

Д.В. Бесполитов¹, Н.А. Коновалова¹, Е.А. Руш²

¹ *Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация*

² *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ УКРЕПЛЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ ТАСЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования структурообразования высокодисперсных частиц вскрышных пород Тасеевского карьера (Забайкальский край), обработанных стабилизирующей добавкой полимерной природы StabOL. Образцы исходного минерального сырья и полимер-минеральные образцы исследованы с привлечением методов инфракрасной спектроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии. Установлено, что механизм структурообразования высокодисперсных частиц вскрышных пород, обработанных добавкой StabOL, заключается в формировании органо-минеральных комплексов. Выявлена значимость в структурообразовании глинистых минералов и гидратных прослоек.

Ключевые слова: отходы горнодобывающей промышленности, техногенный грунт, вскрышные породы; ветровая и водная эрозия, пыление отвалов, стабилизирующая добавка

D.V. Bespolitov¹, N.A. Konovalova¹, E.A. Rush²

¹ *Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation*

² *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

STUDY OF THE STRUCTURE FORMATION OF FORTIFIED TECHNOGENIC SOILS OF THE TASEEVSKOE DEPOSIT

Abstract. This work presents the results of a research of the structure formation of highly dispersed particles of overburden rocks of the Taseevskij career (Transbaikal region) treated with a stabilizing additive of polymer nature StabOL. Samples of initial mineral raw materials and polymer-mineral samples were investigated using methods of infrared spectroscopy and differential scanning calorimetry and thermogravimetry. It has been established that the mechanism of structure formation of highly dispersed particles of overburden rocks treated with the StabOL additive consists in the formation of organomineral complexes. The importance of clay minerals and hydration layers in the structure formation is revealed.

Keywords: mining waste, technogenic soil, overburden, wind and water erosion, dusting of dumps, stabilizing additive.

Введение

Деградация почв и земель, возникающая при проявлении эрозионных процессов, является общемировой экологической угрозой [1-3]. Эрозия почв способствует изменению климата, нарушению цикла углерода [4-6], оказывает воздействие на круговорот веществ и тектоническую активность [7]. Площадь подверженных ветровой и водной эрозии земель во всем мире составляет более 1600 млн. га [8, 9]. На территории Российской Федерации эрозионным процессам подвержено около 2/3 пашни, а площадь оврагов – более 1,5 млн. га [10]. При этом в Стратегии сохранения почв (Thematic Strategy for Soil Protection, 2006) почва рассматривается как невозобновляемый ресурс, который нуждается в охране.

Особенности проявления эрозионных процессов и их прогрессирующий характер представлены в научных работах А.И. Бараева [11], Д.В. Богомолова [12], А.Г. Гаеля [13], Е.А. Чакветадзе [14], Ш.А. Гайсина и Г.Н. Лысака [15], Г.П. Глазунова и В.М. Гендугова [16] и других. Известно, что эрозионные процессы на техногенных насыпных массивах протекают в виде химического и физического разрушения отложений, что сопровождается выносом дисперсных минеральных частиц в окружающую среду [17]. Для предотвращения проявления ветровой и водной эрозии почв применяют полимеры и интерполимерные комплексы, которые могут взаимодействовать с дисперсными частицами и укреплять поверхностный слой [18].

Ранее была установлена эффективность использования стабилизирующей добавки полимерной природы StabOL для связывания высокодисперсных частиц [19] насыпных массивов вскрышных пород Тасеевского карьера (Забайкальский край).

Цель настоящего исследования заключалась в изучении механизма структурообразования укрепленных вскрышных пород Тасеевского карьера. Под структурообразованием будем понимать объединение высокодисперсных частиц в крупные агрегаты в результате формирования органоминеральных комплексов при использовании добавки StabOL.

Материалы и методы

Механизм структурообразования изучен с привлечением методов дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии (синхронный термоанализатор STA 449F1 NETZSCH, Германия) и инфракрасной спектроскопии (Фурье спектрометр FTIR-8400S SHIMADZU, Япония).

Ранее установлен [19] фазовый состав вскрышных пород: кварц SiO_2 ; каолинит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; иллит $\text{K}_{0,7}\text{Al}_{2,1}(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Добавка полимерной природы StabOL – прозрачная вязкая жидкость ($\rho = 1,20 \text{ г/см}^3$; $\text{pH} = 8$). Отнесение полос поглощения в ИК-спектре, $\nu, \text{см}^{-1}$: (ν_{OH}) 3728; (ν_{NH} , OH) 3352; ($\nu_{\text{a+sCH}_2}$) 2942, 2913; ($\nu_{\text{C=O}}$) 1663; (δ_{OH}) 1620; (δ_{NH}) 1564; (δ_{CH_2}) 1446, 1418; ($\delta_{\text{CH+OH}}$, δ_{CN}) 1329; (γ_{CH}) 1238; ($\nu_{\text{C-O-C}}$) 1139, 1094; ($\nu_{\text{C-C}}$) 918; (γ_{OH}) 851; (δ_{CO}) 600.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены термограммы и ИК-спектры высокодисперсных частиц исходной вскрышной породы (1) и высокодисперсных частиц, укрепленных добавкой StabOL (2).

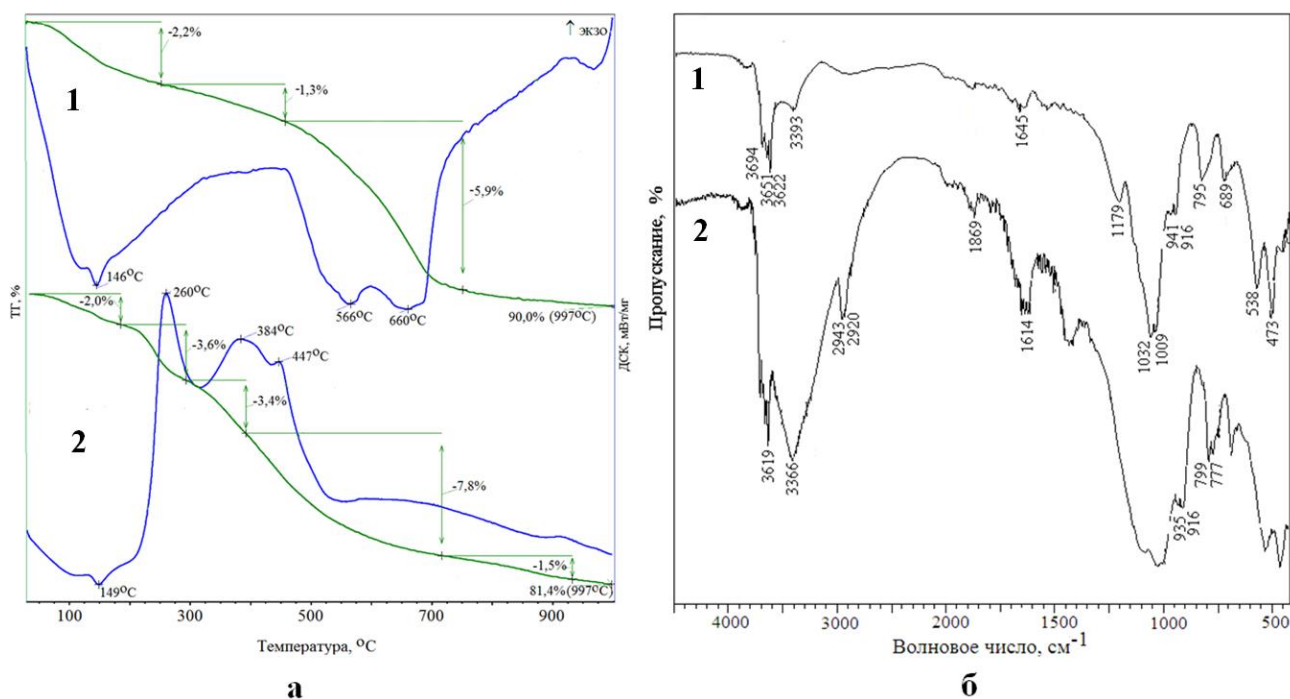


Рис. 1. ДСК- и ТГ-кривые (а), ИК-спектры (б):

1 - вскрышная порода; 2 - полимер-минеральная композиция с добавкой StabOL

Установлено, что эндотермический эффект при 146 °С связан с выделением капиллярной и сорбционной воды (рис. 1а, синяя кривая 1). Превращение α -кварца в β -кварц, дегидратация иллита и каолинита на ДСК- кривых обнаруживаются в виде эндотермических эффектов при 573, 550-610, 500-600°С [20]. Эндотермический эффект при 566 °С вызван данными процессами. При 573 °С отмечается эффект полиморфного превращения кварца за счет присутствия глинистых минералов (рис. 1а, синяя кривая 1). Эндозффекты при 660 и 900 °С вызва-

ны разрушением кристаллической решетки иллита и потерей структурной воды. Обработка высокодисперсных частиц добавкой StabOL приводит к появлению на ДСК-кривой широкого эндотермического эффекта со сдвигом на 3 °С в сторону более высоких температур (рис. 1а, синяя кривая 2). Эндотермические эффекты, характерные для глинистых минералов, (в области 500-700 °С) не обнаруживаются, что вызвано набуханием и нарушением кристаллической структуры минералов в результате взаимодействия с добавкой StabOL. Экзотермические эффекты при 447; 384 и 260 °С обусловлены выгоранием полимера и процессами разложения органических соединений, связанных в комплексы. Потеря веса образца 2 по сравнению с образцом 1 в интервале температур от 200 до 400 °С увеличивается в 5 раз (рис. 1а, зеленые кривые 2 и 1).

С целью подтверждения механизма структурообразования с участием гидроксильных групп минералов и полимера применяли метод ИК-спектроскопии. Полосы поглощения с максимумами при 3393; 3622; 3651 и 3694 см⁻¹ (рис. 1б, кривая 1) связаны с валентными колебаниями групп Н-О-Н и Si-О-Н. Полоса поглощения при 1645 см⁻¹ обусловлена деформационными колебаниями групп О-Н и Н-О-Н; полосы в области 1000 – 1100 см⁻¹ – валентными колебаниями связей Si-О-Si, 900 – 950 см⁻¹ – связей Si-О-Al. Полоса поглощения при 795 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям мостиковой связи Si-О-Si, подтверждающей присутствие кварца, полосы при 538 и 473 см⁻¹ вызваны деформационными колебаниями связей О-Si-О. При взаимодействии добавки StabOL с частицами вскрышной породы отмечается появление полос поглощения в области 1400-1450 см⁻¹ (рис. 1б, кривая 2), принадлежащих колебаниям связей С-Н в группах СН₂, что свидетельствует о процессе гидрофобизации. Установлено, что полосы поглощения в области 1000-1100 см⁻¹ образца 2 становятся более размытыми, что объясняется разбуханием алюмокремнекислородных тетраэдров глинистых частиц. Трансформация полос поглощения в области 3700 – 3400 см⁻¹ доказывает участие ОН-групп глинистых частиц в образовании связей с полимером. Проведенные исследования свидетельствуют о формировании органоминеральных комплексов.

Таким образом, с привлечением методов дифференциальной калориметрии и термогравиметрии, а также инфракрасной спектроскопии установлен механизм связывания высокодисперсных частиц вскрышных пород полимерной добавкой StabOL, который заключается в формировании органоминеральных комплексов при участии глинистых частиц и перестройке гидратных оболочек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Boardman J. Soil Erosion in Europe / J. Boardman, J. Poesen. – John Willey and Sons, Ltd., 2006. – 855 p.
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. Borrelli P. An assessment of the global impact of 21 st 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.
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. Van Oost K. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Lal R. Soil erosion and the global carbon budget / R. Lal // Environment International. – 2003. – Vol. 29. – Issue 4. – P. 437-450.

9. 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.
10. 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.
11. Бараев А.И. Избранные труды / А.И. Бараев. – Алматы: Гылым, 2008. – Т. 1. – 390 с.
12. Богомоллов Д.В. О борьбе с эрозией почв / Д.В. Богомоллов // *Почвоведение*. – 1943. – № 3. – С. 49-64.
13. Гаель А.Г. Ветровая эрозия почв в Северном Казахстане / А.Г. Гаель // *Пыльные бури и их предотвращение*. – М., 1963 – С. 122-132.
14. Чакветадзе Е.А. Ветровая эрозия темнокаштановых супесчаных почв Северного Казахстана / Е.А. Чакветадзе. – М.: Наука, 1967. – 142 с.
15. Гайсин Ш.А. О ветровой эрозии почв в Башкирии / Ш.А. Гайсин, Г.Н. Лысак. – Уфа: Башкнигоиздат, 1958. – 22 с.
16. Гендугов В.М. О единстве механизмов водной и ветровой эрозии почвы / В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов // *Почвоведение*. – 2009. – № 5. – С. 598-605.
17. Гальперин А.М. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Том. 1 Насыпные и намывные массивы / А.М. Гальперин, В. Фёрстер, Х.-Ю. Шеф. – М.: Издательство Московского государственного горного университета. – 2006. – 391 с.
18. Михайкин С.В. 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, Л.В. Пронина, А.Б. Зезин, С.И. Ануфриева // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2004. – № 3. – С. 278 – 282.
19. Бесполитов Д.В. Экологически безопасные композиционные материалы для обеспыливания карьерных дорог / Д.В. Бесполитов, Н.А. Коновалова, П.П. Панков, Е.А. Руш // *Молодая наука Сибири*. – 2021. – № 1 (11). – С. 507-513.
20. Горбунов Н.И. Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах / Н.И. Горбунов, И.Г. Цюрупа, Е.А. Шурыгина. – Москва: Издательство Академии наук СССР, 1952. – С. 47. 188 с.

REFERENCES

1. Boardman J., Poesen J. Soil Erosion in Europe, *John Willey and Sons, Ltd.*, 2006, pp. 855.
2. Brown L.R. Eroding the base of civilization, *Journal of Soil and Water Conservation*, 1981, vol. 36, issue 5, pp. 255-260.
3. 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, pp. 2013.
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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Lal R. Soil erosion and the global carbon budget, *Environment International*, 2003, vol. 29, issue 4, pp. 437-450.
9. 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.
10. Lotosh V.E. [Antropogenny`e faktory` degradacii pochv i rekul`tivacziya narushenny`kh zemel`], *Problemy okruzhayushchej sredy i prirodnyh resursov: obzornaya informaciya*, 2004, no. 2, pp. 2-16. (In Russ.)

11. Baraev A.I. [Izbrannye trudy], *Almaty: Gylym*, 2008, vol. 1, pp. 390. (In Russ.)
12. Bogomolov D.V. [O bor'be s eroziyey pochv], *Pochvovedenie*, 1943, no. 3, pp. 49-64. (In Russ.)
13. Gael' A.G. [Vetrovaya eroziya pochv v Severnom Kazahstane], *Pyl'nye buri i ih predotvrashchenie*. – M., 1963, pp. 122-132. (In Russ.)
14. Chakvetadze E.A. [Vetrovaya eroziya temnokashtanovykh supeschanykh pochv Severnogo Kazahstana], *M.: Nauka*, 1967, pp. 142. (In Russ.)
15. Gajsin Sh.A., Lysak G.N. [O vetrovoj erozii pochv v Bashkirii], *Ufa: Bashkniigoizdat*, 1958, pp. 22. (In Russ.)
16. Gendugov V.M. [O edinstve mekhanizmov vodnoj i vetrovoj erozii pochvy], *Pochvovedenie*, 2009, no. 5, pp. 598-605. (In Russ.)
17. Gal'perin A.M., Fyorster V., Shef H.-YU. [Tekhnogennye massivy i ohrana prirodnykh resursov. Tom. 1 Nasypnye i namyvnye massivy], *M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2006, pp. 391. (In Russ.)
18. Mihejkin S.V., Smirnov A.YU., Alekseev A.N., Pronina L.V., Zezin A.B., Anufrieva S.I. [Interpolielektrolitnye komplekсы dlya zakrepleniya poverhnosti dlya predotvrashcheniya pyleperenosa vetrovoj i vodnoj erozii hvostohranilishch zolootvalov i drugih dispersnykh system], *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2004, no. 3, pp. 278 – 282. (In Russ.)
19. Bespolitov D.V., Konovalova N.A., Pankov P.P., Rush E.A. [Ekologicheski bezopasnye kompozicionnye materialy dlya obespylivaniya kar'ernykh dorog], *Molodaya nauka Sibiri*, 2021, no. 1 (11), pp. 507-513. (In Russ.)
20. Gorbunov N.I., Cyurupa I.G., Shurygina E.A. [Rentgenogrammy, termogrammy i krivye obezvozhivaniya mineralov, vstrechayushchihsya v pochvah i glinah], *Moskva: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR*, 1952, pp. 188. (In Russ.)

Информация об авторах

Бесполитов Дмитрий Викторович – аспирант, ассистент кафедры «Техносферная безопасность», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», e-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Коновалова Наталья Анатольевна – к.х.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», e-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Рущ Елена Анатольевна – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», e-mail: lrush@mail.ru

Information about the author

Bespolitov Dmitry Viktorovich – post-graduate student, assistant of the Department of Technosphere Safety, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, e-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Konovalova Natalia Anatolievna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, e-mail: zabizht_engineering@mail.ru

Rush Elena Anatolievna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety of the Irkutsk State Transport University, e-mail: lrush@mail.ru