

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЕТРОВОЙ И ВОДНОЙ ЭРОЗИЙ

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

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

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

Ключевые слова: ветровая и водная эрозии; высокодисперсные частицы; инфракрасная спектроскопия; органоминеральный комплекс; пылеподавление; стабилизирующая добавка; структурирование.

Аннотация: Приведены результаты исследования механизма структурирования высокодисперсных минеральных частиц пылеподавляющим полимерным раствором StabOL на примере вскрышных пород Тасеевского, Балецкого и Каменского карьеров (Забайкальский край). Минеральные и полимер-минеральные образцы исследованы методами дифференциальной сканирующей калориметрии, термогравиметрии и инфракрасной спектроскопии. Образование межмолекулярных водородных связей подтверждается смещением полос поглощения валентных колебаний гидроксильных групп в инфракрасных спектрах полимер-минеральных образцов в сторону меньших частот и значительным увеличением интенсивностей этих полос поглощения. Установлено, что структурирование минеральных частиц при их обработке полимерным раствором происходит путем формирования органоминеральных комплексов в результате процессов интеркаляции, эксфолиации (расслоения) и адсорбции полимеров. Выявлена важная роль гидратных прослоек и глинистых минералов в данном процессе.

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.

Введение

В настоящее время масштабной экологической угрозой является деградация почв и земель, возникающая в результате проявления эрозионных процессов [1, 2]. Ускоренная эрозия почв оказывает воздействие на климат, тектоническую активность, круговорот веществ [3], а также способствует нарушению цикла углерода [4 – 6]. Площадь земель, подверженных водной и ветровой эрозиям, в мире составляет свыше 1 600 млн га [7, 8], на территории России (на уровне потери плодородия) – около 2/3 пашни, а площадь оврагов – более 1,5 млн га [11]. За последние 50 лет более трети пахотных земель потеряны в результате эрозионных процессов, и ежегодно деградации подвергаются более 10 млн га [9, 10]. Интенсивная разработка месторождений полезных ископаемых способствует деградации почв, нарушению структуры биоценозов, трансформации окружающей среды, загрязнению и истощению экосистем [12].

Эрозия представляет собой разрушение поверхностного слоя твердого тела вследствие механического взаимодействия с потоками воды, воздуха, аэрозвесей, суспензий, а также кавитации и электрических явлений [13]. Эрозия техногенных насыпных массивов протекает в виде физического и химического разрушения отложений с выносом в окружающую среду механических взвесей дисперсных минеральных частиц. На интенсивность эрозии влияют воздушные и водные потоки, температурные изменения, миграция поровых растворов, воздействие горнотранспортного оборудования и механизмов, а также состав, химические и физические свойства, структура минерального сырья, формирующие прочность пород [14].

Известно, что полимеры и интерполимерные комплексы, взаимодействуя с дисперсными частицами, скрепляют поверхностный слой и вследствие этого предотвращают пыление, ветровую и водную эрозии почвы [15]. Пылеватые частицы являются полидисперсными и различаются по химическому и фазовому составам, плотности и форме. Стабилизирующая добавка StabOL содержит в своем составе полимеры и может применяться как пылеподавляющий реагент, способствуя формированию крупных, более 1 мм, органоминеральных агрегатов [16].

Высокодисперсные минеральные частицы, обработанные полимерным раствором, представляют собой гетерогенную организованную многокомпонентную систему. Для интерпретации поверхностных явлений используется теория двойного электрического слоя [17]. Учитывая особенность адсорбции полимеров на твердых поверхностях, заключающуюся в том, что они взаимодействуют с минеральными частицами только отдельными участками цепи, можно ожидать дополнительное связывание пылеватых частиц посредством не только водных прослоек, но и адсорбированных участков цепи полимеров.

Ранее изучена эффективность применения стабилизирующей добавки StabOL для закрепления поверхности отвалов вскрышных пород [16] на примере высокодисперсных фракций отходов золотодобычи Тасеевского, Бaleyского и Каменского карьеров (Забайкальский край).

Цель настоящего исследования – изучение механизма структурирования высокодисперсных минеральных частиц вскрышных пород Тасеевского, Балейского и Каменского карьеров пылеподавляющим полимерным раствором StabOL. Под структурированием в настоящей работе будем понимать формирование из высокодисперсных пылеватых частиц и полимерного раствора органоминеральных комплексов и объединение частиц в крупные устойчивые агрегаты размером более 1 мм.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбрали полимер-минеральные пленки, полученные при пропитывании высокодисперсных частиц вскрышных пород Тасеевского (**Т**), Балейского (**Б**) и Каменского (**К**) карьеров 1%-м водным раствором стабилизирующей добавки StabOL.

Согласно ранее опубликованным исследованиям [16], фазовые составы исследуемых вскрышных пород включают: кварц, каолинит, иллит – Тасеевский карьер; кварц, альбит, микроклин, иллит, каолинит – Балейский; кварц, альбит, микроклин, каолинит, иллит, гематит – Каменский.

Полимерная добавка StabOL (**S**) представляет собой прозрачную вязкую жидкость; плотность, определенная пикнометрическим методом, составляет 1,20 г/см³; реакция среды pH = 8. Перед использованием стабилизирующую добавку StabOL разбавляли водой (по ГОСТ 23732–2011). Для устранения пенообразования полимерный раствор отстаивали в течение 20 мин. Термограмма и ИК-спектр стабилизирующей добавки StabOL приведены на рис. 1.

На термограмме пленки StabOL наблюдаются четыре эндотермических эффекта: при 224; 292; 338; 453 °С, первые три из которых сопровождаются потерей массы 55 % (рис. 1, *a*). Четко выраженные эндоэффекты при 225; 338 и 292 °С связаны с плавлением и термической деструкцией полимеров соответственно, размытый эндоэффект при 453 °С обусловлен процессом декарбонизации или обезуглероживания.

Отнесение полос поглощения в ИК-спектре полимерной пленки StabOL (рис. 1, *b*), ν , см⁻¹: 3728 (ν OH); 3352 (ν NH, OH); 2942, 2913 (ν_{a+s} CH₂); 1663 (ν C = O); 1620 (δ OH); 1564 (δ NH); 1446, 1418 (δ CH₂); 1329 (δ CH + OH, δ CN); 1238 (γ CH); 1139, 1094 (ν C–O–C); 918 (ν C–C); 851 (γ OH); 600 (δ CO).

Термограммы вскрышных пород и пылеватых частиц, обработанных стабилизирующей добавкой, регистрировали с помощью синхронного термоанализатора STA 449 F1 (NETZSCH, Германия) методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ).

Полимер-минеральные пленки массой 30 мг нагревали от 30 до 1 000 °С в платиновых тиглях в динамической атмосфере аргона со скоростью 20 °С/мин.

Инфракрасные спектры минеральных и пленочных полимер-минеральных образцов, полученных пропиткой высокодисперсной фракции вскрышных пород полимерным раствором StabOL, регистрировали с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра SHIMADZU FTIR-8400S в области 4000 – 400 см⁻¹. Относительные интенсивности полос поглощения вычисляли как отношение их длины до нулевой линии к длине полосы поглощения с максимальной интенсивностью при 1000...1050 см⁻¹.

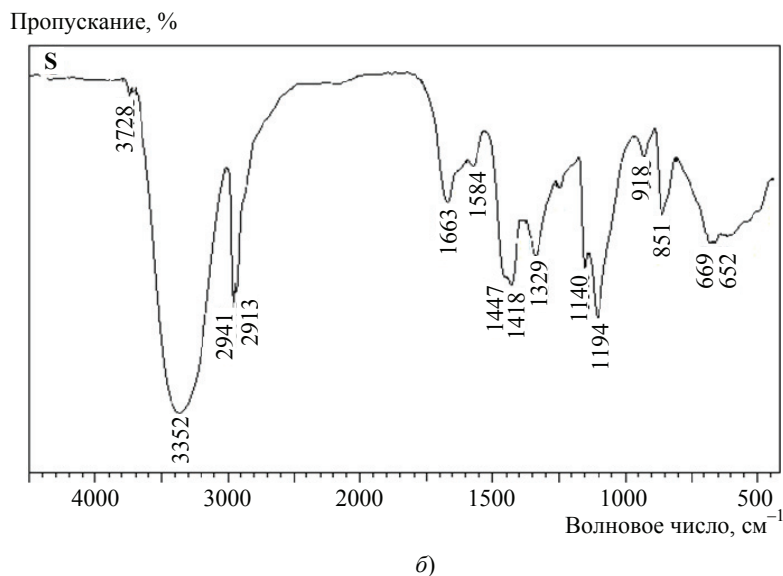
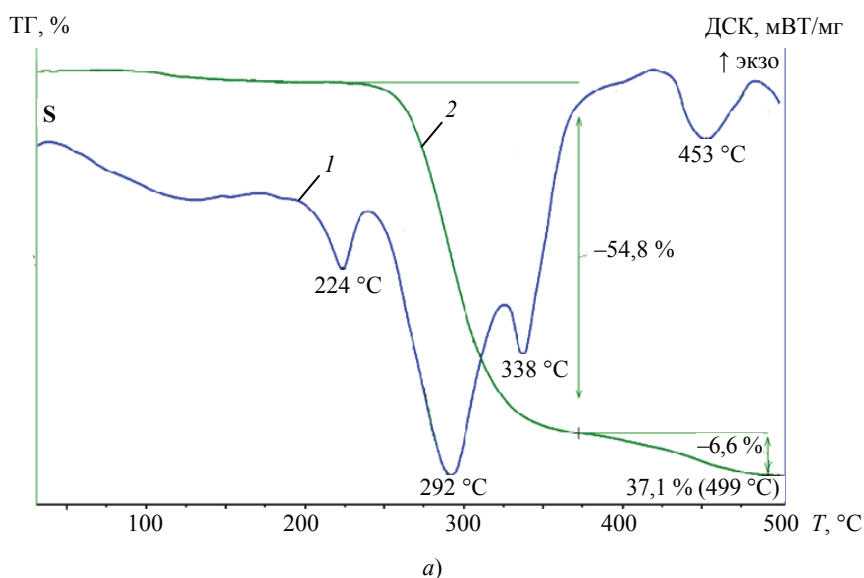


Рис. 1. ДСК- и ТГ-кривые (а) и инфракрасные спектры (б) полимерной пленки, полученной из раствора StabOL

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 показаны термограммы исходных вскрышных пород Тасеевского, Балецкого и Каменского карьеров и модифицированных – пылеватых частиц данных вскрышных пород, пропитанных полимерным раствором.

Тасеевский карьер (минеральный Т и полимерминеральный СТ образцы). Первый эндотермический эффект при температуре 146 °С обусловлен выделением сорбционной и капиллярной воды (см. рис. 2, а, кривая 1). Потеря веса от десорбции происходит в два этапа и составляет в общей сложности 3,5 %. Известно, что превращение α -кварц \rightarrow β -кварц, дегидратация

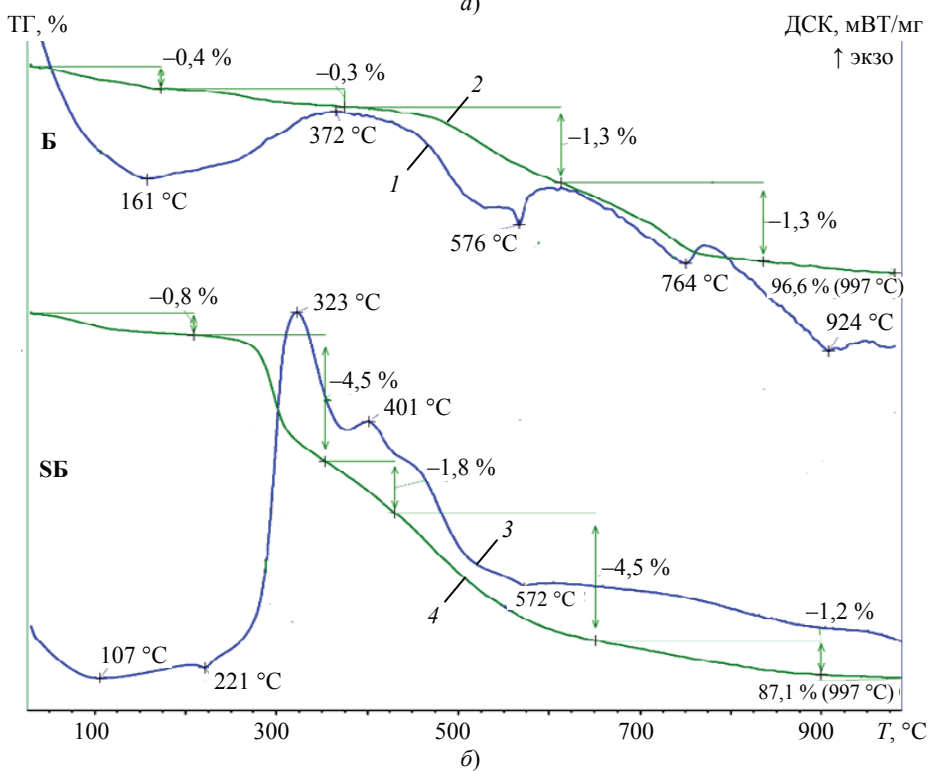
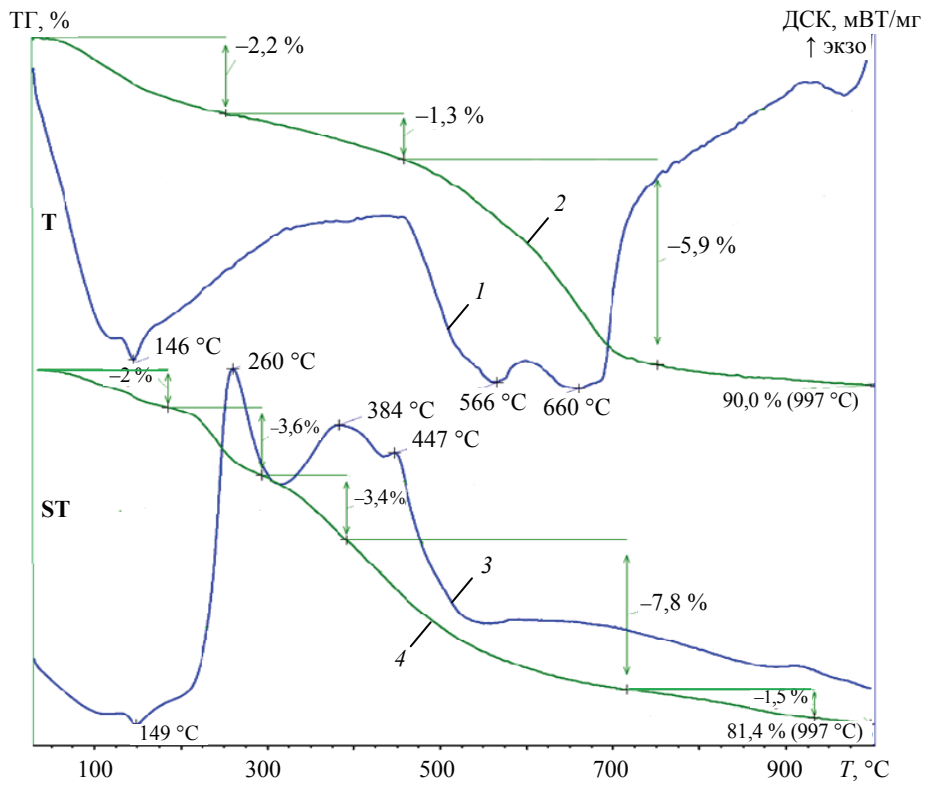


Рис. 2. ДСК- и ТГ-кривые исходных и модифицированных вскрышных пород Тасеевского (а), Балеийского (б) карьеров (начало)

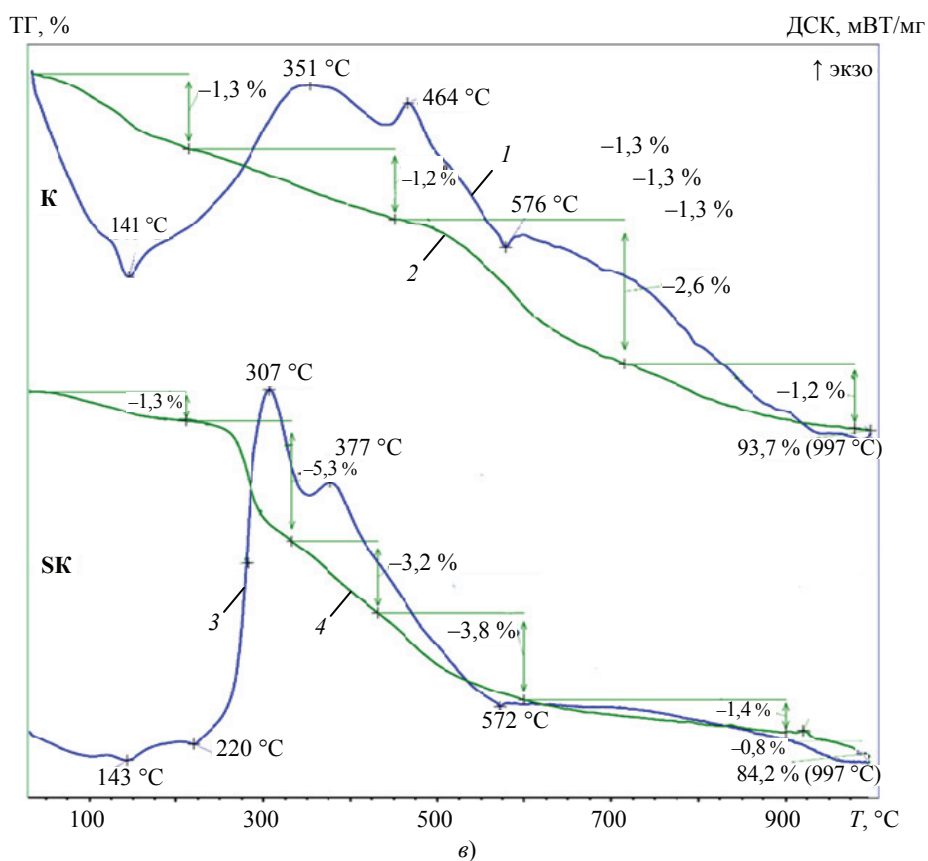


Рис. 2. Окончание: Каменского карьера (в)

каолинита и иллита обнаруживаются на ДСК-кривых в виде эндоэффектов при 573, 550...610 и 500...600 °С соответственно [18]. Эффект полиморфного превращения кварца (573 °С) в присутствии глинистых минералов маскируется их эндоэффектами (см. рис. 2, а, кривая 1). Следовательно, второй эндоэффект при 566 °С вызван перечисленными выше процессами. Третий и четвертый эндотермические эффекты при 660 и 900 °С обусловлены потерей структурной воды и разрушением кристаллической решетки иллита соответственно. Потеря веса образца при этих двух эффектах составляет 5,9 % (см. рис. 2, а, кривая 4).

Вследствие пропитки высокодисперсных минеральных частиц полимерным раствором, на ДСК-кривой регистрируется широкий размытый эндоэффект со сдвигом на 3 °С в сторону более высоких температур (см. рис. 2, а, кривая 3). Характерных для глинистых минералов эндотермических эффектов в области 500...700 °С на термограмме не обнаруживается, что можно объяснить набуханием глинистых частиц и нарушением кристаллической структуры минералов после взаимодействия с полимерным раствором. Вместо этого, имеют место три экзотермических эффекта 260; 384 и 447 °С, обусловленные процессами разложения органических соединений, связанных в органоминеральные комплексы и выгоранием полимеров. Органоминеральные комплексы образуются в результате про-

цессов интеркаляции [19], эксфолиации (расслоения) и адсорбции полимеров на поверхности минеральных частиц. Потеря веса на термограмме образца ST, по сравнению с образцом T, в интервале температур 200...400 °С увеличивается примерно в 5 раз (см. рис. 2, а, кривые 2 и 4).

Балейский карьер (минеральный Б и полимерминеральный SB образцы). На ДСК-кривой минерального образца Б (см. рис. 2, б, кривая 1) имеются четыре эндоэффекта при 161; 576; 764 и 924 °С, вызванные следующими процессами: десорбцией воды, полиморфным переходом кварца, удалением конституционной воды и разрушением кристаллической решетки. После медленного выделения сорбционной воды имеет место процесс, сопровождаемый выделением тепла, на что указывает сильно растянутый экзоэффект при 372 °С. По-видимому, он связан с переходом аморфного железа в кристаллическое. Общая потеря веса при 997 °С составляет всего 3,4 %.

Вследствие пропитки пылеватых частиц полимерным раствором наблюдается широкий размытый эндоэффект низкой интенсивности при 107 °С (см. рис. 2, б, кривая 3). Характерный для полимерной добавки S слабый эндоэффект, связанный с плавлением полимера (см. рис. 1, а, кривая 1), регистрируется при 221 °С. Эндоэффект с малой амплитудой наблюдается при 572 °С и вызван превращением кварца.

Два экзоэффекта имеют место при 323 и 401 °С и относятся к окислению и разложению органоминеральных комплексов и выгоранию полимеров. Они сопровождаются потерей массы общей величиной 6,3 % (см. рис. 2, б, кривая 4).

Каменский карьер (минеральный К и полимерминеральный SK образцы). ДСК-кривая минерального образца К имеет два эндотермических эффекта при 141 и 576 °С, обусловленные процессами потери сорбционной и гидратационной воды и полиморфным превращением кварца соответственно. Кроме того, имеются два экзоэффекта при 351 и 464 °С, которые объясняются переходом аморфного железа в кристаллическое и окислением двухвалентного железа в трехвалентное [18]. Данные процессы сопровождаются потерей массы более чем на 1,2 % (см. рис. 2, в, кривая 2).

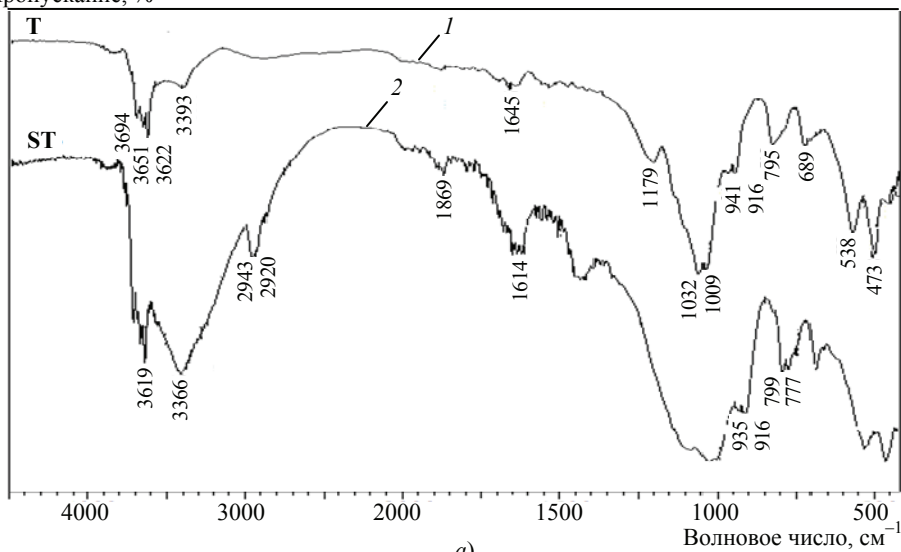
Вследствие пропитки пылеватых частиц полимерным раствором S на ДСК-кривой наблюдается широкий эндоэффект низкой амплитуды со сдвигом экстремума в сторону более высоких температур на 2 °С, который вызван процессом десорбции воды (см. рис. 2, в, кривая 3).

Слабые эндоэффекты при 220 и 572 °С обусловлены плавлением полимера, входящего в состав образца S, и полиморфным превращением кварца, соответственно. Окисление и разложение органоминеральных комплексов и выгорание полимеров отражается на термограмме двумя экзоэффектами с максимумами при 307 и 377 °С (см. рис. 2, в, кривая 3). Следовательно, методами дифференциальной калориметрии и термогравиметрии определено, что связывание пылеватых минеральных частиц полимерным раствором добавки StabOL происходит путем формирования органоминеральных комплексов с участием глинистых минералов и перестройкой гидратных оболочек.

В научной литературе отмечено, что управление свойствами дисперсных систем, по представлениям физико-химической механики, сводится к регулированию толщины гидратной прослойки, которая принимает значения от монослоя до трех слоев молекул воды [17].

Для подтверждения комплексообразования с участием полимеров и гидроксильных групп минералов удобно применять метод ИК-спектроскопии. На рисунке 3 представлены ИК-спектры исходных вскрышных пород Тасеевского, БалеЙского и Каменского карьеров и модифицированных – пылеватых частиц этих пород, пропитанных полимерным раствором.

Пропускание, %



Пропускание, %

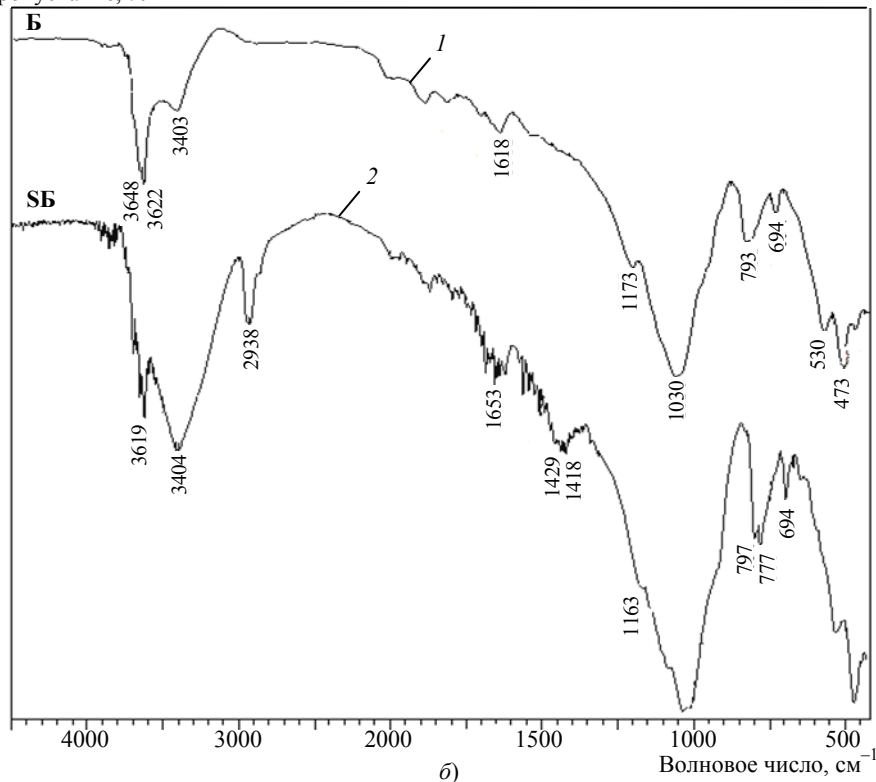
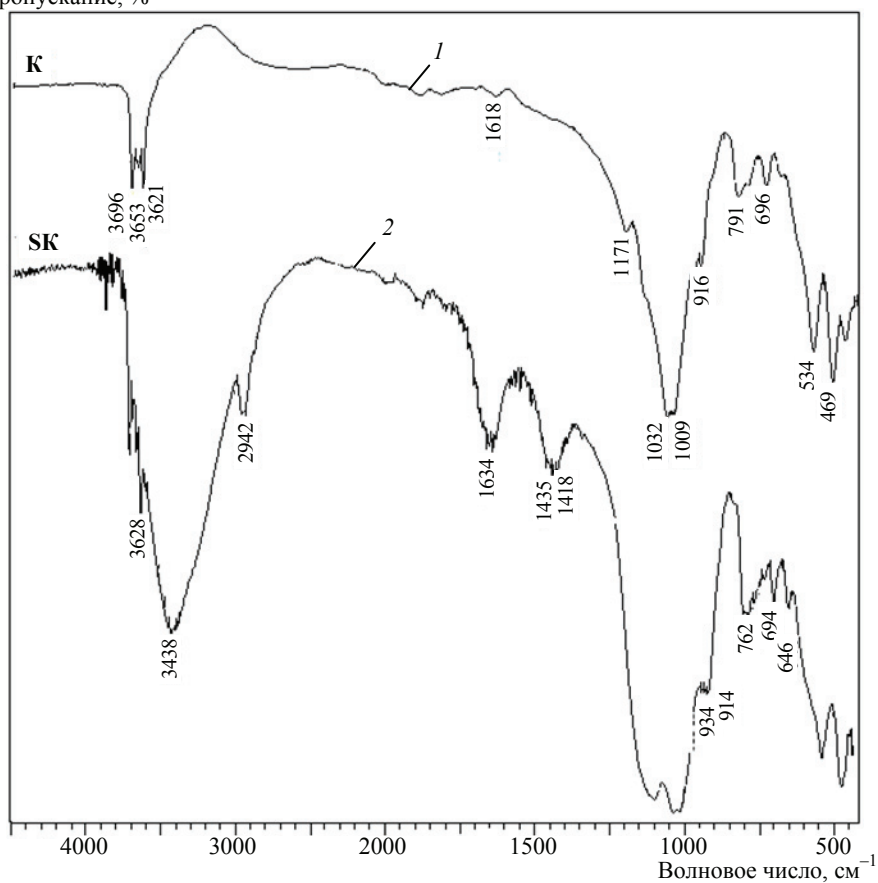


Рис. 3. ИК-спектры исходных и модифицированных вскрышных пород Тасеевского (а) и БалеЙского (б) карьеров (начало)

Пропускание, %



в)

Рис. 3. Окончание: Каменского карьера (в)

Тасеевский карьер. Полосы поглощения с максимумами при 3694; 3651; 3622 и 3393 cm^{-1} (рис. 3, а, кривая 1) обусловлены валентными колебаниями групп Si–O–H и H–O–H соответственно.

Следовательно, в структуре минеральных частиц имеется несколько форм воды (связанная с поверхностью, переходного типа, свободная [20]), отличающихся по энергии H-связей. Полоса поглощения с максимумом при 1645 cm^{-1} соответствует деформационным колебаниям групп O–H, H–O–H; полосы поглощения в области 1000...1100 cm^{-1} относятся к валентным колебаниям связей Si–O–Si, а в области 900...950 cm^{-1} – валентным колебаниям связей Si–O–Al. Присутствие кварца подтверждается полосой поглощения при 795 cm^{-1} , соответствующей валентным колебаниям мостиковой связи Si–O–Si. Полосы при 538 и 473 cm^{-1} обусловлены деформационными колебаниями связей O–Si–O.

Вследствие взаимодействия полимерной добавки StabOL с высокодисперсными частицами легко увидеть появление полос поглощения в области 1400...1450 cm^{-1} (см. рис. 3, а, кривая 2), принадлежащие деформационным колебаниям связей C–H в группах CH_2 и свидетельствующие о процессе гидрофобизации.

Полоса поглощения при 3366 см^{-1} принадлежит ОН-группам в структуре полимерной добавки StabOL, полоса при 2938 см^{-1} – CH_2 -группам полимерной цепи. Выявлено, что у образца ST полосы поглощения в области $1000\text{...}1100\text{ см}^{-1}$ становятся более широкими и размытыми, что можно объяснить разупорядочением кристаллической структуры – разбуханием алюмокремнекислородных тетраэдров глинистых пород. Как известно, глина представляет собой неорганический полимер, и чем выше степень диспергирования глинопорошка, тем выше его структурообразующие свойства в водной среде [21].

Отметим, что в составе образца T содержится 28 масс.% глинистых минералов [16]. Дублет с максимумами 799 и 777 см^{-1} (см. рис. 3, а, кривая 2) принадлежит кварцу, который составляет 72 % образца T. Обнаружено повышение интенсивности широкой диффузной полосы с максимумом 3400 см^{-1} , а также усиление и сдвиг полосы поглощения при $1600\text{...}1650\text{ см}^{-1}$.

Известно [22], что участие гидроксильной группы в образовании межмолекулярных водородных связей проявляется в смещении полосы поглощения в сторону меньших частот и значительном увеличении ее интенсивности. Трансформация полос поглощения в области $3700\text{...}3400\text{ см}^{-1}$ убедительно свидетельствует об участии гидроксильных групп минералов в образовании связей с полимером. Следовательно, данные ИК-спектрокопии подтверждают формирование органоминеральных комплексов.

Балейский карьер. В ИК-спектре минеральной фракции вскрышной породы Балейского карьера регистрируются основные полосы поглощения валентных и деформационных колебаний связей Si–O, O–H, H–O–H (см. рис. 3, б, кривая 1). В состав образца Б входит кварц и глинистые минералы, но в 2 раза меньше, чем у образца T, кроме того, присутствуют еще полевые шпаты (альбит, микроклин). В этом случае, четко идентифицируется диффузный дублет деформационных колебаний связей C–H в группах CH_2 при 1418 и 1429 см^{-1} , сдвиг на 10 см^{-1} в сторону меньших частот полосы поглощения с максимумом при 1173 см^{-1} (см. рис. 3, б, кривые 1 и 2), повышение симметрии и упорядоченности кварца (наблюдается дублетная полоса поглощения). В области валентных колебаний ОН-групп наблюдается сдвиг полосы поглощения в сторону меньших частот на 3 см^{-1} с уменьшением относительной интенсивности на 9 %. Относительная интенсивность полосы поглощения ОН-групп молекул воды увеличивается в 2 раза. Регистрируемые изменения подтверждают участие функциональных групп в комплексообразовании.

Каменский карьер. В состав вскрышной породы Каменского карьера входит, кроме кварца, глинистых минералов и полевых шпатов еще гематит. Вследствие взаимодействия высокодисперсных частиц и полимерной добавки, у образца SK (см. рис. 3, в, кривая 2) наблюдаются образование межмолекулярных водородных связей ($\nu\text{OH} = 3438\text{ см}^{-1}$), гидрофобизация ($\nu\text{CH}_2 = 2942\text{ см}^{-1}$; $\delta\text{C-H} = 1435$; 1418 см^{-1}).

По сравнению с ИК-спектрами минеральных образцов T и Б, для образца K (см. рис. 3, в, кривая 1) регистрируются меньший диапазон и суммарная интенсивность полос поглощения в области валентных колебаний

ОН-групп. Так как водные прослойки принимают непосредственное участие в формировании органоминеральных комплексов, то, в данном случае, они должны формироваться с меньшей эффективностью, что и наблюдалось ранее [16].

Наилучшим образом прошло формирование связывания пылеватых частиц полимерной добавкой StabOL путем образования органоминеральных комплексов у образца Т, в состав которого входит кварц и глинистые минералы (каолинит и иллит). Об этом свидетельствует отсутствие характерного для добавки эндозффекта на термограмме при температуре 221 °С (см. рис. 1, а, кривая 2), а также максимальная относительная интенсивность полосы поглощения деформационных колебаний связей С–Н в группах CH_2 в области $1400 \dots 1450 \text{ см}^{-1}$ в ИК-спектре 0,225 (см. рис. 3, а, кривая 2). О перестройке, а именно, увеличении гидратной оболочки минеральных частиц свидетельствует повышение относительной интенсивности полосы поглощения в области $3400 \dots 3440 \text{ см}^{-1}$. Обнаружено, что в ИК-спектре минерального образца К полоса поглощения при обозначенной частоте отсутствует, поэтому для образца SK эффективность формирования органоминеральных комплексов ниже, чем для ST и SB [16].

Таким образом, высокодисперсные минеральные частицы, образующиеся при ветровой и водной эрозиях техногенных насыпных массивов, можно связывать в органоминеральные частицы размером более 1 мкм с помощью 1%-го водного раствора экологически безопасной полимерной добавки StabOL. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии, термогравиметрии и инфракрасной спектроскопии исследовано структурообразование в полимер-минеральных образцах под действием полимерной добавки StabOL для пылеподавления. Установлено, что связывание пылеватых минеральных частиц полимерным раствором добавки StabOL происходит путем формирования органоминеральных комплексов с участием глинистых минералов и перестройкой – увеличением гидратных оболочек.

Список литературы

1. An Assessment of the Global Impact of 21st Century Land Use Change on Soil Erosion / P. Borrelli, D. A. Robinson, L. R. Fleischer [et al.] // Nature Communications. – 2017. – Vol. 8, Issue 1. – P. 2013. doi: 10.1038/s41467-017-02142-7.
2. Brown, L. R. Eroding the Base of Civilization / L. R. Brown // Journal of Soil and Water Conservation. – 1981. – Vol. 36, Issue 5. – P. 255 – 260.
3. Montgomery, D. R. Topographic Controls on Erosion Rates in Tectonically Active Mountain Ranges / D. R. Montgomery, M. T. Brandon // Earth and Planetary Science Letters. – 2002. – Vol. 201, Issue 3-4. – P. 481 – 489.
4. De Jong, E. The Importance of Erosion in the Carbon Balance of Prairie Soils / E. De Jong, R. G. Kachanoski // Canadian Journal of Soil Science. – 1988. – Vol. 68, Issue 1. – P. 111 – 119.
5. Ito, A. Simulated Impacts of Climate and Land-Cover Change on Soil Erosion and Implication for the Carbon Cycle, 1901 to 2100 / A. Ito // Geophysical Research Letters. – 2007. – Vol. 34, Issue 9. – L09403. – 5 p. doi: 10.1029/2007GL029342.
6. The Impact of Agricultural Soil Erosion on the Global Carbon Cycle / K. Van Oost, T. A. Quine, G. Govers [et al.] // Science. – 2007. – Vol. 318, Issue 5850. – P. 626 – 629. doi: 10.1126/science.1145724.

7. Lal, R. Soil Erosion and the Global Carbon Budget / R. Lal // *Environment International*. – 2003. – Vol. 29, Issue 4. – P. 437 – 450. doi:10.1016/S0160-4120(02)00192-7
8. Uri, N. D. Agriculture and the Dynamics of Soil Erosion in the United States / N. D. Uri, J. A. Lewis // *Journal of Sustainable Agriculture*. – Vol. 14, Issue 2-3. – P. 63 – 82. doi: 10.1300/J064v14n02_07.
9. Montgomery, D. R. Soil Erosion and Agricultural Sustainability / D. R. Montgomery // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2007. – Vol. 104, Issue 33. – P. 13268 – 13272. doi: 10.1073/pnas.0611508104.
10. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits / D. C. Pimentel, C. A. Harvey, I. A. P. Resosudarmo [et al.] // *Science*. – 1995. – Vol. 267, Issue 5201. – P. 1117 – 1123. doi: 10.1126/science.267.5201.1117.
11. Лотош, В. Е. Антропогенные факторы деградации почв и рекультивация нарушенных земель / В. Е. Лотош // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: обзорная информация*. – 2004. – № 2. – С. 2 – 16.
12. Комплексное устойчивое управление отходами. Горнодобывающая промышленность / Е. Гидаракос, А. Н. Ерехинский, А. В. Зиньков [и др.]. – М. : Изд. дом Академии Естествознания, 2016. – 638 с.
13. Применение теории тепло-массообмена для описания водной и ветровой эрозии почвы / В. М. Гендугов, Г. П. Глазунов, Г. А. Ларионов, Н. Ф. Назаров // *Почвоведение*. – 2012. – № 2. – С. 211 – 217.
14. Гальперин, А. М. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Том. 1. Насыпные и намывные массивы / А. М. Гальперин, В. Ферстер, Х.-Ю. Шеф. – М. : Изд-во Моск. гос. горного ун-та. – 2006. – 391 с.
15. Интерполиэлектролитные комплексы для закрепления поверхности для предотвращения пылепереноса ветровой и водной эрозии хвостохранилищ золоотвалов и других дисперсных систем / С. В. Михайкин, А. Ю. Смирнов, А. Н. Алексеев [и др.] // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2004. – № 3. – С. 278 – 282.
16. Применение стабилизирующей полимерной добавки для защиты отвальных массивов вскрышных пород от ветровой эрозии / О. Н. Дабижа, Д. В. Бесполитов, Н. А. Коновалова [и др.] // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2021. – № 1 (79). – С. 26 – 39. doi: 10.17277/voprosy.2021.01.pp.026-039.
17. Липатов, Ю. С. Коллоидная химия полимеров / Ю. С. Липатов. – Киев : Наукова думка, 1984. – 344 с.
18. Горбунов, Н. И. Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах / Н. И. Горбунов, И. Г. Цюрупа, Е. А. Шурыгина. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1952. – 188 с.
19. Помогайло, А. Д. Синтез и интеркаляционная химия гибридных органо-неорганических нанокомпозитов / А. Д. Помогайло // *Высокомолекулярные соединения. Серия С*. – 2006. – Т. 48, № 7. – С. 1317 – 1351.
20. *Грунтоведение* / В. Т. Трофимов, В. А. Королев, Е. А. Вознесенский [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
21. Норов, А. Д. Особенности структурообразования в глинистых растворах / А. Д. Норов, М. М-Р. Гайдаров // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. – 2012. – № 12. – С. 35 – 40.
22. Казицына, Л. А. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектрологии в органической химии / Л. А. Казицына, Н. Б. Куплетская. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 240 с.

References

1. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R. [et al.] An Assessment of the Global Impact of 21 st Century Land Use Change on Soil Erosion, *Nature Communications*, 2017, vol. 8, issue 1, p. 2013, doi: 10.1038/s41467-017-02142-7.
2. Brown L.R. Eroding the Base of Civilization, *Journal of Soil and Water Conservation*, 1981, vol. 36, issue 5, pp. 255-260.
3. Montgomery D.R., Brandon M.T. Topographic Controls on Erosion Rates in Tectonically Active Mountain Ranges, *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, vol. 201, issue 3-4, pp. 481-489.
4. De Jong E., Kachanoski R.G. The Importance of Erosion in the Carbon Balance of Prairie Soils, *Canadian Journal of Soil Science*, 1988, vol. 68, issue 1, pp. 111-119.
5. Ito A. Simulated Impacts of Climate and Land-Cover Change on Soil Erosion and Implication for the Carbon Cycle, 1901 to 2100, *Geophysical Research Letters*, 2007, vol. 34, issue 9, L09403, 5 p., doi: 10.1029/2007GL029342.
6. Van Oost K., Quine T.A., Govers G. [et al.] The Impact of Agricultural Soil Erosion on the Global Carbon Cycle, *Science*, 2007, vol. 318, issue 5850, pp. 626-629, doi: 10.1126/science.1145724.
7. Lal R. Soil Erosion and the Global Carbon Budget, *Environment International*, 2003, vol. 29, issue 4, pp. 437-450, doi:10.1016/S0160-4120(02)00192-7
8. Uri N.D., Lewis J.A. Agriculture and the Dynamics of Soil Erosion in the United States, *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 14, issue 2-3, pp. 63-82, doi: 10.1300/J064v14n02_07.
9. Montgomery D.R. Soil Erosion and Agricultural Sustainability, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, vol. 104, issue 33, pp. 13268-13272, doi: 10.1073/pnas.0611508104.
10. Pimentel D.C., Harvey C.A., Resosudarmo I.A.P. [et al.] Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits, *Science*, 1995, vol. 267, issue 5201, pp. 1117-1123, doi: 10.1126/science.267.5201.1117.
11. Lotosh V.Ye. [Anthropogenic factors of soil degradation and reclamation of disturbed lands], *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov: obzornaya informatsiya* [Problems of the environment and natural resources: overview information], 2004, no. 2, pp. 2-16. (In Russ.)
12. Gidarakos Ye., Yerekhinskiy A.N., Zin'kov A.V. [et al.] *Kompleksnoye ustoychivoye upravleniye otkhodami. Gornodobyvayushchaya promyshlennost'* [Integrated sustainable waste management. Mining industry], Moscow: Izdatel'skiy dom Akademii Yestestvoznaniya, 2016, 638 p. (In Russ.)
13. Gendugov V.M., Glazunov G.P., Larionov G.A., Nazarov N.F. [Application of the theory of heat and mass transfer to describe water and wind erosion of soil], *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2012, no. 2, pp. 211-217. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Gal'perin A.M., Ferster V., Shef Kh.-Yu. *Tekhnogennyye massivy i okhrana prirodnykh resursov. Tom. 1. Nasyppnyye i namyvnyye massivy* [Technogenic massifs and protection of natural resources. Volume. 1. Bulk and alluvial massifs], Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2006, 391 p. (In Russ.)
15. Mikheykin S.V., Smirnov A.Yu., Alekseyev A.N., Pronina L.V., Zezin A.B., Anufriyeva S.I. [Interpolyelectrolyte complexes for surface fixation to prevent dust transfer by wind and water erosion of tailings of ash dumps and other dispersed systems], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and analytical bulletin], 2004, no. 3, pp. 278-282. (In Russ.)
16. Dabizha O.N., Bespolitov D.V., Konovalova N.A., Pankov P.P., Rush Ye.A. [Application of a stabilizing polymer additive for protection of overburden dumps from wind erosion], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2021, no. 1 (79), pp. 26-39, doi: 10.17277/voprosy.2021.01.pp.026-039. (In Russ., abstract in Eng.)

17. Lipatov Yu.S. *Kolloidnaya khimiya polimerov* [Colloid chemistry of polymers], Kiev: Naukova dumka, 1984, 344 p. (In Russ.)
18. Gorbunov N.I., Tsyurupa I.G., Shurygina Ye.A. *Rentgenogrammy, termogrammy i krivyye obezvozhvaniya mineralov, vstrechayushchikhsya v pochvakh i glinakh* [Roentgenograms, thermograms and curves of dehydration of minerals found in soils and clays], Moscow: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1952, 188 p. (In Russ.)
19. Pomogaylo A.D. [Synthesis and intercalation chemistry of hybrid organic-inorganic nanocomposites], *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. Seriya S* [High-molecular compounds. Series S], 2006, vol. 48, no. 7, pp. 1317-1351. (In Russ., abstract in Eng.)
20. Trofimov V.T. [Ed.], Korolev V.A., Voznesenskiy Ye.A. [et al.] *Gruntovedeniye* [Soil science], Moscow: Izdatel'stvo MGU, 2005, 1024 p. (In Russ.)
21. Norov A.D., Gaydarov M.M.-R. [Features of structure formation in clay solutions], *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more* [Construction of oil and gas wells on land and at sea], 2012, no. 12, pp. 35-40. (In Russ., abstract in Eng.)
22. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Primeneniye UF-, IK-, YAMR- i mass-spektroskopii v organicheskoy khimii* [Application of UV, IR, NMR and mass spectroscopy in organic chemistry], Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1979, 240 p. (In Russ.)
-

Structuring of High-Fine Mineral Particles to Prevent Wind and Water Erosion

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

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

Keywords: wind and water erosion; highly dispersed particles; infrared spectroscopy; organomineral complex; dust suppression; stabilizing additive; structuring.

Abstract: The results of the study of the mechanism of structuring highly dispersed mineral particles by dust-pressing polymer solution StabOL are presented, using the example of overburden rocks of the Taseevsky, Baleisky and Kamensky quarries (Transbaikal Territory). Mineral and polymer-mineral samples were studied by differential scanning calorimetry, thermogravimetry, and infrared spectroscopy. The formation of intermolecular hydrogen bonds is confirmed by the shift of the absorption bands of the stretching vibrations of hydroxyl groups in the infrared spectra of polymer-mineral samples towards lower frequencies and a significant increase in the intensities of these absorption bands. It was found that structuring of mineral particles during their treatment with a polymer solution occurs through the formation of organomineral complexes as a result of intercalation, exfoliation (stratification) and adsorption of polymers. The important role of hydration layers and clay minerals in this process has been revealed.

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