

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТВАЛОВ ХОЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Н. Д. Шаванов, М. В. Обуздина

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия

Ключевые слова: месторождение; негативное воздействие; некондиционное сырье; окружающая среда; отвалы; цеолиты.

Аннотация: Проанализирована проблема, связанная с образованием и накоплением некондиционного сырья на примере цеолитсодержащих туфов Холинского месторождения с учетом содержания клиноптилолита в породе. Показаны история образования и использования туфов с середины XX века, особенности географического положения. Представлены основные характеристики туфов, их химический состав и текстурно-геометрические характеристики.

Рассмотрено негативное воздействие отвалов цеолитсодержащего сырья на атмосферу, гидросферу, литосферу и всю биосферу в целом. Дано описание основных явлений, возникающих с появлением отвала, и их вредного воздействия на окружающую среду, в том числе на примере ветровой эрозии поверхности отвала, пылении с откосов карьера, а также вероятности обрушения откосов вследствие обильных осадков.

Введение

Загрязнение окружающей среды от различных видов антропогенного воздействия является главной проблемой современного мира. В частности, освоение новых месторождений негативно сказывается на биологическом разнообразии экосистем и влияет на флору и фауну в районе размещения пород [1].

Добыча минерального сырья означает изъятие существенного количества вмещающих и вскрышных пород, которые складываются в отвалы и тем самым наносят существенный ущерб окружающей среде. При разработке месторождения некоторые породы могут оказаться некондиционными, что вызывает дальнейшую проблему негативного воздействия образующихся отвалов на окружающую среду.

Шаванов Николай Дмитриевич – аспирант кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: shavanov.nikolay@mail.ru; Обуздина Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия.

Кондиционным считается такой вид сырья, который в дальнейшем экономически целесообразно использовать в промышленности, например цеолитсодержащее сырье, включающее 85 – 90 % клиноптилолита (КПТ). Однако в цеолитах Холинского месторождения данного вещества недостаточно, поэтому цеолитсодержащие туфы – объект негативного воздействия на окружающую среду.

Данные породы являются непригодными для сельскохозяйственных нужд, занимают площадь до 5 га, что приводит к ухудшению экологической обстановки на прилегающих к месторождению территориях [2, 3]. Добыча, транспортирование и первичная переработка минерального сырья нарушают структуру и целостность экосистем, изменяют рельеф, образуют провалы и проседания земной поверхности, происходит пылеобразование, загрязнение химическими веществами, иссушение почвенно-грунтового покрова, появляются шумы [4 – 6]. Площадь выводимых из лесо- и агрооборота земель при добыче полезных ископаемых может достигать 0,8 га на 1000 т минерального сырья [7]. Отчуждаемые земли горных разработок составляют 60 – 90 %, при этом промышленность в целом несет потери как сырьевых, так и энергетических ресурсов, которые содержатся в крупнотоннажных отходах [8].

Материалы и методы

Объект исследования – цеолитсодержащие туфы клиноптилолитового типа Холинского месторождения, расположенного на севере Забайкальского края, на границе Читинской области и Республики Бурятия, на расстоянии 45 км от железнодорожной станции Могзон рядом с грейдерной автодорогой Могзон – Сосновоозёрск. Месторождение найдено при проведении геолого-съёмочных работ, которые осуществляло Бурятское геологическое управление в 1963 г. Холинское месторождение изначально оценивалось как перлитовое, с прогнозными ресурсами около 19 млн м³. Были проведены научно-исследовательские работы по таким направлениям, как минералогия, петрография, геохимия вулканических пород и гидротермально-метасоматические процессы цеолитизации. В период 1980 – 1988 гг. осуществлялись поисково-разведочные работы по определению цеолитоносности пород в рассматриваемом районе и исследованию качества представленного минерального сырья, а также его расположению в разрезе вулканогенно-осадочной толщи.

В 1989 году на основании постановления Совета министров Бурятской АССР «Об ускорении использования природных цеолитов Холинского месторождения» и решения Читинского областного Совета народных депутатов «Об отводе ЗабГОКу земель гослесфонда Холинского района под опытно-промышленную отработку Холинского месторождения цеолитов» организован карьер по выпуску товарной продукции. По количеству запасов цеолитового сырья данное месторождение является одним из крупнейших объектов в РФ.

Общая химическая формула цеолитов имеет вид $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3x \times SiO_2 \cdot yH_2O$, где М – катион щелочного или щелочно-земельного металла

с валентностью n . Основная структура цеолитов представлена в виде каркаса из тетраэдров $[Al, Si]O_4$.

С точки зрения геологической изученности запасы цеолитсодержащих руд по категории C_2 составляют 400 млн т для разведанной части месторождения, а прогнозные ресурсы достигают до 60 млн т. Пластовые залежи представлены разными размерами, наиболее крупные составляют 2,1 на 3,6 км при мощности слоев до 120 м. Мохейский участок Холинского месторождения наиболее благоприятен для добычи цеолитов из-за близповерхностных залегающих продуктивной толщи.

Основным минералом цеолитсодержащих туфов Холинского месторождения является клиноптилолит $Na_6[Al_6Si_{30}O_{72}] \cdot 24H_2O$, который с точки зрения химического состава относится к группе гейландита и содержит в большей степени одновалентные катионы. Плотность КПТ $2,16 \text{ г/см}^3$, емкость $0,34 \text{ см}^3/\text{см}^3$. Отношение Si/Al для КПТ составляет $4,25/5,25$.

Для нахождения удельной поверхности природного цеолитсодержащего туфа применялся метод Брунауэра–Эммета–Теллера (теория БЭТ) по изотермам адсорбции на приборе ASAP-2400.

Минеральный состав цеолитов определяли методом порошковой рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Thermo Scientific ARL-X'tra (излучение CuK_{α} , $U = 40 \text{ кВ}$, $I = 40 \text{ мА}$). Степень цеолитизации Холинских туфов устанавливали посредством определения количества КПТ в породе методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с помощью дифрактометра ДРОН-3. Химический состав цеолитизированной породы анализировали также методом РФА на рентгеновском анализаторе VRA-20R [9].

Результаты и обсуждение

Химический состав природных цеолитов, %: $SiO_2 - 65,6$; $Al_2O_3 - 12,2$; $Fe_2O_3 - 1,3$; $CaO - 2,1$; $MgO - 0,64$; $Na_2O - 1,9$; $K_2O - 4,14$; $MnO - 0,14$; $S_{\text{общ}} - 0,02$; $H_2O - 4,14$. Пористость – до 41 %, что является высоким значением и свидетельствует о дальнейшем возможном применении цеолитов в качестве адсорбентов. Средний диаметр пор – $0,7234 \text{ мкм}$ по объему и $12,428 \text{ мкм}$ – по поверхности микропор [10].

В составе породы КПТ содержится около 60 – 66 %, в редких случаях встречается содержание цеолита до 80 – 90 %. Влажность составляет до 10 % по шкале Протодьяконова, которая основывается на измерении трудоемкости разрушения руды при добывании, крепость породы – III–IV, соответственно, чем выше коэффициент, тем сложнее измельчить цеолит, распределение которого в рудах выдержанное [11].

Только при высокой степени цеолитизации (от 85 – 90 % и более) экономически целесообразно применять цеолиты при производстве теплоизоляционных материалов и как композиты для производства дорожных одежд, а также в сельском хозяйстве или медицине. При более низком содержании цеолитовой фазы в породе месторождение становится менее востребованным и может являться объектом негативного воздействия для окружающей среды.

Разработка месторождения существенно нарушает экосистемы, возникает ветровая эрозия, что вызывает повышенную запыленность при интенсивности до 2,6 кг/с. Пылевые частицы рассеиваются на многие километры. С одного гектара за год может разноситься 200...500 т пыли, в зависимости от тяжести механического состава горной породы в отвале, при этом покрывается площадь до 500 га. При проводимых расчетах степени запыления района считается, что половина пылевых частиц оседает на близкорасположенных от отвала землях, вторая половина долго не оседает, продолжая распространяться с воздушными массами по прилегающим территориям [12].

Пыль в районе размещения отвалов месторождения негативно влияет на органы дыхания всех живых существ. Таким образом, увеличивается количество заболеваний органов дыхания среди людей, проживающих в данном районе, что в свою очередь влияет на работу сердечно-сосудистой системы организма. Наибольшая степень пылеобразования наблюдается в засушливых районах с резко континентальным климатом, где количество осадков за год не превышает 300 мм [13].

Вторичное загрязнение возникает при выпадении осадков, когда пылевые частицы смываются сточными водами. Кроме того, существует риск обрушения отвалов в случае длительных, обильных осадков. С уменьшением сил сцепления нарушается устойчивость массивов, связанная со снижением прочностных свойств, вследствие локального влагонасыщения атмосферными осадками. Также может осуществляться процесс естественного выщелачивания металлов с образованием загрязненных стоков в результате воздействия дождевых и талых вод [14].

Загрязняющие вещества отвала, проникая в грунтовые воды, являются источником опасности для близко расположенных населенных пунктов, негативно сказываются на состоянии биогеоценозов. В случае проникновения сточных вод отвала в водоносные горизонты, вода становится непригодной для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Перечень антропогенных факторов, воздействующих на экосистемы в районе Холинского месторождения, приведен в табл. 1.

Некондиционное минеральное сырье, накапливаясь в отвалах, оказывает негативное воздействие на земельные ресурсы. Таким образом, необходимо минимизировать или не допускать экологические риски, связанные с уменьшением площади продуктивных земель и их загрязнением, внесением различных загрязняющих компонентов в подземные и поверхностные воды, ухудшением природного ландшафта. Экологический ущерб от антропогенной деятельности, в том числе техногенной, ярко выражен в загрязнении земель различными химикатами, несанкционированными свалками и нерегламентированным размещением отходов, что в результате приводит к деградации земель и почв, обеднению и исчезновению плодородного слоя.

Объектами негативного влияния на окружающую среду выступают не только непосредственно места размещения отвалов месторождения, но и антропогенные факторы, сопутствующие процессу его эксплуатации. К ним относится, например, работа горнодобывающей техники, которая вследствие своей существенной массы нарушает верхние слои грунта, оставляя глубокие борозды, и ускоряет эрозию почв. Тяжелая техника также является объектом пылеобразования и загрязнения атмосферы.

Таблица 1

**Антропогенные факторы, воздействующие на биогеоценозы
в районе Холинского месторождения**

Антропогенное воздействие			
Воздух	Водная среда	Почва	Биогеоценоз
<ul style="list-style-type: none"> – пыление от отвала; – пыль как следствие ветровой эрозии; – пыль с откосов карьера; – пыль от тяжелой техники 	<ul style="list-style-type: none"> – попадание твердых частиц в водную среду; – изменение: состава питьевой воды; гидрологии затопленных карьеров и шахт как искусственных озер; уровня грунтовых вод 	<ul style="list-style-type: none"> – деградация почв; – уменьшение лесного фонда из-за изъятия земель; – антропогенное воздействие на ландшафт путем образования карьеров; – разрушение почвенного слоя; – снижение биопродуктивности; – препятствие возобновлению системобразующих пород 	<ul style="list-style-type: none"> – ухудшение видового разнообразия; – влияние на миграцию животных; – изменение ареала их обитания; – уничтожение растительного покрова; – препятствие восстановлению и развитию лесов

Разработка новых месторождений, добыча полезных ископаемых и сопутствующие виды работ негативно влияют на экологическую обстановку всего региона в целом, что влечет за собой необходимость применения мер по защите окружающей среды и минимизации экологических рисков. Географические и климатические особенности, ресурсная специфика территории и, прежде всего, развитие промышленности образуют следующие экологические проблемы: загрязнение водных объектов и воздуха, уничтожение среды обитания животных и растений. Из-за недостаточного содержания КПП в породе, цеолитсодержащие туфы Холинского месторождения являются некондиционным сырьем, что требует решения экологической проблемы воздействия таких отвалов на флору и фауну.

Заключение

Любой техногенный ландшафт постепенно трансформируется в естественный по причине наличия природных факторов, но продолжительность такой трансформации для каждого из них будет отличаться в зависимости от изначальной антропогенной нагрузки. С момента уничтожения растительного и почвенного покрова до частичного восстановления и достижения определенной комплексной структуры (с учетом климатического режима, среднесуточной температуры и влажности) может пройти десятки и сотни лет. Вторичная сукцессия занимает в среднем 150 – 250 лет до восстановления полного биологического разнообразия [15].

Таким образом, необходимо снижать риски негативного воздействия отвалов цеолитов Холинского месторождения путем их вовлечения в производство таких видов продукции, при которых не требуется высокое содержание клиноптилолита в исходной породе, например, в строительные материалы и сорбенты для очистки сточных вод от различных примесей.

Список литературы

1. Zhu, Z-Y. Analysis and Simulation of the Spatial Autocorrelation Pattern in the Ecosystem Service Value of the Oasis Cities in Dry Areas / Z-Y. Zhu, K. Alimujiang // *Journal of Ecology and Rural Environment*. – 2019. – Vol. 35, No. 12. – P. 1531 – 1540.
2. Potentially Toxic Metal Contamination and Microbial Community Analysis in an Abandoned Pb and Zn Mining Waste Deposit / M. C. Kasemodel, I. K. Sakamoto, M. B. A. Varesche, V. G. S. Rodrigues // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol. 675. – P. 367 – 379. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.223
3. Matinde, E. Mining and Metallurgical Wastes: A Review of Recycling and Re-Use Practices / E. Matinde, G. S. Simate, S. Ndlovu // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2018. – No. 8 (118). – P. 825 – 844.
4. Brooks, S. J. An Ecotoxicological Assessment of Mine Tailings from Three Norwegian Mines / S. J. Brooks, C. Escudero-Onate, A. D. Lillicrap // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 233. – P. 818 – 827. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.06.003
5. Impact of Acid Mine Drainages on Surficial Wasters of an Abandoned Mining Site / M. L. García-Lorenzo, J. Marimón, M. C. Navarro-Hervás [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – Vol. 23. – P. 6014 – 6023. doi: 10.1007/s11356-015-5337-2
6. Technogenic Geochemical Evolution of Chernozems in the Sulfur Coal Mining Areas / P. Krechetov, O. Chernitsova, A. Sharapova, E. Terskaya // *Journal of Soils and Sediments*. – 2019. – Vol. 19. – P. 3139 – 3154. doi: 10.1007/s11368-018-2010-7
7. Опрышко, Д. С. Современные подходы к горнотехнической рекультивации / Д. С. Опрышко, А. Ю. Облицов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2011. – № 10. – С. 191 – 194.
8. Щелканов, Н. С. Рекультивация отвалов вскрышных пород на угольных разрезах Забайкальского края / Н. С. Щелканов, Ю. М. Овешников, Ю. В. Субботин // *Вестн. Забайкальского гос. ун-та*. – 2012. – № 11 (90). – С. 28 – 33.
9. Установление экологической безопасности стабилизирующей добавки для решения проблемы пыления отвалов вскрышных пород / Д. В. Бесполитов, П. П. Панков, Н. А. Коновалова, Е. А. Корякина // *Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского*. – 2022. – № 2 (84). – С. 15 – 24. doi: 10.17277/voprosy.2022.02.pp.015-024
10. Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. – М. : Мир, 1987. – 125 с.
11. Челищев, Н. Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья / Н. Ф. Челищев, Б. Г. Беренштейн, В. Ф. Володин. – М. : Недра, 1987. – 176 с.
12. Стрекалова, Т. А. Мероприятия, снижающие вредное воздействие отвалов на окружающую среду / Т. А. Стрекалова, В. А. Стрекалова, Е. С. Меренкова // *Успехи соврем. естествознания*. – 2013. – № 4. – С. 118 – 121.
13. Подображин, С. Н. Предотвращение пылевыделения в атмосферу разрезов при ветровой эрозии / С. Н. Подображин // *Безопасность труда в промышленности*. – 2011. – № 6. – С. 16 – 22.
14. Бахаева, С. П. Комплексный мониторинг техногенных грунтовых массивов угольных разрезов / С. П. Бахаева, С. М. Простов // *Безопасность труда в промышленности*. – 2011. – № 4. – С. 20 – 24.

15. Кожевников, Н. В. Проблема хранения плодородного слоя почвы в горнодобывающей отрасли промышленности / Н. В. Кожевников, А. В. Заушинцева // Вестн. Кемеровского гос. ун-та. – 2015. – № 1-4 (61). – С. 10 – 14.

References

1. Zhu Z-Y., Alimujiang K. Analysis and Simulation of the Spatial Autocorrelation Pattern in the Ecosystem Service Value of the Oasis Cities in Dry Areas, *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2019, vol. 35, no. 12, pp. 1531-1540.

2. Kasemodel M.C., Sakamoto I.K., Varesche M.B.A., Rodrigues V.G.S. Potentially Toxic Metal Contamination and Microbial Community Analysis in an Abandoned Pb and Zn Mining Waste Deposit, *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 675, pp. 367-379, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.223

3. Matinde E., Simate G.S., Ndlovu S. Mining and Metallurgical Wastes: A Review of Recycling and Re-Use Practices, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2018, no. 8 (118), pp. 825-844.

4. Brooks S.J., Escudero-Onate C., Lillicrap A.D. An Ecotoxicological Assessment of Mine Tailings from Three Norwegian Mines, *Chemosphere*, 2019, vol. 233, pp. 818-827, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.06.003

5. García-Lorenzo M.L., Marimón J., Navarro-Hervás M.C. [et al.] Impact of Acid Mine Drainages on Surficial Wasters of an Abandoned Mining Site, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 23, pp. 6014-6023, doi: 10.1007/s11356-015-5337-2

6. Krechetov P., Chernitsova O., Sharapova A., Terskaya E. Technogenic Geochemical Evolution of Chernozems in the Sulfur Coal Mining Areas, *Journal of Soils and Sediments*, 2019, vol. 19, pp. 3139-3154, doi: 10.1007/s11368-018-2010-7

7. Opryshko D.S., Oblitsov A.Yu. [Modern approaches to mining reclamation], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)], 2011, no. 10, pp. 191-194. (In Russ.).

8. Shchelkanov N.S., Oveshnikov Yu.M., Subbotin Yu.V. [Recultivation of overburden dumps in coal mines of the Trans-Baikal Territory], *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikalian State University], 2012, no. 11 (90), pp. 28-33. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Bespolitov D.V., Pankov P.P., Konovalova N.A., Koryakina Ye.A. [Establishing the environmental safety of a stabilizing additive for solving the problem of dusting of overburden dumps], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2022, no. 2 (84), pp. 15-24, doi: 10.17277/voprosy.2022.02.pp.015-024 (In Russ., abstract in Eng.)

10. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost'* [Adsorption, specific surface, porosity], Moscow: Mir, 1987, 125 p. (In Russ.).

11. Chelishchev N.F., Berenshteyn B.G., Volodin V.F. *Tseolity - novyy tip mineral'nogo syr'ya* [Zeolites - a new type of mineral raw materials], Moscow: Nedra, 1987, 176 p. (In Russ.).

12. Strekalova T.A., Strekalova V.A., Merenkova Ye.S. [Measures to reduce the harmful effects of dumps on the environment], *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2013, no. 4, pp. 118-121. (In Russ., abstract in Eng.)

13. Podobrazhin S.N. [Prevention of dust release into the atmosphere of cuts during wind erosion], *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Safety of work in industry], 2011, no. 6, pp. 16-22. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Bakhayeva S.P., Prostov S.M. [Complex monitoring of technogenic soil massifs of coal mines], *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Safety of work in industry], 2011, no. 4, pp. 20-24. (In Russ., abstract in Eng.)

15. Kozhevnikov N.V., Zaushintsena A.V. [The problem of storing the fertile soil layer in the mining industry], *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Kemerovo State University], 2015, no. 1-4 (61), pp. 10-14. (In Russ., abstract in Eng.)

Assessing the Impact of Holinsky Deposit Dumps on the Environment

N. D. Shavanov, M. V. Obuzdina

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Keywords: zeolites; dumps; deposit; substandard raw materials; negative impact; environment.

Abstract: The article analyzes the problem associated with the formation and accumulation of substandard raw materials through the example of zeolite-containing tuffs of the Holinsky deposit, taking into account the content of clinoptilolite in the rock. The history of the formation and use of tuffs from the middle of the 20th century, the features of the geographical location are considered. The main characteristics of tuffs, their chemical composition and textural and geometric characteristics are presented.

The negative impact of dumps of zeolite-containing raw materials on the atmosphere, hydrosphere, lithosphere and the entire biosphere as a whole is considered. The main phenomena that occur with the appearance of a dump and their harmful effects on the environment are described, including the example of wind erosion of the dump surface, dusting from the slopes of a quarry, as well as the likelihood of slope collapse due to heavy rainfall.

© Н. Д. Шаванов, М. В. Обуздина, 2023