

<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2024-13-1-1630>
УДК 615.326



Оригинальная статья / Research article

Ультразвуковая активация минеральных сорбентов

А. В. Бондарев¹✉, Е. Т. Жилиякова¹, Н. В. Автина¹, Н. Б. Демина², К. К. Размахнин³

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), кафедра фармацевтической технологии. 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). 119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

³ Читинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ЧФ ИГД СО РАН). 672032, г. Чита, Александрово-Заводская, д. 30

✉ Контактное лицо: Бондарев Александр Васильевич. E-mail: alexbond936@yandex.ru

ORCID: А. В. Бондарев – <https://orcid.org/0000-0003-0077-7031>; Е. Т. Жилиякова – <https://orcid.org/0000-0002-8685-1601>;
Н. В. Автина – <https://orcid.org/0000-0001-5506-515X>; Н. Б. Демина – <https://orcid.org/0000-0003-4307-8791>;
К. К. Размахнин – <https://orcid.org/0000-0003-2944-7642>.

Статья поступила: 09.02.2023

Статья принята в печать: 17.01.2024

Статья опубликована: 19.01.2024

Резюме

Введение. Медицинские глины представлены полиминеральными сорбентами с преобладанием основополагающего глинистого минерала, от концентрации которого зависит качество минерального сырья и его адсорбционная активность. Одним из методов повышения качества минерального сырья является его активация при помощи ультразвуковой обработки.

Цель. Изучение влияния ультразвука на активацию и адсорбционную активность минеральных сорбентов.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали клиноптилолитовое минеральное сырье Холинского месторождения (Забайкальский край), монтмориллонитовое минеральное сырье Белгородского месторождения (Белгородская область) и каолинитовое минеральное сырье Еленинского месторождения (Челябинская область). Для ультразвуковой обработки использовали высокочастотную установку УЗДН-1. Определение адсорбционной активности проводили по метиленовому синему.

Результаты и обсуждение. Исследовано влияние ультразвука на активацию минеральных сорбентов при частоте ультразвуковой волны 40 кГц в течение пяти минут. Установлено, что среднее содержание клиноптилолита с учетом всех фракций в глине Холинского месторождения увеличивается на 20 %, среднее содержание монтмориллонита с учетом всех фракций в глине Белгородского месторождения увеличивается на 14 %, среднее содержание каолинита с учетом всех фракций в глине Еленинского месторождения увеличивается на 18 %. Исследовано влияние ультразвука на адсорбционную активность минеральных сорбентов. Использование ультразвуковой обработки повышает адсорбционную активность минеральных сорбентов на 12–19 %.

Заключение. Разработанную методику активации минеральных сорбентов посредством ультразвуковой обработки возможно применять для активации минеральных сорбентов путем повышения концентрации основополагающего минерала (клиноптилолита, монтмориллонита, каолинита), а также увеличения их адсорбционной активности.

Ключевые слова: лекарственное минеральное сырье, ультразвуковая обработка, сорбент, монтмориллонит, каолинит, клиноптилолит

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. А. В. Бондарев, Е. Т. Жилиякова и Н. В. Автина придумали и разработали алгоритм эксперимента по ультразвуковой обработке минеральных сорбентов и участвовали в написании текста статьи. А. В. Бондарев и К. К. Размахнин проводили термодимический анализ образцов и исследование их сорбционных характеристик. А. В. Бондарев и Н. Б. Демина участвовали в обработке данных. Все авторы участвовали в обсуждении результатов.

Благодарность. Авторы выражают благодарность Читинскому филиалу Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН за помощь в проведении комплексного термического анализа глин.

Для цитирования: Бондарев А. В., Жилиякова Е. Т., Автина Н. В., Демина Н. Б., Размахнин К. К. Ультразвуковая активация минеральных сорбентов. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2024;13(1):45–51. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2024-13-1-1630>

Ultrasonic Activation of Mineral Sorbents

Alexander V. Bondarev¹✉, Elena T. Zhilyakova¹, Natalya V. Avtina¹, Natalya B. Demina², Konstantin K. Razmakhnin³

¹ Belgorod National Research University, Department of Pharmaceutical Technology. 85, Pobedy str., Belgorod, 308015, Russia

² I. M. Sechenov First MSMU of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). 8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia

³ Chita Division of Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS. 30, Aleksandro-Zavodskaya str., Chita, 672032, Russia

✉ Corresponding author: Alexander V. Bondarev. E-mail: alexbond936@yandex.ru

ORCID: Alexander V. Bondarev – <https://orcid.org/0000-0003-0077-7031>; Elena T. Zhilyakova – <https://orcid.org/0000-0002-8685-1601>;
Natalya V. Avtina – <https://orcid.org/0000-0001-5506-515X>; Natalya B. Demina – <https://orcid.org/0000-0003-4307-8791>;
Konstantin K. Razmakhnin – <https://orcid.org/0000-0003-2944-7642>.

Received: 09.02.2023

Revised: 17.01.2024

Published: 19.01.2024

© Бондарев А. В., Жилиякова Е. Т., Автина Н. В., Демина Н. Б., Размахнин К. К., 2024

© Bondarev A. V., Zhilyakova E. T., Avtina N. V., Demina N. B., Razmakhnin K. K., 2024

Abstract

Introduction. Medical clays are polymineral sorbents with a predominance of the underlying clay mineral, the concentration of which determines the quality of mineral raw materials and its adsorption activity. One of the methods of improving the quality of mineral raw materials is its activation by means of ultrasonic treatment.

Aim. To study the effect of ultrasound on the activation and adsorption activity of mineral sorbents.

Materials and methods. Clinoptilolite mineral raw materials of the Kholinsky deposit, montmorillonite mineral raw materials of the Belgorod deposit and kaolinite mineral raw materials of the Eleninsky deposit were used as objects of research. A high-frequency UZDN-1 unit was used for ultrasonic treatment. Determination of adsorption activity was carried out by methylene blue.

Results and discussion. The effect of ultrasound on the activation of mineral sorbents at an ultrasonic wave frequency of 40 kHz for five minutes has been studied. It was found that the average content of Clinoptilolite, taking into account all fractions in the clay of the Kholinsky deposit, increases by 20 %, the average content of Montmorillonite, taking into account all fractions in the clay of the Belgorod deposit, increases by 14 %, the average content of Kaolinite, taking into account all fractions in the clay of the Eleninsky deposit, increases by 18 %. The effect of ultrasound on the adsorption activity of mineral sorbents has been investigated. The use of ultrasonic treatment increases the adsorption activity of mineral sorbents by 12–19 %.

Conclusion. The developed method of activation of mineral sorbents by ultrasonic treatment can be used to activate mineral sorbents by increasing the concentration of the underlying mineral (Clinoptilolite, Montmorillonite, Kaolinite), as well as increasing their adsorption activity.

Keywords: medicinal mineral raw materials, ultrasonic treatment, sorbent, montmorillonite, kaolinite, clinoptilolite

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Alexander V. Bondarev, Elena T. Zhilyakova and Natalya V. Avtina came up with and developed an algorithm for an experiment on ultrasonic treatment of mineral sorbents and participated in writing the text of the article. Alexander V. Bondarev and Konstantin K. Razmakhnin carried out a thermochemical analysis of samples and a study of their sorption characteristics. Alexander V. Bondarev and Natalya B. Demina participated in data processing. All the authors participated in the discussion of the results.

Acknowledgment. The authors express their gratitude to the Chita branch of the Institute of Mining. N. A. Chinakala SB RAS for assistance in the separation of complex therapeutic analysis of clays.

For citation: Bondarev A. V., Zhilyakova E. T., Avtina N. V., Demina N. B., Razmakhnin K. K. Ultrasonic activation of mineral sorbents. *Drug development & registration*. 2024;13(1):45–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2024-13-1-1630>

ВВЕДЕНИЕ

Медицинские глины являются полиминеральными сорбентами с преобладанием основополагающего глинистого минерала, от концентрации которого зависит качество минерального сырья и его адсорбционная активность. В настоящее время для повышения качества минерального сырья используют различные способы активации и модификации глин: химический (Е. В. Кормош, 2011; А. И. Везенцев, 2008), физический (Ж. А. Сапронова, 2015; М. Ж. Гомес, 2015), механический (Е. Т. Жиликова, 2012, П. О. Юрьев, 2014) [1–3]. Активация подразумевает механическое, электромагнитное или ультразвуковое воздействие на структуру глины без применения реагентов. Модификация направлена на введение в глину веществ, которые могут изменять ее кристаллическую структуру.

Ультразвуковая активация основана на кавитационном процессе, а также возникающих при нем звукокапиллярном и диспергирующем эффектах. Под кавитацией в глинистой суспензии понимают образование заполненных паром полостей при локальном понижении давления в жидкости до давления насыщенных паров. В фазе разрежения акустической волны образуется разрыв в виде полости, которая заполняется насыщенным паром данной жидкости. Возникает звукокапиллярный эффект. В фазе сжатия под действием повышенного давления и сил повер-

ностного натяжения полость захлопывается. Возникает диспергирующий эффект [4].

Соответствующая активация природного минерального сырья имеет первостепенное значение для получения медицинских глин. По сорбционным характеристикам минеральное сырье природного происхождения уступает другим сорбентам из-за наличия примесей, которые блокируют доступ адсорбата в пористое пространство. При наличии соответствующих доступных технологий активации минеральных сорбентов становится достижимым достаточно высокое качество, которое позволяет их использовать в медицинских и фармацевтических целях. В этой связи для получения высококачественного лекарственного минерального сырья, удовлетворяющего требованиям разрабатываемой нормативной документации, требуется проведение исследований по изучению методов активации с учетом его минералогических особенностей.

Цель работы – изучение влияния ультразвука на активацию и адсорбционную активность минеральных сорбентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали клиноптилолитовое минеральное сырье Холинского месторождения (Забайкальский край), монтморил-

лонитовое минеральное сырье Белгородского месторождения (Белгородская область) и каолинитовое минеральное сырье Еленинского месторождения (Челябинская область). Для исследований использовали следующие фракции минерального сырья: 1–2 мм, 0,5–1 мм, 0,3–0,5 мм, 0,1–0,3 мм, 0,074–0,1 мм, 0,05–0,074 мм. Измельчение и подготовку образцов проводили в мельнице лабораторной МЛ-1 (ООО «Лабтех», Россия).

Для ультразвуковой обработки использовали высокочастотную установку УЗДН-1, в которой в качестве преобразователей высокочастотного напряжения генератора в механические колебания ультразвуковой частоты использованы магнитострикционные преобразователи с частотой 40 кГц и временем воздействия пять минут. Выбор частоты ультразвука обусловлен наибольшей оптимальностью для активации глинистых суспензий и возможностью обеспечения максимального кавитационного воздействия при минимальных энергетических затратах [5]. Выбор продолжительности воздействия ультразвука обусловлен максимальным диспергирующим эффектом на основе фотоседиментационных свойств минеральных суспензий [6]. Установка позволяет работать в непрерывном режиме длительное время. Максимальная удельная акустическая мощность на конце трубчатого излучателя достигает 50–70 Вт·см⁻². Методика: навески сырья, расклассифицированного на классы крупности, массой по 20 г заливали водой очищенной (200 мл), нагревали на водяной бане до 40 °С в течение 1 часа для набухания минерального сырья. После чего суспензию подвергали воздействию ультразвука на генерирующей ультразвуковые волны установке УЗДН-1, продолжительность воздействия составляла 5 минут, частота ультразвука – 40 кГц. Далее проводилась декантация с последующим анализом осадка и слива на содержание мономинералов методом комплексного термического анализа с использованием дериватографа системы F. Paulik – J. Paulik – L. Erdey фирмы MOM (Венгрия). Во всех исследованиях скорость нагрева составляла 10 °С/мин, чувствительность потенциометров дифференциально-термического анализа – 250 мА, дифференциальной термогравиметрии – 500 мА, навеска образца – 0,5–0,7 г, температура съемом – до 1000 °С. Концентрация (%) мономинералов округлялась до целых чисел. Комплексный термический анализ глины проведен на базе Читинского филиала Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН.

Определение адсорбционной активности проводили по метиленовому синему (ТУ 2463-044-0501520, ООО «Мосреактив», Россия). Методика: навеску сорбента массой 0,8 г помещали в 35 мл 0,15 % раствора метиленового синего в воде. Перемешивали на магнитной мешалке со скоростью 50 об/мин в течение 20 мин. Центрифугировали 15 мин со скоростью 3000 об/мин, затем 5 мл центрифугированного раствора помещали в мерную колбу объемом 50 мл, до-

водили водой до метки. Измеряли оптическую плотность при 667 нм. Адсорбционную активность определяли путем построения изотерм адсорбции методом переменных концентраций: в мерные колбы объемом 50 мл вносили по 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0 мл 0,15 % раствора метиленового синего в воде, доводили водой до метки. Измеряли оптическую плотность при 667 нм. Количество адсорбционного метиленового синего рассчитывали по формуле (1):

$$A = C_0 - C/m, \quad (1)$$

где A – адсорбционная активность, мг/г; C_0 – концентрация красителя начальная, мг/мл; C – концентрация красителя после адсорбции, мг/мл; m – масса навески адсорбента, г.

С целью оценки точности и воспроизводимости метода определения адсорбционной активности проведено 6 параллельных измерений адсорбционной активности для каждого образца. Ошибка единичного определения во всех случаях не превышала 5,0 % при относительной погрешности $P = 95$ %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Теоретические основы ультразвукового воздействия описаны в отечественной и зарубежной научной литературе. В ряде работ авторы [7] изучали влияние воздействия ультразвуковых волн и микроволн на минеральные частицы монтмориллонита. В исследованиях [8] использовали ультразвук для изменения пористых характеристик вермикулита. В сорбционных лекарственных формах на основе медицинских глин основополагающий минерал оказывает основное терапевтическое действие – адсорбционное [9]. При ультразвуковой активации глины, помимо повышения концентрации основополагающего глинистого минерала, происходит изменение ее физико-химических свойств, в частности улучшение адсорбционных характеристик.

При воздействии высоких импульсов ультразвуковых волн глинистые минеральные частицы монтмориллонита и каолинита в водной среде измельчаются. В полученной суспензии увеличивается вязкость, устойчивость к осаждению частиц, число дефектов на внешней поверхности кристалла также повышается [10–12]. По данным [13–14], ультразвуковое воздействие приводит к разрушению агрегатов и достройке кристаллической структуры, что напрямую влияет на адсорбционные характеристики. Среда, в которой распространяется ультразвук, вступает во взаимодействие с проходящей через него энергией и часть ее поглощает, вызывая в передающем веществе необратимые структурные изменения [15–16]. В начальный момент времени работы ультразвуковой установки наблюдается разрушение минеральной структуры глины. Ультразвук разрушает тонкодисперсные монтмориллонитовые «ру-

башки» на поверхности клиноптилолита и примесей, что значительно изменяет адсорбционную емкость природного клиноптилолита, а также снижает контрастность минералов, входящих в состав минерального сырья, что существенным образом влияет на эффективность процессов переработки, обогащения и модификации минерального сырья [17–18]. Данные процессы можно объяснить диспергирующими и звукокапиллярными эффектами, возникающими за счет протекающих кавитационных процессов [19]. В процессе диспергирования частиц глины происходит изменение поверхностной энергии и увеличение удельной поверхности. При этом возросшие силы молекулярного действия начинают препятствовать дальнейшему разрушению кристаллов.

Ранее нами проведен фотоседиментационный анализ, наглядно демонстрирующий изменение размера минеральных частиц, применимый для оценки ультразвукового воздействия на минеральное сырье. Степень диспергирования частиц при ультразвуковой обработке определялась коэффициентом светопропускания через суспензию минерального сырья. Коэффициент светопропускания непосредственно связан с долей осевших минеральных частиц за определенный промежуток времени. Через две минуты ультразвуковой обработки начинается диспергация структурных элементов глины с максимальным эффектом при пятиминутном воздействии. Увеличение продолжительности ультразвуковой обработки на срок более пяти минут приводит к склеиванию частиц и появлению более крупных агрегатов. Возрастает коэффициент светопропускания, что связано в первую очередь с коагуляцией частиц при продолжении ультразвуковой обработки после проведения процесса диспергирования. При этом резко увеличивается скорость осаждения образовавшихся агрегатов, возрастает прозрачность суспензии и, как следствие, процесс декантации становится малоэффективным [6].

В эксперименте при изучении механизма воздействия ультразвука на минеральные сорбенты уделяли внимание выходу основополагающего минерала после обработки в зависимости от размера фракции (0,074–2 мм). Основополагающим минералом в минеральном сырье Холинского месторождения является клиноптилолит, в минеральном сырье Белгородского месторождения – монтмориллонит, в минеральном сырье Еленинского месторождения – каолинит. Влияние на минеральные сорбенты ультразвукового воздействия с частотой 40 кГц и временем воздействия пять минут представлено в таблице 1.

В глине Холинского месторождения основополагающим минералом является клиноптилолит. Фракции данной глины 0,3–0,5, 0,1–0,3 и 0,05–0,074 мм имеют наибольшую концентрацию клиноптилолита после ультразвуковой обработки (89–90 %). В глине Белгородского месторождения основополагающим минералом является монтмориллонит. Фракции данной глины 0,074–0,1 и 0,05–0,074 мм имеют наи-

большую концентрацию монтмориллонита после ультразвуковой обработки (86–87 %). В глине Еленинского месторождения основополагающим минералом является каолинит. Фракции данной глины 0,1–0,3 и 0,074–0,1 мм имеют наибольшую концентрацию каолинита после ультразвуковой обработки (97–98 %).

Таблица 1. Влияние на минеральные сорбенты ультразвука с частотой 40 кГц и временем воздействия пять минут

Table 1. The effect of ultrasound on mineral sorbents with a frequency of 40 kHz and an exposure time of five minutes

Размер, мм Size, mm	Фракция Fraction	Состав, % Composition, %	
		До обработки Before processing	После обработки After processing
1	2	3	4
Холинское месторождение (минерал – клиноптилолит) Kholinskoye deposit (mineral – clinoptilolite)			
1–2	Минерал Mineral	65,0	80,0
	Примеси Impurities	35,0	20,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,5–1	Минерал Mineral	73,0	83,0
	Примеси Impurities	27,0	17,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,3–0,5	Минерал Mineral	67,0	89,0
	Примеси Impurities	33,0	11,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,1–0,3	Минерал Mineral	58,0	90,0
	Примеси Impurities	42,0	10,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,074–0,1	Минерал Mineral	68,0	83,0
	Примеси Impurities	32,0	17,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,05–0,074	Минерал Mineral	65,0	89,0
	Примеси Impurities	35,0	11,0
	Итого Total	100,0	100,0
Белгородское месторождение (минерал – монтмориллонит) Belgorod deposit (mineral – montmorillonite)			
1–2	Минерал Mineral	40,0	51,0
	Примеси Impurities	60,0	49,0
	Итого Total	100,0	100,0

Размер, мм Size, mm	Фракция Fraction	Состав, % Composition, %	
		До обработки Before processing	После обработки After processing
1	2	3	4
0,5–1	Минерал Mineral	43,0	52,0
	Примеси Impurities	57,0	48,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,3–0,5	Минерал Mineral	55,0	68,0
	Примеси Impurities	45,0	32,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,1–0,3	Минерал Mineral	59,0	75,0
	Примеси Impurities	41,0	25,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,074–0,1	Минерал Mineral	68,0	87,0
	Примеси Impurities	32,0	13,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,05–0,074	Минерал Mineral	69,0	86,0
	Примеси Impurities	31,0	14,0
	Итого Total	100,0	100,0
Еленинское месторождение (минерал – каолинит) Eleninskoye deposit (mineral – kaolinite)			
1–2	Минерал Mineral	52,0	59,0
	Примеси Impurities	48,0	41,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,5–1	Минерал Mineral	70,0	87,0
	Примеси Impurities	30,0	13,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,3–0,5	Минерал Mineral	72,0	94,0
	Примеси Impurities	28,0	6,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,1–0,3	Минерал Mineral	75,0	97,0
	Примеси Impurities	25,0	3,0
	Итого Total	100,0	100,0

Размер, мм Size, mm	Фракция Fraction	Состав, % Composition, %	
		До обработки Before processing	После обработки After processing
1	2	3	4
0,074–0,1	Минерал Mineral	76,0	98,0
	Примеси Impurities	24,0	2,0
	Итого Total	100,0	100,0
0,05–0,074	Минерал Mineral	75,0	94,0
	Примеси Impurities	25,0	6,0
	Итого Total	100,0	100,0

Представленные в таблице 1 данные показывают, что среднее содержание клиноптилолита с учетом всех фракций в глине Холинского месторождения увеличивается на 20 %, среднее содержание монтмориллонита с учетом всех фракций в глине Белгородского месторождения увеличивается на 14 %, среднее содержание каолинита с учетом всех фракций в глине Еленинского месторождения увеличивается на 18 %.

В минеральных сорбентах адсорбция протекает во внешнем слое и внутри кристаллической структуры, трехслойные слои которой связаны слабыми электростатическими взаимодействиями [20–21]. Адсорбция может проходить путем замещения катионов между слоями кристалла, посредством внешних гидроксильных групп, а также возникновения валентных связей по краям кристаллов. Указанные процессы происходят одновременно без преобладания какого-либо одного процесса [22]. Для определения адсорбционной активности минеральных сорбентов в качестве сорбтива использовали краситель метиленовый синий. Как ранее было отмечено, молекула метиленового синего относится к катионным красителям, которые обладают сродством к отрицательной поверхности глинистых частиц [23]. Для фракций с наибольшим содержанием основополагающего глинистого минерала были проведены исследования адсорбционной активности. Сравнительные данные адсорбционной активности минеральных сорбентов представлены в таблице 2.

Согласно данным, представленным в таблице 2, после ультразвуковой обработки глины Холинского месторождения фракции 0,1–0,3 мм ее адсорбционная активность составила $(164 \pm 0,3)$ мг/г, глины Белгородского месторождения фракции 0,074–0,1 мм – $(72,2 \pm 0,2)$ мг/г, глины Еленинского месторождения фракции 0,074–0,1 мм – $(19,9 \pm 0,3)$ мг/г. Низкая адсорбционная активность каолинита обусловлена строением его кристаллической решетки и отсутствием межслоевого пространства. Таким образом, установлено, что использование ультра-

звуковой обработки повышает адсорбционную активность минеральных сорбентов на 12–19 %. Показатель адсорбционной активности согласуется с научными данными (А. И. Везенцев, 2011; П. В. Соколовский, 2014) и является удовлетворительным для минеральных сорбентов.

Таблица 2. Сравнительные данные адсорбционной активности минеральных сорбентов

Table 2. Information on the comparison of the adsorption activity of mineral sorbents

Месторождение (минерал) Deposit (mineral)	Адсорбционная активность, мг/г Adsorption activity, mg/g	
	До обработки Before processing	После обработки After processing
Холинское (клиноптилолит), фракция 0,1–0,3 мм Kholinskoye (clinoptilolite), fraction 0.1–0.3 mm	147 ± 0,3	164 ± 0,3
Белгородское (монтмориллонит), фракция 0,074–0,3 мм Belgorod (montmorillonite), fraction 0.074–0.3 mm	61,7 ± 0,2	72,2 ± 0,2
Еленинское (каолинит), фракция 0,074–0,3 мм Eleninskoye (kaolinite), fraction 0.074–0.3 mm	16,8 ± 0,3	19,9 ± 0,3

Разработанную методику активации минеральных сорбентов посредством ультразвуковой обработки возможно применять для активации минеральных сорбентов путем повышения концентрации основополагающего минерала (клиноптилолита, монтмориллонита, каолинита), а также увеличения их адсорбционной активности. Используемый метод позволяет управлять технологическими свойствами минеральных сорбентов и рассматривать его дальнейшее применение при производстве сорбционных лекарственных форм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследовано влияние ультразвука на активацию минеральных сорбентов при частоте ультразвуковой волны 40 кГц в течение пяти минут. Установлено, что среднее содержание клиноптилолита с учетом всех фракций в глине Холинского месторождения увеличивается на 20 %, среднее содержание монтмориллонита с учетом всех фракций в глине Белгородского месторождения увеличивается на 14 %, среднее содержание каолинита с учетом всех фракций в глине Еленинского месторождения увеличивается на 18 %.
2. Исследовано влияние ультразвука на адсорбционную активность минеральных сорбентов. Использование ультразвуковой обработки повышает адсорбционную активность минеральных сорбентов на 12–19 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев А. В., Жилиякова Е. Т., Демина Н. Б., Тимошенко Е. Ю. Перспективы использования медицинских глин. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2019;8(4):27–31. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-4-27-31.
2. Везенцев А. И., Королькова С. В., Воловичева Н. А. Установление кинетических закономерностей сорбции ионов натриевыми и магний-замещенными формами монтмориллонитовых глин. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2010;10(1):115–120.
3. Сапронова Ж. А., Гомес М. Г., Свергузова С. В. Ультрафиолетовая активация природных глин Ангольских месторождений для повышения их сорбционной активности в процессах водоочистки. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова; 2015. 159 с.
4. Чекмарев А. С., Скворцов А. В., Сулейманова А. З., Хацринов А. И., Байгузин Ф. А., Петухова Е. А. Ультразвуковая обработка глинистого сырья. *Вестник Казанского технологического университета*. 2010;8:277–283.
5. Хмелев В. Н., Сливин А. Н., Барсуков Р. В., Цыганок С. Н., Шалунов А. В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: Алтайский государственный технологический университет; 2010. 203 с.
6. Размахнин К. К., Хатькова Н. Н. Современные технологии переработки и модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья. Чита: Забайкальский государственный университет; 2014. 309 с.
7. Jimenez de Haro M. C., Perez-Rodriguez J. L., Poyato J. Effect of ultrasound on preparation of porous materials from vermiculite. *Applied Clay Science*. 2005;30:11–20.
8. Дерябин М. С., Касьянов Д. А., Родченков В. И., Сергеев Д. А. Экспериментальное исследование акустических течений в сфокусированном ультразвуковом поле. *Прикладная механика и техническая физика*. 2010;51(5):52–58.
9. Жилиякова Е. Т., Бондарев А. В. Обзор российских энтеросорбционных лекарственных средств. *Ремедиум*. 2014;10:40–47.
10. Родченков В. И., Сергеев Д. А. Исследование течений в жидкости, индуцированных сфокусированным ультразвуковым полем, и их применение для воздействия на рост монокристаллов. *Прикладная механика и техническая физика*. 2009;50(4):11–17.
11. Пятко Ю. Н., Ахметова Р. Т., Хацринов А. И., Фахрутдинова В. Х., Ахметова А. Ю., Губайдуллина А. М. Влияние ультразвуковой обработки на свойства трепела. *Фундаментальные исследования*. 2015;12(2):320–324.
12. Mache J. R., Signing P., Mbey J. A., Razafitianamaharavo A., Njorwouo D., Fagel N. Mineralogical and physico-chemical characteristics of Cameroonian smectitic clays after treatment with weakly sulfuric acid. *Clay Minerals*. 2015;50:649–661.
13. Önal G., Özer M., Arslan F. Sedimentation of Clay in Ultrasonic Medium. *Minerals Engineering*. 2003;16(2):129–134. DOI: 10.1016/S0892-6875(02)00309-6.
14. Камлач П. В., Будник А. В., Бондарик В. М. Моделирование прохождения ультразвука через структуры с различной акустической добротностью. *Доклады БГУИР*. 2008;3(33):27–33.
15. Guo H., Jing X., Zhang L., Wang J. Preparation of inorganic-organic pillared montmorillonite using ultrasonic treatment. *Journal of Materials Science*. 2007;42:6951–6955. DOI: 10.1007/S10853-006-1329-4.
16. Эпова Е. С., Еремин О. В., Русаль О. С., Филенко Р. А. Процессы активации сорбционных свойств цеолитовых пород Шивиртуйского месторождения (Восточное Забайкалье). *Минералогия техногенеза*. 2015;16:148–154.
17. Размахнин К. К. Характеристика характеристик цеолитсодержащих туфов Восточного Забайкалья. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007;12:315–328.
18. Абдикамалова А. Б., Хамраев С. С. Химико-минералогический анализ бентонитовых глин Крантауского месторождения и возможности повышения эффективности их применения как сырья для получения глинистых буровых растворов. *Узбекский химический журнал*. 2015;5:32–35.

19. Крупская В. В., Закусин С. В., Тюпина Е. А., Доржиева О. В., Чернов М. С., Бычкова Я. В. Преобразование структуры и адсорбционных свойств монтмориллонита при термохимическом воздействии. *Геохимия*. 2019;64(3):300–319. DOI: 10.31857/S0016-7525643300-319.
20. Zakusin S. V., Krupskaya V. V., Dorzhieva O. V., Zhukhlistov A. P., Tyupina E. A. Modification of adsorption properties of montmorillonite by the thermochemical treatment. *Sorption and chromatographic processes*. 2015;16(6):281–289.
21. Ngouana B. F., Kalinichev A. G. Structural arrangements of isomorphous substitutions in smectites: Molecular simulation of the swelling properties, interlayer structure, and dynamics of hydrated cs-montmorillonite revisited with new clay models. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2014;118:12758–12773.
22. Tyagi B., Chudasama C., Jasra R. Characterization of surface acidity of an acid montmorillonite activated with hydrothermal, ultrasonic and microwave techniques. *Applied Clay Science*. 2006;31:16–28.
23. Жилиякова Е. Т., Новиков О. О., Бондарев А. В., Фролов Г. В. Определение технологических и адсорбционных показателей медицинских глин. *Научные ведомости Белгородского государственного университета*. 2013;18(161):229–234.
14. Kamlach P. V., Budnik A. V., Bondarik V. M. Modeling of ultrasound transmission through structures with different acoustic Q-factor. *Doklady BGUIR*. 2008;3(33):27–33. (In Russ.)
15. Guo H., Jing X., Zhang L., Wang J. Preparation of inorganic-organic pillared montmorillonite using ultrasonic treatment. *Journal of Materials Science*. 2007;42:6951–6955. DOI: 10.1007/S10853-006-1329-4.
16. Epova E. S., Eremin O. V., Rusal O. S., Filenko R. A. Processes of activation of sorption properties of zeolite rocks of the Shivyrytuyskoye field (Eastern Transbaikalia). *Mineralogy of technogenesis*. 2015;16:148–154. (In Russ.)
17. Razmakhnin K. K. Characteristics of the material composition and technological and mineralogical characteristics of zeolite-containing tuffs of Eastern Transbaikalia. *Mining information and Analytical Bulletin*. 2007;12:315–328. (In Russ.)
18. Abdikamalova A. B., Khamraev S. S. Chemical and mineralogical analysis of bentonite clays of the Karatau deposit and the possibility of increasing the efficiency of their use as raw materials for the production of clay drilling fluids. *Uzbek Chemical Journal*. 2015;5:32–35. (In Russ.)
19. Krupskaya V. V., Zakuskin S. V., Tyurina E. A., Dorzhieva O. V., Chernov M. S., Bychkova Ya. V. Transformation of the structure and adsorption properties of montmorillonite under thermochemical action. *Geochemistry*. 2019;64(3):300–319. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0016-7525643300-319.
20. Zakusin S. V., Krupskaya V. V., Dorzhieva O. V., Zhukhlistov A. P., Tyupina E. A. Modification of adsorption properties of montmorillonite by the thermochemical treatment. *Sorption and chromatographic processes*. 2015;16(6):281–289.
21. Ngouana B. F., Kalinichev A. G. Structural arrangements of isomorphous substitutions in smectites: Molecular simulation of the swelling properties, interlayer structure, and dynamics of hydrated cs-montmorillonite revisited with new clay models. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2014;118:12758–12773.
22. Tyagi B., Chudasama C., Jasra R. Characterization of surface acidity of an acid montmorillonite activated with hydrothermal, ultrasonic and microwave techniques. *Applied Clay Science*. 2006;31:16–28.
23. Zhilyakova E. T., Novikov O. O., Bondarev A. V., Frolov G. V. Determination of technological and adsorption parameters of medical clays. *Scientific Bulletin of Belgorod State University*. 2013;18(161):229–234. (In Russ.)

REFERENCES

1. Bondarev A. V., Zhilyakova E. T., Demina N. B., Timoshenko E. Yu. Prospects for the use of medical clays. *Drug development & registration*. 2019;8(4):27–31. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-4-27-31.
2. Vezentsev A. I., Korolkova S. V., Volovicheva N. A. Establishment of kinetic patterns of ion sorption by native and magnesium-substituted forms of montmorillonite clays. *Sorption and chromatographic processes*. 2010;10(1):115–120. (In Russ.)
3. Sapronova J. A., Gomez M. G., Sverguzova S. V. Ultraviolet activation of natural clays of Angolan deposits to increase their sorption activity in water treatment processes. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; 2015. 159 p. (In Russ.)
4. Chekmarev A. S., Skvortsov A. V., Suleymanova A. Z., Khatsrinov A. I., Bayguzin F. A., Petukhova E. A. Ultrasonic processing of clay raw materials. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2010;8:277–283. (In Russ.)
5. Khmelev V. N., Slivin A. N., Barsukov R. V., Tsyganok S. N., Shalunov A. V. Application of high-intensity ultrasound in industry. Biysk: Altai State Technological University; 2010. 203 p. (In Russ.)
6. Razmakhnin K. K., Khatkova N. N. Modern technologies of processing and modification of zeolite-containing rocks of Eastern Transbaikalia. Chita: Zabaikalsky State University; 2014. 309 p. (In Russ.)
7. Jimenez de Haro M. C., Perez-Rodriguez J. L., Poyato J. Effect of ultrasound on preparation of porous materials from vermiculite. *Applied Clay Science*. 2005;30:11–20.
8. Deryabin M. S., Kasyanov D. A., Rodchenkov V. I., Sergeev D. A. Experimental study of acoustic flows in a focused ultrasonic field. *Applied mechanics and technical physics*. 2010;51(5):52–58. (In Russ.)
9. Zhilyakova E. T., Bondarev A. V. Review of Russian enterosorption drugs. *Remedium*. 2014;10:40–47. (In Russ.)
10. Rodchenkov V. I., Sergeev D. A. Investigation of flows in a liquid induced by a focused ultrasonic field and their application to influence the growth of single crystals. *Applied mechanics and technical physics*. 2009;50(4):11–17. (In Russ.)
11. Pyatkov Yu. N., Akhmetova R. T., Khatsrinov A. I., Fakhrutdinova V. Kh., Akhmetova A. Yu., Gubaidullina A. M. The effect of ultrasonic treatment on the properties of trepel. *Fundamental research*. 2015;12(2):320–324. (In Russ.)
12. Mache J. R., Signing P., Mbey J. A., Razafitianamaharavo A., Njopwouo D., Fagel N. Mineralogical and physico-chemical characteristics of Cameroonian smectitic clays after treatment with weakly sulfuric acid. *Clay Minerals*. 2015;50:649–661.
13. Önal G., Özer M., Arslan F. Sedimentation of Clay in Ultrasonic Medium. *Minerals Engineering*. 2003;16(2):129–134. DOI: 10.1016/S0892-6875(02)00309-6.