



**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ**

К. К. Размахнин

*Институт горного дела им Н. А. Чинакала СО РАН (Читинский филиал),
E-mail: constantin-const@mail.ru, ул. Александрo-Заводская 30, г. Чита 672039, Россия*

Исследована возможность использования природных цеолитов в технологиях защиты компонентов окружающей природной среды при работе горных предприятий. Изучены вопросы комплексной переработки цеолитсодержащих пород. Определены и обоснованы наиболее эффективные технологии обогащения цеолитов, модификации и активации их свойств, а также очистки от вмещающих примесей. Установлены основные параметры применения предлагаемых технологий обогащения цеолитсодержащих пород. Приведены результаты экспериментальных исследований переработки природных цеолитовых пород с применением различных методов обогащения. Определены основные направления применения природных цеолитов с целью обеспечения комплексной экологической безопасности горнопромышленных предприятий.

Горнопромышленные комплексы, цеолитсодержащие породы, комплексное использование, технологии, методы очистки и модификации, обеспечение комплексной экологической безопасности

**USING NATURAL ZEOLITES TO INCREASE ENVIRONMENTAL SAFETY
IN MINING REGIONS**

K. K. Razmakhnin

*Chinakal Institute of Mining, Chita Subdivision, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: constantin-const@mail.ru, ul. Alexandro-Zavodskaya 30, Chita 672039, Russia*

The possibility of using natural zeolites in technologies for protecting environmental components during the operation of mining enterprises has been investigated. Issues of complex processing of zeolite-containing rocks have been studied. The most effective technologies for enrichment of zeolites, modification and activation of their properties, as well as purification from enclosing impurities have been determined and substantiated. The main parameters of the application of the proposed technologies for enrichment of zeolite-containing rocks have been established experimentally. The main directions of the use of natural zeolites in order to ensure the comprehensive environmental safety of mining enterprises have been determined.

Mining enterprises, zeolite-containing rocks, comprehensive use, technologies, methods of cleaning and modification, ensuring comprehensive environmental safety

В настоящее время добыча и переработка минерального сырья способствует развитию промышленности, инфраструктуры и социальной сферы регионов России, однако при этом возникает существенная нагрузка на экологию горнопромышленных районов и прилегающих к ним территорий с риском масштабного нарушения окружающей природной среды. Как правило, к основным экологическим последствиям при работе горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий можно отнести, в первую очередь, нарушение функционирования экологических систем (флора, фауна, ихтиофауна), загрязнение атмосферы, почв, поверхностных и подземных водоемов, нарушение ландшафта, которые оказывают существенное влияние на условия жизни человека [1 – 3].

Следует отметить, что отрицательное воздействие горного производства на компоненты природной окружающей среды, как правило, ограничено установленной санитарно-защитной зоной предприятия и при реализации эффективных природоохранных мероприятий может быть существенно минимизировано. При этом решение проблемы интенсивного негативного воздействия горнопромышленных комплексов на прилегающую к ним территорию обеспечивается не только реализацией регламентируемых нормативно-правовыми актами природоохранных мероприятий, но и применением наиболее передовых технологий, основанных на энерго- и ресурсосбережении. В этой связи, эффективность классических мероприятий по защите окружающей природной среды, может быть повышена за счет внедрения инновационных технологических решений, способных максимально снизить или ликвидировать экологическую нагрузку.

Для минимизации воздействия горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий на компоненты окружающей природной среды могут найти широкое применение цеолитсодержащие породы (природные цеолиты), обладающие сорбционной способностью к тяжелым металлам и некоторым радионуклидам (в том числе к урану, цезию и стронцию), а также высокими связующими свойствами [1, 3]. При этом повышение эффективности применения природных цеолитов зачастую достигается их обогащением, модификацией свойств, а также за счет очистки от вмещающих примесей. В этой связи, модификация и активация свойств природных цеолитов, осуществляемая термическим способом, а также воздействием различных кислот и щелочей, направлена, как правило, на повышение ионообменных и сорбционных свойств. Подобный эффект предполагает и применяемая к цеолитсодержащим породам очистка от вмещающих примесей, которая, в настоящее время, ограничена лишь удалением железосодержащих примесей при помощи магнитной сепарации. В этой связи, с целью максимальной очистки от примесей железа, кварца, полевых шпатов и других примесей, снижающих эксплуатационные характеристики природных цеолитов, возможно, наряду с классическими методами обогащения, применение методов направленного энергетического воздействия, к которым относится ультразвуковая обработка, а также воздействие мощными электромагнитными импульсами, радиационное облучение. Достаточно эффективными для обогащения цеолитсодержащих пород также являются: магнитная сепарация в изодинамическом поле и электростатическая сепарация с подогрев-электризацией обогащаемого сырья.

Необходимо отметить, что применение предлагаемых энергетических методов направленного воздействия существенно повышает эффективность процессов рудоподготовки цеолитовых пород за счет расклинивающего и диспергирующего эффекта, что в свою очередь положительно влияет на раскрытие ценного компонента (цеолита) и отделение от него вмещающих примесей, а также снижает затраты на переработку данного вида сырья. При этом повышение эффективности рудоподготовки цеолитсодержащих пород достигается за счет применения радиационных методов воздействия и мощных электромагнитных импульсов, удаление примесей железа — магнитной сепарацией в изодинамическом поле, удаление примесей слюды, кварца и полевых шпатов — применением электростатической сепарации с подогрев-электризацией, а удаление органики, глинистых компонентов, кварца, плагиоклаза и других примесей — ультразвуковой обработкой. На основании результатов, полученных при проведении экспериментальных исследований, установлено, что использование энергии ультразвукового поля усиливает диспергирующий эффект природных цеолитов, при этом достигается довольно высокая степень отделения от них глинистого компонента, а содержание цеолита в концентрате достигает 96.7 % (табл. 1).

В результате проведенных исследований [4] также установлена эффективность облучения цеолитсодержащих пород ускоренными электронами (радиационное воздействие), при этом величина оптимальной дозы облучения составляет 2 кГр, в результате чего увеличивается коэффициент раскрытия цеолитов с 38 до 54 %, а содержание ценного компонента (цеолита) в концентрате возрастает составляет 96.28 % (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Результаты исследований по обогащению цеолитсодержащих пород Талан-Гозагорского и Шивыртуйского месторождений

Месторождение	Извлечение цеолитов, %
После ультразвуковой обработки	
Шивыртуйское	96.70
Талан-Гозагорское	96.55
После МЭМИ	
Шивыртуйское	97.20
Талан-Гозагорское	97.15
После обработки ускоренными электронами (доза облучения 2 кГр)	
Шивыртуйское	96.28
Талан-Гозагорское	95.37

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить эффективность предварительной обработки цеолитсодержащих пород мощными электромагнитными импульсами в качестве подготовительной операции перед использованием магнитной сепарации. При этом происходит увеличение извлечения железосодержащих примесей до 98 %, а содержание цеолитов при этом достигает 97.15 % (табл. 1). Следует отметить, что помимо направленных энергетических и физико-механических методов воздействия, для модификации свойств цеолитсодержащих пород могут быть использованы химические методы, которые обуславливают возможность повышения ионообменной емкости цеолитов и получение алюмосодержащих продуктов. В этой связи, к основным операциям при переработке цеолитсодержащих пород можно отнести: энергетические воздействия, дробление, измельчение, грохочение, механохимические методы воздействия, гидрохимические воздействия (кислотная и щелочная обработка), магнитную и электростатическую сепарации, сушку и обеспыливание.

В результате переработки цеолитсодержащих пород образуется достаточно большое количество отходов, что обуславливает актуальность вопроса комплексного использования данного вида сырья. В настоящее время с учетом промышленного, инфраструктурного и социального развития региона отходы производства по обогащению и модификации природных цеолитов могут быть применены в строительных технологиях, к примеру, при закладке выработанного пространства (горных выработок), отсыпке железнодорожных путей, автодорог, закреплении пылящих поверхностей отвалов и хвостохранилищ, что позволит в большей степени отказаться от складирования отходов и снизить нагрузку на основные компоненты окружающей природной среды. При этом основными задачами ресурсосберегающих технологий при добыче и переработке цеолитсодержащих пород являются: уменьшение отходов переработки при повышении комплексности их переработки цеолитсодержащих пород; уменьшение объемов складированных отходов в результате комплексного использования цеолитсодержащих пород; повышение качества цеолитсодержащих пород за счет предлагаемых автором технологий, снижение негативного воздействия производства природных цеолитов на компоненты окружающей природной среды, восстановление природных экосистем благодаря санации нарушенных земель (почв). Таким образом, происходящее в результате реализации концепции комплексного использования цеолитсодержащих пород и применения их в геоэкологических технологиях сокращение объемов отвалов и хвостохранилищ, существенно снижает масштаб негативного воздействия горнопромышленных комплексов на компоненты природной среды, а также сокращает перечень природоохранных мероприятий и затрат на их осуществление.

Результаты анализа современного состояния вопроса комплексного использования цеолитсодержащих пород показывают, что производственные процессы по их добыче и переработке должны быть замкнуты в единый технологический цикл. При этом необходимым условием достижения максимальной комплексности использования цеолитсодержащих пород является

наличие технологических схем их переработки, основанных на концепции безотходного или малоотходного производства, которая реализуется путем разделения цеолитовых пород на составляющие их структурные элементы. В этой связи становится особо актуальным показатель содержания цеолитов в породе, который определяет способ отработки месторождения, а также выбор и необходимость применения методов обогащения, переработки и модификации. Предлагаемый подход позволит подойти выборочно к добыче цеолитсодержащих пород, основываясь на содержании цеолитов в отдельных пластах месторождения, а также достичь селективности выделения технологических типов и сортов пород, каждый из которых найдет практическое применение в соответствии со своими товарными характеристиками. При этом цеолитсодержащие пород богатых пластов могут быть использованы без предварительного обогащения (при содержании цеолитов 96–99 %), как это имеет место быть при использовании цеолитов месторождения “Западное” (Иран). Однако большая часть цеолитовых пород как в России, так и за рубежом, представлена сырьем с невысоким содержанием ценного компонента, что требует разработки технологий их обогащения, модификации и очистки от вмещающих примесей, способных обеспечить содержание цеолита в концентрате 95–99 % с учетом необходимости достижения максимальных показателей экологичности и ресурсосбережения.

Основные направления возможного применения цеолитов при ликвидации и предотвращении негативного воздействия горных предприятий на природные компоненты представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Применение цеолитсодержащих пород для обеспечения экологической безопасности горнопромышленных предприятий

Направление использования природных цеолитов	Примечание
Геохимические барьеры. Фильтрационный слой дамбы хвостохранилищ	Фильтрационные барьеры
Складирование и захоронение радиоактивных и токсичных отходов	Вспомогательное экранирование
Рекультивация хвостохранилищ	Биологическая рекультивация техногенных месторождений
Очистка отходящих газов от SO ₂ и окислов азота	Фильтры
Очистка сточных вод. Биоремедиация водоемов	Фильтры (очистка питьевой воды, оборотных и сточных вод), очистка от флотационных реагентов, от нефтепродуктов, кондиционирование закисленных стоков, сорбция катионов тяжелых металлов, сорбция радионуклидов ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr, ионов Ca ²⁺
Закладка выработанного пространства	Заменитель части цемента, компонент тампонажных растворов, обеспечение коррозионной стойкости цементных композиций
Закрепление пылящих поверхностей	Борьба с пылением поверхностей хвостохранилищ, защита от выветривания и окисления
Отсыпка автомобильных дорог, обочин дорог, промплощадок, складов ГСМ, стояночных площадок для транспорта	Повышение эффективности связывания пыли в раствор оксигидрильного собирателя необходимо вводить соли щелочноземельных или тяжелых металлов. Реагенты: таловое масло, синтетические жирные кислоты, алкисульфонаты, а в качестве активатора — хлорид кальция. Обеспыливание дорог в составе с флотореагентами-модификаторами (жидкое стекло, известковое молоко в сочетании с медным или цинковым купоросом, ксантогенатом натрия или с хлоридом кальция)
Строительство насыпей ж/д путей	Сорбент нефтепродуктов
Строительство зданий и сооружений	Активная добавка при производстве цемента; заменитель извести в вяжущих растворах
Санация, восстановление почв	Компонент почвосмесей для повышения плодородности почв и снижения их токсичности

Из представленных в табл. 2 данных следует, что цеолитсодержащие породы могут найти широкое применение в геоэкологических технологиях и существенно снизить воздействие горнопромышленных комплексов на компоненты окружающей природной среды, являясь при этом достаточно распространенным и относительно недорогим сырьем.

Обеспечение условий экологичности и ресурсосбережения при переработке цеолитсодержащих пород и реализации их в геоэкологических технологиях горных предприятий, требует проведения системного анализа последствий их хозяйственной деятельности для окружающей природной среды, а также разработку необходимых природоохранных мероприятий в соответствии с особенностями техногенного воздействия и законодательством.

ВЫВОДЫ

Проведенные научные исследования по определению и обоснованию направлений использования цеолитсодержащих пород при решении геоэкологических проблем горнопромышленных территорий, позволили установить, что предлагаемые инновационные технологические решения, основанные на использовании методов обогащения, модификации, активации и очистки природных цеолитов от вмещающих примесей, кардинально расширяют список областей их применения. При реализации мероприятий по защите окружающей природной среды в условиях работы горных предприятий, результат применения цеолитсодержащих пород обеспечивается комплексностью их использования и ресурсосбережением при существенной минимизации техногенной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Yusupov T. S.** Methods of concentration and separation of zeolites from rocks, Methods of diagnosis and quantitative determination of zeolites in rocks, Novosibirsk, IGG SBAS USSR, 1985, pp. 161–168. [**Юсупов Т. С.** Способы концентрирования и выделения цеолитов из горных пород // Методы диагностики и количественного определения содержания цеолитов в горных породах. — Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1985. — С. 161–168.]
2. **Pavlenko Y. V.** Zeolite deposits of Eastern Transbaikalia. Chita, Chita SU, 2000, 101 pp. [**Павленко Ю. В.** Цеолитовые месторождения Восточного Забайкалья. — Чита, ЧитГУ, 2000. — 101 с.]
3. **Faleichik L. M.** Geoinformation models in the assessment of damage to natural systems as a result of economic activity, Bulletin of the Trans-Baikal State University, 2014, no. 08 (111). [**Фалейчик Л. М.** Геоинформационные модели в оценке ущерба природными системами в результате хозяйственной деятельности // Вестник ЗабГУ. — 2014. — № 08 (111).]
4. **Hatkova A. N., Rostovtsev V. I., Razmakhnin K. K., and Emelyanov V. N.** Influence of the impact of accelerated electrons on zeolite-containing rocks of Eastern Transbaikalia, Journal Mining of Science, 2013, vol. 6, pp. 167–174. (in Russian) [**Хатькова А. Н., Ростовцев В. И., Размахнин К. К.** Влияние воздействия ускоренными электронами на цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья // ФТПРПИ. — 2013. — № 6. — С. 167–174.]