

ОБОГАЩЕНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

А. Н. Хатькова¹, К. К. Размахнин², Л. В. Шумилова¹, В. Г. Черкасов¹, И. Б. Размахнина²

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Чита, Россия

Аннотация: Рассмотрены вопросы обогащения и модификации свойств цеолитсодержащих пород с целью повышения их качества, обуславливающего расширение перечня направлений использования природных цеолитов в технологиях защиты окружающей среды горнопромышленных территорий. Установлено, что сокращение негативного воздействия горнопромышленных комплексов на экосистемы территорий их расположения может быть достигнуто, в частности, путем широкого применения природных цеолитов (цеолитсодержащих пород), обладающих связующими свойствами и высокой селективной сорбционной способностью к ряду радионуклидов и тяжелых металлов. Определена эффективность обработки цеолитсодержащих пород ультразвуком и ускоренными электронами с целью повышения их контрастности и градиента свойств, существенно влияющих на эффективность переработки. Приведены результаты экспериментальных исследований по обогащению цеолитовых пород крупнейших и наиболее перспективных месторождений Восточного Забайкалья с применением методов направленного энергетического воздействия. Установлено, что с применением энергетической и радиационной обработки, магнитной и электростатической сепарации, достигается чистота цеолитового продукта на уровне 99 %, что позволяет наиболее эффективно использовать природные цеолиты, в том числе и в экологических технологиях. Представлены результаты определения количественного содержания клиноптилолита в цеолитсодержащих породах месторождения «Западное». Исследована возможность использования цеолитсодержащих пород и продуктов их переработки в технологиях защиты экосистем горнопромышленных территорий. Определены основные направления применения природных цеолитов с целью обеспечения комплексной экологической безопасности предприятий горной отрасли.

Ключевые слова: цеолитсодержащие породы, комплексное использование, технологии, методы обогащения, свойства, очистка, примеси, модификация, направления использования, горнопромышленные комплексы.

Для цитирования: Хатькова А. Н., Размахнин К. К., Шумилова Л. В., Черкасов В. Г., Размахнина И. Б. Обогащение и модификация свойств цеолитсодержащих пород с целью расширения областей их практического применения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-2. – С. 153–163. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_153.

Beneficiation and modification of properties of zeolite-bearing rocks toward expansion of their application range

A. N. Khatkova¹, K. K. Razmakhnin², L. V. Shumilova¹, V. G. Cherkasov¹, I. B. Razmakhnina²

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia;

² Institution of Science Institute of Mining named after N. A. Chinakal, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia

Abstract: The article discusses beneficiation and modification of properties of zeolite-bearing rocks toward their quality improvement with a view to expanding the application range of natural zeolites in the environmental technologies for mining areas. It is found that the environmental impact in mineral mining and processing areas can be mitigated through the extensive use of natural zeolites (zeolite-bearing rocks) possessing binding properties and high selective adsorbability relative to some radionuclides and heavy metals. The efficiency of zeolite-bearing rock treatment by ultrasound and accelerated electrons in order to increase their contrast range and the gradient of properties, which significantly enhance processing performance, is determined. The experimental studies into treatment of zeolite rocks from the largest and most promising deposits of Eastern Transbaikalia using the direct energy deposition are presented. It is found that energy deposition, radiation treatment, as well as magnetic and electrostatic separation allow the zeolite product purity of 99%, which enables the most efficient use of natural zeolites, including the environmental technologies. The results of the quantitative estimation of clinoptilolite content in zeolite-bearing rocks of the Zapadnoe deposit are presented. Applicability of zeolite-bearing rocks and their processing products in the environmental technologies for protecting ecosystems of mining areas is examined. The main directions for the use of natural zeolites toward the all-round environmental safety of mines are identified.

Key words: zeolite-bearing rocks, complex use, technologies, methods of enrichment, properties, purification, impurities, modification, directions of use, mining complexes.

For citation: Khatkova A. N. , Razmakhnin K. K. , Shumilova L. V. , Cherkasov V. G. , Razmakhnina I. B. Beneficiation and modification of properties of zeolite-bearing rocks toward expansion of their application range. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-2):153–163. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_153.

Введение

Бурный рост горной промышленности в России определяет развитие инфраструктуры и социальной сферы в регионах страны, однако при этом существенно возрастает нагрузка на экосистемы горнопромышленных территорий и прилегающих к ним районов с риском развития масштабных неблагоприятных экологических последствий для окружающей природной среды. Негативное воздействие

при функционировании горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий сказывается, в первую очередь, на экологических системах (флора, фауна, ихтиофауна), атмосфере, почвах, ландшафте, а также на поверхностных и подземных водоемах [1 – 9].

Необходимо отметить, что отрицательное воздействие горнопромышленных комплексов на экосистему ограничено, как правило, установленными территориальными границами (сани-

тарно-защитной зоной) и при осуществлении необходимых природоохранных мероприятий может быть существенно сокращено. При этом наряду с реализацией предлагаемых нормативно-правовыми документами природоохранных мероприятий, одним из путей решения проблемы загрязнения территорий горнопромышленных комплексов является применение наилучших доступных технологий (НТД), в основу которых положено энерго- и ресурсосбережение. Вместе с тем эффективность применяемых традиционных природоохранных мероприятий может быть повышена за счет применения инновационных, направленных технических решений, позволяющих существенно снизить или ликвидировать нагрузку на экосистему района локации производственного предприятия.

Сокращение негативного воздействия горнопромышленных комплексов на экосистемы территорий их расположения может быть достигнуто, кроме прочего, путем широкого применения природных цеолитов (цеолитсодержащих пород), обладающих связующими свойствами и высокой селективной сорбционной способностью к ряду радионуклидов и тяжелых металлов. При этом основными катионами, поглощаемыми природными цеолитами из жидкостей, являются: Cs^+ , Pb^+ , NH_4^+ , Ag^+ , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Co^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , а к поглощаемым цеолитами газам можно отнести: CO , CO_2 , SO_2 , NH_3 , N_2 , CH_3OH , фреон, меркаптаны и т. д., что говорит о возможности широкого применения данного вида сырья в экологических технологиях [10–13].

Одним из наиболее богатых ресурсами цеолитсодержащих регионов России является Восточное Забайкалье, на территории которого расположены такие крупные месторождения, как

Шивиртуйское, Холинское, Бадинское и Талан-Гозагорское. Суммарные запасы данных месторождений составляют около полутора миллиарда тонн, что позволяет в полной мере обеспечить потенциальных потребителей доступным и достаточно недорогим сырьем. При этом в зависимости от направления применения цеолитсодержащие породы нуждаются в их обогащении или модификации их свойств. Вопросам обогащения и модификации свойств природных цеолитов с целью расширения их практического применения, в том числе в технологиях защиты окружающей среды, посвящено достаточно много работ [1, 2, 4, 7, 10]. С применением таких методов обогащения, как энергетическая и радиационная (ускоренными электронами) обработка, магнитная и электростатическая сепарация, достигается чистота цеолитового продукта на уровне 99 %, что позволяет наиболее эффективно использовать природные цеолиты в числе прочего и в экологических технологиях. Применением направленной модификации свойств цеолитсодержащих пород достигается структурно-химическое преобразование поверхностно-приповерхностных слоев минерала и даже его объема. В результате происходит увеличение контрастности и градиента свойств, слагающих цеолитсодержащие породы минералов. Такое селективное преобразование поверхностных свойств, входящих в состав цеолитовых пород минералов, позволяет интенсифицировать извлечение вмещающих примесей различными методами обогащения, что приводит к повышению ионообменных и сорбционных свойств цеолитов.

Методы

Исследования проводились с использованием следующих методов: ана-

лиз и обобщение результатов научных работ, патентов на изобретения и производственного опыта по рассматриваемому вопросу, метод планирования экспериментов, лабораторные эксперименты процессов обработки ультразвуком и ускоренными электронами, методы математической статистики при обработке результатов экспериментальных исследований, технико-экономическое сравнение при оценке эффективности выполненных исследований.

Цеолитсодержащие породы Шивиртуйского, Холинского, Бадинского, Талан-Гозагорского месторождений исследованы методом ядерного магнитного резонанса с целью определения количественного содержания клиноптилолита, морденита и шабазита. Морфология и химический состав исследуемых пород изучены на растровом электроном микроскопе с системной микроанализа — энергодисперсным рентгеновским спектрометром. Минеральный состав руд определен с помощью рентгенофазового анализа методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре.

Результаты

Следует отметить, что применение рекомендуемых энергетических методов направленного воздействия (обработка ультразвуком и ускоренными электронами) существенно повышает эффективность процессов дробления и измельчения цеолитовых пород. Это обусловлено расклинивающим и диспергирующим эффектом, определяющим положительное влияние на раскрытие цеолита и отделение от него вмещающих примесей. При этом повышение эффективности рудоподготовки цеолитсодержащих пород достигается за счет применения обработки ускоренными электронами, удаление примесей железа □ магнитной сепарацией в изо-

динамическом поле (в том числе с применением систем из постоянных магнитов), удаление примесей слюды, кварца и полевых шпатов — применением электростатической сепарации с подогрев-электризацией, а удаление органики, глинистых компонентов, кварца, плагиоклаза и других примесей — с помощью ультразвуковой обработки и последующей декантации. Полученные в ходе проведения научных исследований результаты показали, что использование энергии ультразвукового поля в жидкой среде усиливает диспергирующий эффект цеолитсодержащих пород, при этом достигается довольно высокая степень отделения от минералов цеолитов глинистого компонента, а их содержание в concentrate достигает 96,7 % (табл. 1).

На основании экспериментальных данных [10] определен эффект, полученный в результате радиационного воздействия ускоренными электронами на цеолитсодержащие породы, при этом величина оптимальной дозы облучения составляет 2 кГр, в результате чего увеличивается коэффициент раскрытия цеолитов с 38 до 54 %, а содержание цеолита в concentrate возрастает до 96,28 % (см. табл. 1).

Обсуждение результатов

Проведенные научные исследования позволили установить эффективность предварительной обработки цеолитсодержащих пород ускоренными электронами в качестве подготовительной операции перед использованием магнитной сепарации. При этом происходит увеличение извлечения железосодержащих примесей до 98 %, а содержание цеолитов при этом достигает 97,37 % (см. табл. 1).

Необходимо отметить, что помимо направленных энергетических и физико-механических методов воздействия

Таблица 1

Результаты исследований по обогащению цеолитсодержащих пород Талан-Гозагорского и Шивиртуйского месторождений
Results of studies on enrichment of zeolite-containing rocks of Talan-Gozagorsky and Shivirtuisky deposits

Месторождение	Извлечение цеолитов, %
Ультразвуковая обработка	
Шивиртуйское	96,70
Талан-Гозагорское	96,55
Бадинское	95,43
Холинское	96,55
Обработка ускоренными электронами (доза облучения 2 кГр)	
Шивиртуйское	96,28
Талан-Гозагорское	97,37
Бадинское	95,50
Холинское	96,63

для переработки цеолитсодержащих пород и модификации их свойств могут также использоваться методы химического воздействия, определяющие повышение ионообменной емкости цеолитов и их сорбционной способности.

В этой связи к ключевым операциям, используемым в технологиях обогащения, переработки и модификации свойств цеолитсодержащих следует относить: энергетические воздействия, рудоподготовку (дробление, измельчение, грохочение), механохимические методы воздействия, гидрохимические воздействия (кислотная и щелочная обработка), магнитную и электростатическую сепарации, обеспыливание и обесшламливание.

Необходимо отметить, что в результате обогащения и химической модификации цеолитсодержащих пород в достаточно большом количестве образуются отходы, представленные, как правило, магнитной и немагнитной фракциями и содержащими оксиды железа, кварц, полевой шпат и другие компоненты, определяющие необходимость решения вопроса их переработки и утилизации [11–13]. В настоящее

время комплексность использования цеолитового сырья может быть реализована на основе применения современных инновационных технологий, позволяющих максимально извлечь минералы цеолита из породы, а также путем полной переработки либо утилизации отходов обогащения. С учетом развития Забайкальского региона в промышленном, инфраструктурном и социальном секторах как цеолитсодержащие породы, так и отходы их переработки и модификации могут найти широкое применение в строительной индустрии, при закладке выработанного пространства в горном производстве, при отсыпке автодорог и железнодорожных путей, закреплении пылящих поверхностей хвостохранилищ и отвалов горных пород и т. д. Это позволит обеспечить возможность снижения нагрузки на экосистему по причине существенного сокращения масштабов складирования отходов. Кроме того, **использование ресурсосберегающих технологий при добыче и переработке цеолитсодержащих пород позволяет достичь существенного** сокращения количества отходов, повышения качества цеолитов за счет

применения технологий с использованием направленных энергетических воздействий, уменьшения негативного воздействия на окружающую природную среду, восстановления природных экосистем в результате санации нарушенных земель и ремедиации водоемов.

Таким образом, в результате реализации концепции комплексного использования цеолитсодержащих пород, предполагающей использование как самих цеолитов, так и отходов их переработки, происходит снижение объемов отвалов и хвостохранилищ, сокращается масштаб негативного воздействия горнопромышленных комплексов на экосистему, что обуславливает отсутствие необходимости в применении ряда дорогостоящих природоохранных мероприятий.

Результаты анализа современного состояния вопроса комплексного использования цеолитсодержащих пород показывают, что производственные процессы по их добыче, переработке, обогащению и модификации должны быть замкнуты в единый технологический цикл, обеспечивающий достижение максимальной комплексности использования сырья. Такой подход возможно осуществить лишь при наличии технологических схем переработки, основанных на концепции безотходного или малоотходного производства, которая реализуется путем разделения цеолитовых пород на составляющие их структурные элементы [12, 13]. В этой связи становится крайне актуальным показатель содержания минералов цеолита (клиноптилолита, шабазита, морденита) в породе, который определяет как способ отработки месторождения, так и выбор технологии обогащения. Данный критерий позволяет подойти избирательно к добыче цеолитсодержащих пород, ориентируясь на содер-

жание цеолитов в отдельных пластах месторождения, а также достичь высокой селективности выделения технологических типов и сортов пород, каждый из которых будет иметь свое практическое применение в соответствии со своими товарными характеристиками. При этом цеолитсодержащие породы богатых пластов могут быть использованы без предварительного обогащения (при содержании цеолитов 96 – 99 %), как это имеет место при использовании цеолитов месторождения «Западное» (Иран), содержание минералов цеолита в котором составляет 98,12 % (рис. 1), что также подтверждается дифрактограммой (рис. 2).

Необходимо отметить, что большая часть цеолитсодержащих пород как за рубежом, так и в России (например, в Восточном Забайкалье) представлена сырьем с достаточно невысоким (45 – 70 %) содержанием ценного компонента, что обуславливает необходимость разработки технологий их обогащения, модификации и очистки от вмещающих примесей, способных обеспечить содержание цеолита в концентрате на уровне 95 – 99 %. Это позволит существенно расширить их спектр применения от сельского хозяйства и стройиндустрии до медицины и экологических технологий в горном деле. При этом основными направлениями возможного применения цеолитов, в том числе и обогащенных, в горной промышленности являются ликвидация и предотвращение негативного воздействия горных предприятий на компоненты окружающей природной среды (табл. 2).

Из представленных в табл. 2 данных следует, что цеолитсодержащие породы и продукты их переработки могут найти весьма широкое применение в технологиях защиты экосистем горнопромышленных территорий за счет

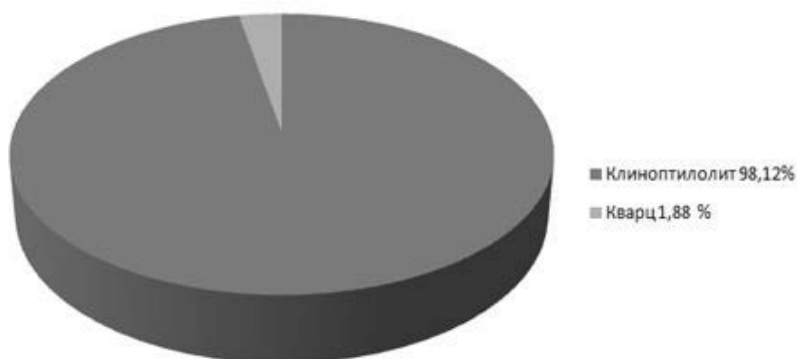


Рис. 1 Содержание цеолита и вмещающих примесей в породах месторождения «Западное» (Иран)

Fig. 1 The content of zeolite and host impurities in the rocks of the Zapadnoye deposit (Iran)

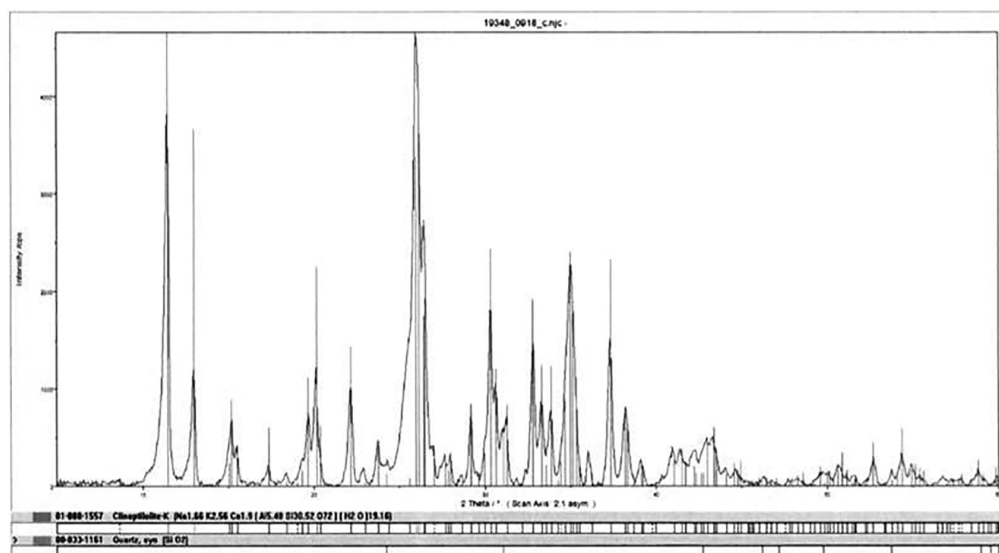


Рис. 2 Дифрактограмма цеолитсодержащих пород месторождения «Западное» (Иран)

Fig. 2 Diffractogram of zeolite-containing rocks of the Zapadnoye deposit (Iran)

применения технологий их обогащения и модификации, и существенно снизить воздействие промышленных предприятий на компоненты окружающей природной среды, являясь при этом достаточно распространенным и относительно недорогим сырьем.

Использование цеолитсодержащих пород в геоэкологических технологиях горнопромышленных комплексов тре-

бует проведения системного анализа последствий и результатов их производственной деятельности в отношении компонентов окружающей природной среды, а также обуславливает необходимость разработки эффективных природоохранных мероприятий в соответствии с особенностями техногенного воздействия и действующим законодательством.

Таблица 2

Применение цеолитсодержащих пород для обеспечения экологической безопасности горнопромышленных предприятий

The use of zeolite-containing rocks to ensure the environmental safety of mining enterprises

№ п/п	Направление использования природных цеолитов	Примечание
1	Геохимические барьеры, фильтрационный слой дамбы хвостохранилищ	Фильтрационные барьеры
2	Складирование и захоронение радиоактивных и токсичных отходов	Вспомогательное экранирование
3	Рекультивация хвостохранилищ, закрепление пылящих поверхностей	Биологическая рекультивация техногенных месторождений, борьба с пылением поверхностей хвостохранилищ и отвалов
4	Очистка отходящих газов от CO, CO ₂ , SO ₂ , NH ₃ , N ₂ , CH ₃ OH, фреона, меркаптанов, окислов азота, формальдегида.	Фильтры
5	Очистка сточных вод. Биоремедиация водоемов. Очистка питьевой воды.	Фильтры, очистка от флотационных реагентов и нефтепродуктов, кондиционирование закисленных стоков, сорбция катионов тяжелых металлов, сорбция радионуклидов ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr, катионов Pb ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , Ag ⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , C ²⁺ , Hg ²⁺ , Ba ²⁺ , Mg ²⁺ , Co ³⁺ , Al ³⁺ , Cr ³⁺ , Fe ³⁺
6	Закладка выработанного пространства. Строительство зданий и сооружений.	Заменитель части цемента, компонент тампонажных растворов, заменитель извести в вяжущих растворах
7	Отсыпка автомобильных дорог, обочин дорог, промплощадок, складов ГСМ, стояночных площадок для транспорта.	Введение солей щелочноземельных или тяжелых металлов (таловое масло, синтетические жирные кислоты, алкисульфонаты, хлорид кальция) для повышения эффективности связывания пыли с применением раствора оксигидрильного собирателя. В составах для обеспыливания дорог с использованием фторореагентов-модификаторов (жидкое стекло, известковое молоко с медным или цинковым купоросом, ксантогенатом натрия, хлоридом кальция)
8	Строительство насыпей ж/д дорог	Сорбент нефтепродуктов
9	Санация, восстановление почв	Компонент почвосмесей для повышения плодородности почв и снижения их токсичности

Заключение

Обогащение и модификация цеолитсодержащих пород, а также комплексность их использования и экологичность применяемых при переработке технологий, обуславливают возможность получения высококачественных цеолитовых продуктов, сопровождающуюся реализацией концепции ресурсосбережения.

Результаты проведенных научных исследований по обогащению и модификации свойств цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья посредством предлагаемых инновационных технологических решений позволили расширить перечень направлений их использования, в частности, для повышения экологической безопасности горнопромышленных комплексов и прилегающих к ним территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Li H., Watson J., Zhang Y., Lu H., Liu Z.* Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production: A critical review // *Bioresour. Technol.*, 2020, vol. 298, 122421.
2. *Alam R., Ahmed Z., Howladar M. F.* Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet // *Bangladesh, 2020, Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 10, 100311.
3. *Thakare Y. N., Jana A. K.* Performance of high density ion exchange resin (INDION225H) for removal of Cu(II) from waste water // *J. Environ. Chem. Eng.*, 2015, vol. 3, no. 2, pp. 1393–1398.
4. *Wang Y., Yu Y., Li H., Shen C.* Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric–alum water treatment residues // *Int. J. Environ. Sci.*, 2016, vol. 50, pp. 79–86.
5. *Karge H. G., Weitkamp J.* Zeolites as Catalysts, Sorbents and Detergent Builders: Applications and Innovations // Elsevier Science, 1989, Amsterdam.
6. *Uçkun S.* Activation of Malatya Hekimhan Zeolites with Mechanochemical Method and Usage in Heavy Metal Adsorption // MSc. Thesis (in Turkish), 2019, Inonu University, Malatya.
7. *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.
8. *Павленко Ю. В.* Цеолитовые месторождения Восточного Забайкалья. — Чита: ЧитГУ, 2000. — 101 с.
9. *Фалейчик Л. М.* Геоинформационные модели в оценке ущерба природными системами в результате хозяйственной деятельности // *Вестник ЗабГУ.* — 2014. — № 08 (111).
10. *Хатькова А. Н., Ростовцев В. И., Размахнин К. К.* Влияние воздействия ускоренными электронами на цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* — 2013. — № 6. — С. 167–174.
11. *Хатькова А. Н., Размахнин К. К.* Модификация свойств цеолитов с целью расширения областей их применения // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2011. — № 4. — С. 246–251.
12. *Razmakhnin K. K., Khatkova A. N.* Role of mineralogical and technological evaluation in development of processing technologies for zeolitecontaining rocks // *Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 262 (2019) 012056.* IOP Publishing. doi:10.1088/1755–1315/262/1/012056.

13. Milyutin V. V., Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Nekrasova N. A. Natural Zeolites of Eastern Transbaikalia in Technologies for Mining Enterprises Wastewater Treatment // Journal of Environmental Research, Engineering and Management Vol. 76 / No.3 / Kaunas University of Technology; – Kaunas : KTU, 2020, pp. 62 – 70. **MIAB**

REFERENCES

1. Li H., Watson J., Zhang Y., Lu H., Liu Z. Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production: A critical review. *Bioresour. Technol.*, 2020, vol. 298, 122421.

2. Alam R., Ahmed Z., Howladar M. F. Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet. Bangladesh, 2020, *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 10, 100311.

3. Thakare Y. N., Jana A. K. Performance of high density ion exchange resin (INDION225H) for removal of Cu(II) from waste water. *J. Environ. Chem. Eng.*, 2015, vol. 3, no. 2, pp. 1393 – 1398.

4. Wang Y., Yu Y., Li H., Shen C. Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric-alum water treatment residues. *Int. J. Environ. Sci.*, 2016, vol. 50, pp. 79 – 86.

5. Karge H. G., Weitkamp J. *Zeolites as Catalysts, Sorbents and Detergent Builders: Applications and Innovations*. Elsevier Science, 1989, Amsterdam.

6. Uçkun S. Activation of Malatya Hekimhan Zeolites with Mechanochemical Method and Usage in Heavy Metal Adsorption. MSc. Thesis (in Turkish), 2019, Inonu University, Malatya.

7. Yusupov T. S. *Sposoby koncentrirovaniya i vydeleniya ceolitov iz gornyh porod. Metody diagnostiki i kolichestvennogo opredeleniya sodержaniya ceolitov v gornyh porodah* [Methods of concentration and separation of zeolites from rocks. Methods of diagnosis and quantitative determination of zeolites in rocks]. Novosibirsk: IGiG SO AN SSSR, 1985. pp. 161 – 168. [In Russ]

8. Pavlenko Yu. V. *Ceolitovye mestorozhdeniya Vostochnogo Zabajkal'ya* [Zeolite deposits of Eastern Transbaikalia]. Chita: ChitGU, 2000. 101 p. [In Russ]

9. Falejchik L. M. Geoinformation models in the assessment of damage to natural systems as a result of economic activity. *Vestnik ZabGU*. 2014. no. 08 (111). [In Russ]

10. Hat'kova A. N., Rostovcev V. I., Razmakhnin K. K. Influence of the impact of accelerated electrons on zeolite-containing rocks of Eastern Transbaikalia. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2013. no. 6. pp. 167 – 174. [In Russ]

11. Hat'kova A. N., Razmakhnin K. K. Modification of the properties of zeolites in order to expand the areas of their application. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011. no. 4. pp. 246 – 251. [In Russ]

12. Razmakhnin K. K., Khatkova A. N. Role of mineralogical and technological evaluation in development of processing technologies for zeolite-containing rocks. Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 262 (2019) 012056. IOP Publishing. doi:10.1088/1755 – 1315/262/1/012056.

13. Milyutin V. V., Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Nekrasova N. A. Natural Zeolites of Eastern Transbaikalia in Technologies for Mining Enterprises Wastewater Treatment. Journal of Environmental Research, Engineering and Management Vol. 76 / no.3 / Kaunas University of Technology; Kaunas : KTU, 2020, pp. 62 – 70.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Хатькова Алиса Николаевна*¹ — докт. техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе, e-mail: alisa1965.65@mail.ru;

*Размахнин Константин Константинович*² — канд. техн. наук, доцент, руководитель Читинского филиала, e-mail: igdranchita@mail.ru;

*Шумилова Лидия Владимировна*¹ — докт. техн. наук, доцент, профессор, email: shumilovalv@mail.ru;

*Черкасов Валерий Георгиевич*¹ — докт. техн. наук, доцент, профессор, e-mail: cherkasov1948@yandex.ru.

*Размахнина Ирина Борисовна*², научный сотрудник,

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия;

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Читинский филиал, Чита, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Khatkova A.N.*¹, Dr. Sci. (Eng.), professor, Chemistry department, Vice-Rector for Scientific and Innovation Work, e-mail: alisa1965.65@mail.ru;

*Razmakhnin K.K.*², Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Chita Branch, e-mail: igdranchita@mail.ru;

*Shumilova L.V.*¹, Dr. Sci. (Eng.), associate Professor, Professor, e-mail: shumilovalv@mail.ru;

*Cherkasov V.G.*¹, Dr. Sci. (Eng.), associate Professor, Professor, e-mail: cherkasov1948@yandex.ru;

*Razmakhnina I.B.*², Researcher,

¹ Transbaikal State University, 30, Str. Aleksandro-Zavodskaya, 672039, Chita, Russia,

² Institute of Mining named after N. A. Chinakal SB RAS, Chita, Russia.

Получена редакцией 20.11.2020; получена после рецензии 11.12.2020; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 20.11.2020; received after the review 11.12.2020; accepted for printing 10.02.2021.

