависимость  $\lg D = f(\lg \lambda)$  прямая с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,954$  (рис. 1).



**Рис. 1. Зависимость логарифма оптической плотности полимерного раствора S от логарифма длины волны:**

1 – экспериментальные данные; 2 – линейная аппроксимация

Тангенс угла наклона прямой линии к оси абсцисс равен  $x = -\Delta \lg D / \Delta \lg \lambda = 0,61$ ; характеристическая функция светорассеяния [13]  $\alpha = 14,4$ ; среднее значение из используемого диапазона длин волн, деленное на показатель преломления воды:  $\lambda_{\text{ср}} = 258$  нм. Тогда получаем, что среднемассовый радиус надмолекулярных образований равен  $\bar{r}_w = 593$  нм. Следовательно, можно утверждать о наличии развитой вторичной структуры в полимерном растворе StabOL, что будет способствовать связыванию пылеватых частиц в органо-минеральные агрегаты.

На рисунке 2 показаны оптические изображения пленок исходного полимерного раствора (а, б) и полимер-минеральных смесей: полимерного раствора с рассеянными на нем пылеватыми частицами вскрышных пород (в, д, ж) и вскрышных пород, смоченных полимерным раствором (з, е, з).

Выявлено, что полимерный раствор StabOL образует высококачественную пленку: однородную, прозрачную, без трещин и кристаллических включений. Согласно классификации, приведенной в [14], оптические изображения пленки, полученной из полимерного раствора, можно отнести к инверсионному морфологическому типу. Отсутствие фазового расслоения позволяет ожидать возможность формирования структурированной органо-минеральной системы при обработке вскрышных пород.

У вскрышной породы Тасеевского карьера, содержащем в своем составе ~ 70 % кварца, наблюдается более плотная упаковка частиц (рис. 2, з). Большая склонность к агрегации частиц на полимерной поверхности регистрируется для образца СБ (рис. 2, в). В целом, имеем удовлетворительное распределение пылеватых частиц по поверхности полимерного раствора (рис. 2, в, д, ж).

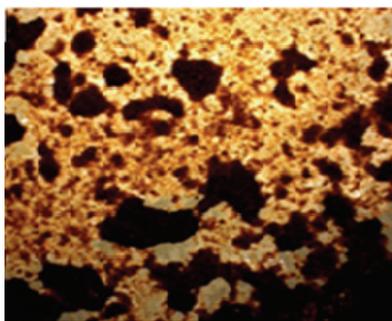
На рисунке 3 показано распределение частиц по размерам в исследуемых образцах. Найдено, что наибольшее содержание частиц размером менее 0,25 мкм (дисперсностью  $4 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$ ) имеет вскрышная порода Тасеевского карьера. В этом случае возможна наиболее плотная упаковка частиц, что согласуется с данными оптической микроскопии (рис. 2, з). Наименьшее содержание частиц дисперсностью более  $4 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$  – 4 масс.% имеют вскрышные породы Каменского карьера. Образцы Б и К, в основном,



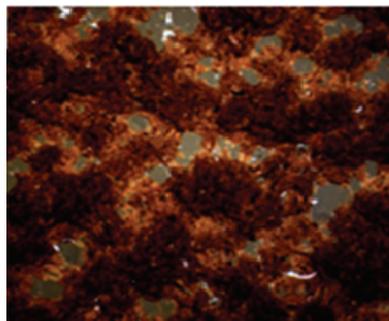
*a)*



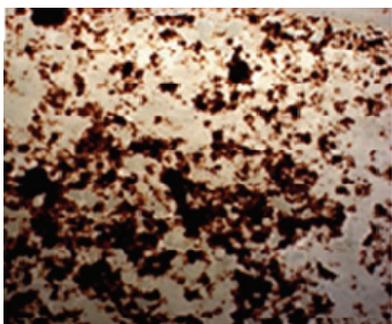
*б)*



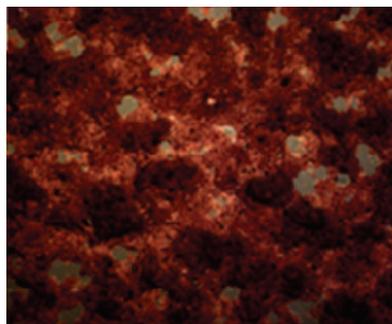
*в)*



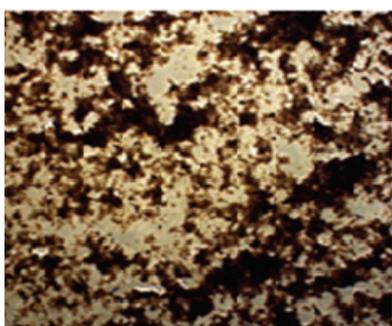
*г)*



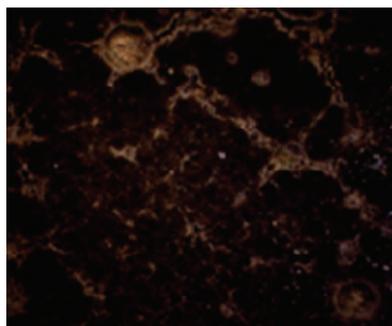
*д)*



*е)*

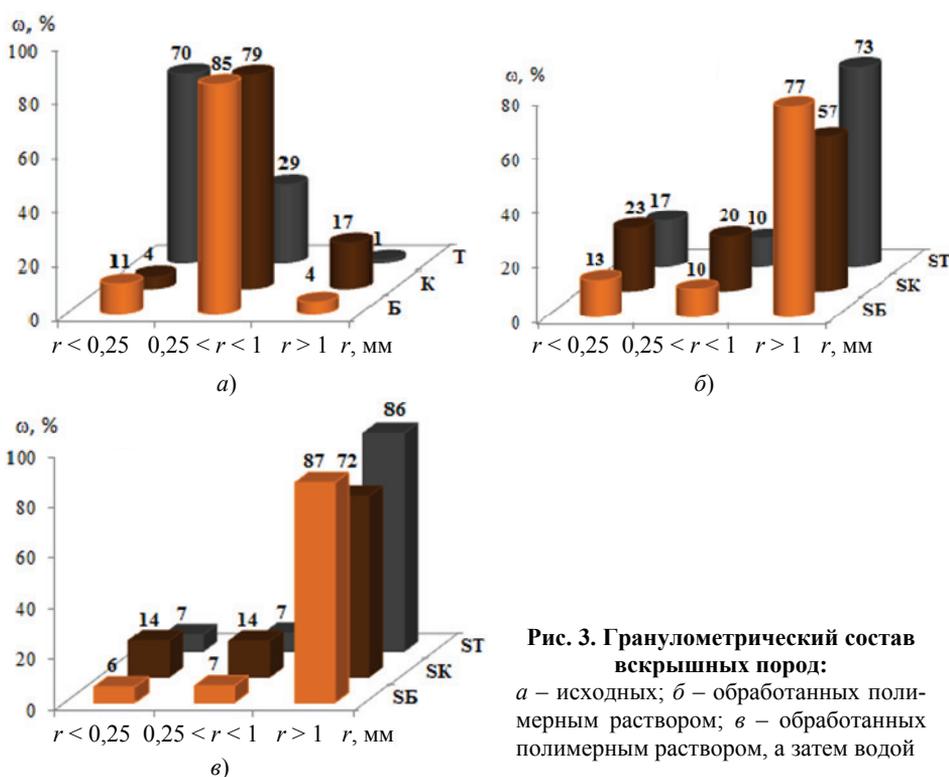


*ж)*



*з)*

**Рис. 2. Оптические изображения пленок ( $\times 100$ ,  $\times 200$ ):**  
*a, б* – полимерного раствора S; *в, г* – полимер-минерального SB;  
*д, е* – полимер-минерального SK; *ж, з* – полимер-минерального ST



**Рис. 3. Гранулометрический состав вскрышных пород:**

*а* – исходных; *б* – обработанных полимерным раствором; *в* – обработанных полимерным раствором, а затем водой

состоят из частиц размерами 0,25...1,00 мм и отличаются друг от друга содержанием фракций более 1 и менее 0,25 мм (см. рис. 3, *а*). Установлено, что применение полимерного раствора способствует увеличению содержания агрегатов частиц размерами более 1 мм (рис. 3, *б*, *в*).

Изменения размеров частиц тонких фракций вскрышных пород, обработанных полимерным раствором StabOL, в сравнении с исходным гранулометрическим составом вскрышных пород, приведены в табл. 3. Анализ данных табл. 3 показал, что после обработки полимерным раствором содержание агрегатов частиц размерами более 1 мм увеличивается от 40 до 73 %, а фракций 0,25...1 мм – уменьшается от 19 до 75 %.

Таблица 3

**Изменения гранулометрического состава частиц размерами  $r$ , мм, тонких фракций вскрышных пород после их обработки раствором StabOL  $\Delta w_1$  и последующей обработки водой  $\Delta w_2$**

Образец	$\Delta w_1, \%$			$\Delta w_2, \%$		
	$r < 0,25$	$0,25 > r > 1$	$r > 1$	$r < 0,25$	$0,25 > r > 1$	$r > 1$
SB	2	-75	73	-5	-78	83
SK	18	-59	40	9	-65	55
ST	-53	-19	72	-63	-22	85

Примечание. Знак «-» означает уменьшение содержания частиц данного размера.

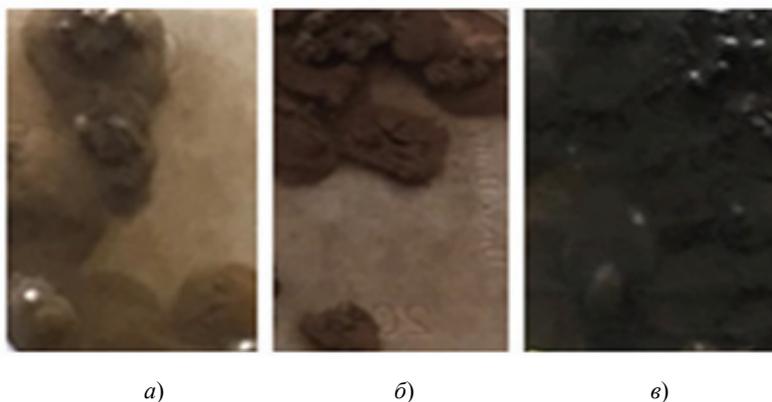
Высокодисперсные частицы менее 0,25 мм могут еще оставаться в составах (2 – 18 %), что связано, очевидно, с погрешностями пропитки порошков. После дополнительной обработки исследуемых образцов водой наблюдается увеличение содержания крупных (более 1 мм) агрегатов частиц на 10 – 15 % и уменьшение на 3 – 10 % содержания высокодисперсных фракций. Для образцов SB и ST на основе вскрышных пород Балейского и Тасеевского карьеров регистрируются максимальные и примерно равные изменения размеров частиц после их обработки полимерным раствором. В случае вскрышной породы Каменского карьера получены более низкие значения, что объясняется недостаточным содержанием высокодисперсных частиц (дисперсностью более  $40 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$ ) для образования коагуляционно-структурированной суспензии (4 масс.%) [15]. По эффективности формирования органоминеральных агрегатов и уменьшению содержания фракций частиц менее 1 мм исследуемые вскрышные породы можно разместить в следующий ряд:

$$ST \approx SB > SK.$$

Следовательно, StabOL представляется перспективным полимерным раствором, способствующим окомкованию и изменению гранулометрического состава высокодисперсных частиц.

Пылесвязывающее действие полимерного раствора будет тем эффективнее, чем более устойчивыми будут органоминеральные агрегаты размерами более 1 мм. Следовательно, чем в меньшей мере после воздействия воды наблюдается размывание агрегатов, тем эффективнее процесс пылесвязывания. Увеличение содержания частиц более 1 мм и уменьшение частиц менее 1 мм способствует повышению водостойкости органоминеральных агрегатов.

В ходе эксперимента обнаружено, что после обработки водой содержание частиц более 1 мм увеличивается на 10 – 15 %. Водостойкость органоминеральных агрегатов размерами более 1 мм изучали, отбирая их после ситового анализа и покрывая полностью водой в чашках Петри (рис. 4).



**Рис. 4. Устойчивость агрегатов органоминеральных частиц при их контакте с водой:**  
*a* – SB; *б* – SK; *в* – ST

## Стойкость органоминеральных агрегатов в воде

Образец	Прозрачность воды / целостность агрегатов		Сопутствующие явления	
	5 мин	30 мин	Наличие пены	Число пузырьков воздуха
SB	± / ±		+	1
SK	+ / +		-	4
ST	- / ±	- / -		

Примечание. Обозначения: «+» – имеет место; «±» – наблюдается частично; «-» – отсутствует.

Результаты наблюдений приведены в табл. 4, где анализируются прозрачность воды и целостность органоминеральных агрегатов в течение 30 минут. Кроме того, регистрируется наличие пены из-за поверхностно-активных свойств полимерного раствора и пузырьков воздуха на границе раздела фаз.

При окомковании рыхлого увлажненного дисперсного материала в поровом пространстве гранул замещается воздух, а более высокая дисперсность исходного сырья способствует увеличению объема воздуха [15]. Наличие пузырьков объясняется формированием многофазной системы «органоминеральный порошок – вода – воздух». Анализ данных табл. 4 позволил выявить, что целостность органоминеральных агрегатов и прозрачность воды вокруг них в большей степени наблюдаются для образцов SK и в меньшей – для образцов SB, однако органоминеральные агрегаты в образце ST разрушаются при их непосредственном контакте с водой. Это можно объяснить различием фазового состава, так как глинистые минералы и кварц легко впитывают воду (см. табл. 2).

Таким образом, при изучении водостойкости органоминеральных агрегатов, образованных в результате действия полимерного раствора StabOL на вскрышные породы, обнаружено, что количество частиц размерами более 1 мм сохраняется и, более того, увеличивается на 10 – 15 %. Наряду с этим, при непосредственном контакте с водой крупных органоминеральных агрегатов (5 мм и более) их целостность сохраняется при условии наличия в исходной породе полевых шпатов (альбитов, микроклинов в образцах SK и SB).

Токсичность проб вскрышных пород, обработанных полимерным раствором StabOL, определяли по смертности (летальности) *Daphnia magna Straus* и изменению оптической плотности тест-культуры – зеленой протокковой водоросли *Chlorella vulgaris Beijer*. Проведенные исследования позволили сделать вывод о безопасности для окружающей среды и здоровья человека полученных в настоящем исследовании образцов вскрышных пород, обработанных полимерным раствором StabOL.

## Заключение

Полученные с применением метода спектра мутности данные позволили установить, что в полимерном растворе присутствуют надмолекулярные образования со среднемассовым радиусом 593 нм. Показано, что морфология пленки, полученной из разбавленного раствора полимерной добавки StabOL, имеет инверсионный тип. При этом пленка прозрачная, однородная, не имеет трещин и кристаллических включений.

Агрегирующие свойства полимерного раствора изучены на вскрышных породах Балейского, Каменского и Тасеевского карьеров (фракция 0...1 мм). Выявлено, что в состав вскрышных пород входят кварц; полевые шпаты (альбит; микроклин); глинистые минералы (иллит; каолинит); гематит.

Методом ситового анализа установлено, что в результате обработки высокодисперсных фракций вскрышных пород полимерным раствором увеличивается содержание агрегатов частиц размером более 1 мм на 40 – 73 %. Найдено, что содержания 4 масс.% высокодисперсных частиц размерами менее 0,25 мм недостаточно для эффективного формирования коагуляционно-структурированной суспензии, необходимой для заполнения порового пространства окомкованных органоминеральных частиц.

Изучена водостойкость органоминеральных агрегатов, образованных после действия полимерного раствора. Выявлено, что при контакте с водой органоминеральных агрегатов размерами более 5 мм их целостность сохраняется, если в составе вскрышной породы, кроме кварца и глинистых минералов присутствуют минералы группы полевых шпатов (показано на примере вскрышной породы Тасеевского карьера). Тем не менее изменения гранулометрического состава вскрышных пород после их обработки полимерным раствором (то есть увеличение содержания частиц размерами более 1 мм на 10 – 15 %) убедительно свидетельствует об эффективности пылеподавления.

Полученные методом биотестирования на тест-объектах *Daphnia magna* Straus и *Chlorella vulgaris* Beijer данные свидетельствуют о безопасности для здоровья человека и окружающей среды образцов вскрышных пород, обработанных полимерным раствором StabOL. Следовательно, полимерный раствор StabOL можно рекомендовать для защиты отвалов вскрышных пород от ветровой эрозии.

### Список литературы

1. Авдеев, П. Б. Минерально-сырьевая база Забайкальского края и ее освоение в современных условиях / П. Б. Авдеев, Ю. М. Овешников // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2014. – № 5 (48). – С. 50 – 57.
2. Андроханов, В. А. Мониторинг почвенного покрова и рациональное использование земельных ресурсов в районах угледобычи / В. А. Андроханов // Вестн. науч. центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 2. – С. 126 – 130.

3. Critical Comparison of Soil Pollution Indices for Assessing Contamination with Toxic Metals / C. Cai, B. Xiong, Y. Zhang [et al.] // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2015. – Vol. 226, Issue 10. – P. 352.
4. The Impact of Gold Smelter Emissions on Vegetation and Soils of a Sub-Arctic Forest-Tundra Transition Ecosystem / D. Hocking, P. Kuchar, J. A. Plambeck, R. A. Smith // *Journal of the Air Pollution Control Association*. – 1978. – Vol. 28, Issue 2. – P. 133 – 137.
5. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) / Р. А. Голиков, Д. В. Суржиков, В. В. Кислицына, В. А. Штайгер // *Научное обозрение. Медицинские науки*. – 2017. – № 5. – С. 20 – 31.
6. Хачатрян, Т. С. Окружающая среда и здоровье населения (обзор литературы) / Т. С. Хачатрян // *Журнал экспериментальной и клинической медицины*. – 1981. – Т. 21, № 3. – С. 287 – 292.
7. Голохваст, К. С. Профиль атмосферных взвесей в городах и его экологическое значение / К. С. Голохваст // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. – 2013. – № 49. – С. 87 – 91.
8. Driscoll, K. E. Cytokine and Growth Factor Release by Alveolar Macrophages: Potential Biomarkers of Pulmonary Toxicity / K. E. Driscoll, J. K. Maurer // *Toxicology Pathology*. – 1991. – No. 19 (4). – P. 398 – 405.
9. Long-Term Effects of Ambient PM 2.5 on Hypertension and Blood Pressure and Attributable Risk among older Chinese Adults / H. Lin, Y. Guo, Y. Zheng [et al.] // *Hypertension*. – 2017. – Vol. 69, No. 5. – P. 806 – 812.
10. Табакаев, М. В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на распространенность сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения / М. В. Табакаев, Г. В. Артамонова // *Вестн. РАМН*. – 2014. – Т. 69, № 3-4. – С. 55 – 60. doi: 10.15690/vramn.v69i3-4.996
11. Patent U.S. 8066448. Dust Suppression Agent / R. W. Vitale, C. I. Detloff, D. A. Thomson. – Filed May 13, 2010. – Ser. No. 12/779897. – Patented November 29, 2011.
12. А. с. 1190067 СССР, МПК E21F 5/06. Состав для закрепления пылящих поверхностей / Н. С. Алфимова, П. Г. Беленький, А. Ю. Бойко, Б. С. Глебычев, Т. И. Давыденко, А. А. Литманович, А. Д. Маслов, А. В. Мозжухин, И. М. Папилов, М. Е. Певзнер, Е. В. Полякова, Г. Н. Смирнов, И. Я. Файдель, Б. В. Якобсон (СССР). – № 3757657/22-03 ; заявл. 29.06.1984 ; опубл. 07.11.1985, Бюл. 41. – 4 с.
13. Кленин, В. И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем / В. И. Кленин, С. Ю. Щеголев, В. И. Лаврушин. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1977. – 176 с.
14. Липатов, Ю. С. Коллоидная химия полимеров / Ю. С. Липатов. – Киев : Наукова думка, 1984. – 344 с.
15. Витюгин, В. М. Адгезионное взаимодействие частиц полидисперсного материала в процессах мокрой агрегации / В. М. Витюгин, Э. Н. Чулкова, И. Н. Ланцман // *Известия Томского политехн. ун-та. Химия и химическая технология*. – 1975. – Т. 272. – С. 173 – 178.

### References

1. Avdeyev P.B., Oveshnikov Yu.M. [Mineral and raw materials base of the Trans-Baikal Territory and its development in modern conditions], *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAYEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy* [Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits], 2014, no. 5 (48), pp. 50-57. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Androkhanov V.A. [Monitoring of soil cover and rational use of land resources in coal mining areas], *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti* [Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry], 2014, no. 2, pp. 126-130. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Cai C., Xiong B., Zhang Y., Li X., Nunes L.M. Critical Comparison of Soil Pollution Indices for Assessing Contamination with Toxic Metals, *Water, Air, and Soil Pollution*, 2015, vol. 226, issue 10, p. 352.
4. Hocking D., Kuchar P., Plambeck J.A., Smith R.A. The Impact of Gold Smelter Emissions on Vegetation and Soils of a Sub-Arctic Forest-Tundra Transition Ecosystem, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1978, vol. 28, issue 2, pp. 133-137.
5. Golikov R.A., Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Shtayger V.A. [Influence of environmental pollution on public health (literature review)], *Nauchnoye obozreniye. Meditsinskiye nauki* [Scientific Review. Medical sciences], 2017, no. 5, pp. 20-31. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Khachatryan T.S. [Environment and health of the population (review of literature)], *Zhurnal eksperimental'noy i klinicheskoy meditsiny* [Journal of Experimental and Clinical Medicine], 1981, vol. 21, no. 3, pp. 287-292. (In Russ.)
7. Golokhvast K.S. [The profile of atmospheric suspensions in cities and its ecological significance], *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of physiology and pathology of respiration], 2013, no. 49, pp. 87-91. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Driscoll K.E., Maurer J.K. Cytokine and Growth Factor Release by Alveolar Macrophages: Potential Biomarkers of Pulmonary Toxicity, *Toxicology Pathology*, 1991, no. 19 (4), pp. 398-405.
9. 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.
10. Tabakayev M.V., Artamonova G.V. [Influence of atmospheric air pollution by suspended substances on the prevalence of cardiovascular diseases among the urban population], *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences], 2014, vol. 69, no. 3-4, pp. 55-60, doi: 10.15690/vramn.v69i3-4.996 (In Russ., abstract in Eng.)
11. Vitale R.W., Detloff C.I., Thomson D.A. Dust Suppression Agent, US, 2011, Pat. 8066448.
12. Alfimova N.S., Belen'kiy P.G., Boyko A.Yu., Glebychev B.S., Davydenko T.I., Litmanovich A.A., Maslov A.D., Mozzhukhin A.V., Papisov I.M., Pevzner M.Ye., Polyakova Ye.V., Smirnov G.N., Faydel' I.Ya., Yakobson B.V. *Sostav dlya zakrepleniya pylyashchikh poverkhnostey* [Composition for fixing dusty surfaces], USSR, 1985, Copyright certificate 1190067. (In Russ.)
13. Klenin V.I., Shchegolev S.Yu., Lavrushin V.I. *Kharakteristicheskiye funktsii svetorasseyaniya dispersnykh sistem* [Characteristic functions of light scattering of dispersed systems], Saratov: Izdatel'stvo Saratovskogo universiteta, 1977, 176 p. (In Russ.)
14. Lipatov Yu.S. *Kolloidnaya khimiya polimerov* [Colloid chemistry of polymers], Kiev: Naukova dumka, 1984, 344 p. (In Russ.)
15. Vityugin V.M., Chulkova E.N., Lantsman I.N. [Adhesion interaction of particles of polydisperse material in wet aggregation processes], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Chemistry and chemical technology], 1975, vol. 272, pp. 173-178. (In Russ.)

## **Application of the Stabilizing Polymer Additives for Protection of Dump Overflow from Wind Erosion**

**O. N. Dabizha, D. V. Bespolitov,  
N. A. Konovalova, P. P. Pankov, E. A. Rush**

*Transbaikal Institute of Railway Transport - Branch of Irkutsk State University of Railways, Chita, Russia;  
Irkutsk State University of Railways, Irkutsk, Russia*

**Keywords:** wind erosion; overburden; dump massifs; waste from the mining industry; dusting of dumps; dust suppression; dust-binding composition; stabilizing additive.

**Abstract:** The effectiveness of using the stabilizing additive StabOL for fixing the surface of overburden dumps has been studied. It was found that the average mass radius of supramolecular formations in the StabOL polymer solution is 593 nm. It was revealed that this polymer solution forms a high-quality film: transparent, homogeneous, without cracks and crystalline inclusions. The phase and granulometric compositions of overburden for the formation of organomineral aggregates of particles resistant to water and mechanical stress have been established. It is shown that the use of environmentally friendly polymer solution StabOL allows reducing the content of highly dispersed particles and is an effective way to protect dumping overburden from wind erosion.

---

© О. Н. Дабижа, Д. В. Бесполитов,  
Н. А. Коновалова, П. П. Панков, Е. А. Руш, 2021