

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-12-86-95

¹Везенцев А.И., ²Эфендиев Б.Ш., ^{1,*}Шайдорова Г.М., ³Нестерова Л.Л., ¹Луханин А.В.¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет²Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»³Югорский государственный университет

*E-mail: shaydorova@bsuedu.ru

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И АДсорбЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЛИН ГЕРПЕГЕЖСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Работа многих промышленных предприятий часто приводит к негативным последствиям для окружающей среды: загрязнению сточными водами, которые содержат в своём составе вредные вещества, в том числе и тяжёлые металлы (ТМ), оказывающие в небольших количествах негативное воздействие на здоровье человека и экологическое состояние биосферы в целом. На сегодняшний день около 80% предприятий сливают свои отходы в природные воды. Актуальность проблемы загрязнения сточных вод нельзя недооценивать, так как ухудшение экосистемы гидросферы влечёт за собой масштабные изменения и ухудшение состояния всех составляющих окружающей среды, что может перерасти в масштабную экологическую катастрофу. Последствиями могут стать различные негативные проявления от истощения и потери фауны и флоры до смертельных заболеваний человека. В связи с этим вопрос очистки и нейтрализации загрязняющих компонентов сточных вод эффективными способами является важным и злободневным. Одним из достаточно эффективных методов очистки сточных вод от соединений азота, фосфора и ТМ является адсорбция природными минеральными сорбентами такими как илунгит, бентонит и др. В данной статье рассматривается возможность использования бентонита Герпегежского месторождения Кабардино-Балкарской Республики для очистки воды до ПДК по содержанию ионов меди (II).

Ключевые слова: Герпегежская глина, вещественный состав, адсорбция, скорость адсорбции, очистка воды, тяжёлые металлы, ионы меди.

Введение. Современные экологические вызовы требуют разработки эффективных методов детоксикации водных ресурсов, особое внимание при этом уделяется проблеме загрязнения токсичными металлами. Научное сообщество выделяет группу особо опасных металлов-загрязнителей, включающую кадмий (Cd), свинец (Pb), медь (Cu), хром (Cr), цинк (Zn) и др.

Главная опасность заключается в том, что ТМ способны аккумулироваться и концентрироваться в живых организмах, затем «передвигаться» по трофическим цепям, приводя к нарушению функционирования систем органов [1, 2]. Затруднённость удаления ТМ из организма обусловлена тем, что они образуют прочные связи с белками и другими компонентами клеточных структур [3]. В связи с этим необходимо обезвреживать сточные воды промышленных предприятий до практически полного удаления тяжёлых металлов [4, 5].

В современных условиях адсорбционная технология очистки природных и сточных вод рассматривается как один из наиболее перспективных и эффективных методов. К ключевым преимуществам адсорбентов относятся: высокая степень управления процессом сорбции, сравнительная простота технологических конструкций,

повышенная эксплуатационная надёжность, достижение высокой степени извлечения целевых загрязнителей, а также отсутствие образования вторичных токсичных отходов.

Современные исследования подтверждают высокую эффективность природных алюмосиликатов в связывании ионов тяжёлых металлов. Особой адсорбционной активностью отличаются минералы с повышенной ионообменной ёмкостью: смектиты (монтмориллонитовая группа) – 80–150 мг-экв/100 г.; галлуазит гидратированный – 40–50 мг-экв/100 г.; вермикулит – 100–120 мг-экв/100 г. Экономические преимущества природных адсорбентов: себестоимость добычи в 5–7 раз ниже синтеза искусственных аналогов, отсутствие необходимости в сложной регенерации, возможность утилизации методом отверждения в строительные материалы [6, 7].

В настоящее время для очистки вод от ТМ все большее применение находят глинистые породы [8, 9, 10].

Использование глинистых минералов в процессах адсорбционной очистки детерминировано комплексом их уникальных характеристик, включающих: высокую удельную адсорбционную ёмкость, выраженную химическую инертность в широком диапазоне pH, селективность по

отношению к катионам тяжелых металлов, развитую ионообменную способность, экономическую доступность и повсеместную распространенность сырьевой базы [11, 12].

Высокая адсорбционная активность бентонитовых глин обусловлена преобладанием в их составе монтмориллонита – ключевого породообразующего минерала группы смектитов [13]. Кристаллохимическая структура монтмориллонита представляет собой трехслойный пакет, образованный двумя внешними слоями кремний-кислородных тетраэдров (Т-О-Т) и внутренним алюминийгидроксильным октаэдрическим слоем. Ионообменная способность данного минерала обусловлена изоморфными замещениями в кристаллической решетке, включающими:

- замещение ионов Al^{3+} на Mg^{2+} в октаэдрических позициях;
- частичное замещение Fe^{2+}/Fe^{3+} ;
- ограниченное замещение Si^{4+} на Al^{3+} в тетраэдрических позициях.

Эти изовалентные и гетеровалентные замещения создают постоянный структурный отрицательный заряд, компенсируемый межслоевыми обменными катионами (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Монтмориллониты демонстрируют исключительную адсорбционную емкость благодаря выраженной катионообменной способности (до 80–150 мг-экв/100 г), высокой удельной поверхности (600–800 м²/г), наноразмерной дисперсности частиц.

Многочисленные исследования [14, 15] подтверждают возможность направленной модификации монтмориллонитовых глин посредством химической активации (кислотной, щелочной, солевой), термической обработки, механохимического воздействия.

Оптимизация параметров модификации позволяет целенаправленно регулировать адсорбционные характеристики материала, существенно повышая его эффективность в отношении целевых загрязнителей.

На территории Кабардино-Балкарской республики имеются Герпегежское и Нальчикское месторождения бентонитовых глин [16].

История изучения монтмориллонитовых глин в Кабардино-Балкарской Республике зародилась в 1909 году. Промышленное освоение месторождений началось с разведки в 1930-х годах и последующей эксплуатации Нальчикского месторождения флориновых глин с 1941 года. В 1970 году было обнаружено Герпегежское месторождение.

Оба месторождения связаны с единым пластом бентонитовых глин, характеризующимся значительной пространственной протяженно-

стью (25 км), стабильностью мощностных характеристик и постоянством качественных параметров сырья. Герпегежское месторождение, занимающее восточный фланг пласта, отличается более значительными запасами по сравнению с Нальчикским месторождением, перспективами расширения границ промышленных залежей глин, более выгодными экономико-географическими условиями эксплуатации.

Важной геохимической особенностью региона является повсеместное распространение щелочных бентонитов в пределах всей бентонитовой полосы Кабардино-Балкарии [17].

В пределах пласта выделяются пять пачек глин различной степени известковистости: от слабо известковой (3–5 масс.% CaO), известковой (8–12 масс.% CaO) до сильно известковой, которые также разделяются по степени мягкости.

Глины Герпегежского месторождения имеют уникальную особенность – высокую степень однородности физико-химических показателей: пластические свойства (водопоглощение 45–50 %), постоянство минералогического состава (монтмориллонит 40±2 %), что обусловлено отсутствием зон выветривания благодаря глубокому залеганию пласта (25–30 м) и стабильным гидрогеологическим условиям [18, 19].

Известно, что возможно практически полное адсорбционное удаление ионов ТМ, в том числе и ионов меди (II) до 98,5 % из различных растворов [20].

В связи с этим актуальна задача разработки адсорбентов, обладающих высокой способностью извлечения ионов металлов из воды и применение которых было бы экономически целесообразно.

Цель работы: исследование вещественного состава и адсорбционных свойств, исследуемых образцов глины Герпегежского месторождения.

Методика, оборудование, материалы. В ходе комплексного исследования образцов глин Герпегежского месторождения были определены следующие ключевые параметры:

1. Элементный состав – устанавливали методом энергодисперсионной спектроскопии (EDS) с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100 (Jeol, Япония), оснащенного детектором EDAX.

2. Фазовый состав – определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Ultima IV (Rigaku, Япония) в режиме θ - 2θ сканирования с Cu-K α излучением ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$).

3. Количественное содержание монтмориллонита – оценивали методом адсорбционного люминесцентного анализа с флуоресцентными маркерами.

4. Гранулометрический состав – исследовали на лазерном анализаторе частиц Microtrac S3500 (США) методом статического лазерного рассеяния: Измерения проводились в водной суспензии при использовании трехлазерной системы детектирования ($\lambda = 635$ нм и 465 нм), диапазон определяемых размеров частиц: 0,02–2000 мкм.

5. Адсорбционные свойства – изучали стандартными методами сорбции с использованием модельных растворов, содержащих ионы тяжелых металлов: отношению к ионам меди (II) и конго красному с применением, утвержденной методики ГОСТ 28177-89.

Основная часть. По результатам энергодисперсионного анализа, проведенного в сочетании с просвечивающей электронной микроскопией, установлен элементный состав исследуемого образца. Данные о морфологических характеристиках и об элементном составе глины представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

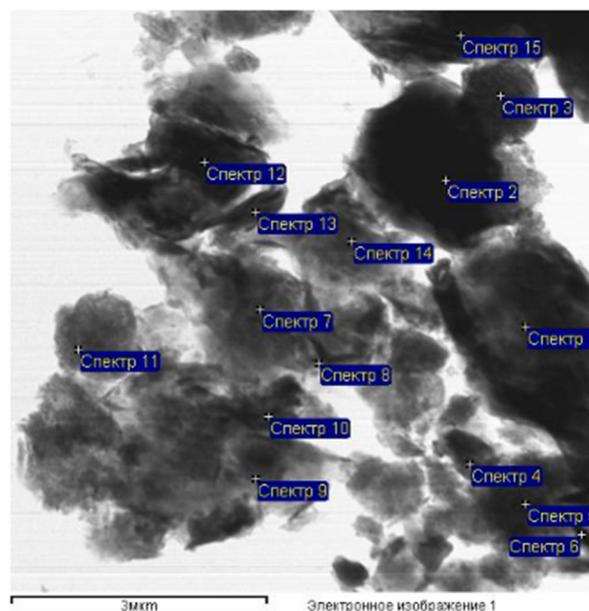


Рис.1. Морфологические характеристики глины и точки, в которых определён элементный состав образца глины Герпегежского месторождения

Таблица 1

Элементный состав глины Герпегежского месторождения

Спектр	Mg, масс.%	Al, масс.%	Si, масс.%	K, масс.%	Ca, масс.%	Ti, масс.%	Fe, масс.%
Спектр 1			65,01	3,55	2,31	10,30	18,83
Спектр 2		9,70	49,74	6,37	5,54		28,67
Спектр 3			99,24		0,76		
Спектр 4		13,64	59,77	3,00	2,53	5,56	15,50
Спектр 5			76,37	4,90	2,79		19,94
Спектр 6			62,66	7,26	3,16	2,60	24,33
Спектр 7		19,23	61,10	3,98	1,87		13,82
Спектр 8		20,23	59,41	3,19	2,03		15,14
Спектр 9	21,75	34,61	38,43	1,21			4,00
Спектр 10		21,31	61,17	3,54	1,51	0,89	11,58
Спектр 11			93,69				6,31
Спектр 12			99,06				0,94
Спектр 13			78,03	7,21			14,76
Спектр 14	7,25	24,25	54,48	2,09	1,07		10,86
Спектр 15		18,12	64,31	2,34	1,63	1,25	12,35
Макс.	21,75	34,61	99,24	7,26	5,54	10,30	28,67
Мин.	7,27	9,70	38,43	1,21	0,76	0,89	0,94

Оксидный состав исследуемого образца характерен для слоистых (глинистых) и каркасных (цеолитных) силикатов, в том числе монтмориллонита и клинофиллолита: SiO_2 68,17±0,42 масс.%, (преобладающий компонент); Fe_2O_3 12,87±0,31; Al_2O_3 10,74±0,28; K_2O 3,24±0,15 (существенная примесь – иллитизация монтмориллонита); MgO 1,93±0,09; CaO 1,68±0,08; TiO_2 1,37±0,07 масс.%,

Минералогический состав глины представлен на рентгеновской порошковой дифрактограмме (рис. 2).

По результатам РФА минералогический состав исследуемой глины представлен: монтмориллонитом (14.66; 5.01; 4.5; 4.074; 3.0379; 2.583; 2.381; 1.8765; 1.507 Å), клинофиллолитом (8.985; 5.238; 5.13; 3.956; 3.532; 3.186; 3.138; 2.97; 2.797; 2.5554; 2.491; 2.425; 2.198; 2.0954; 1.961; 1.9116; 1.8658; 1.7032; Å) и низкотемпературным тригональным кварцем (4.2503; 3.3456; 2.461; 2.286; 2.1294; 1.982; 1.8179; 1.685; 1.6727; 1.5421 Å).

Содержание монтмориллонита в образце глины составляет 40,5±1,2 масс.%,

На рисунке 3 представлены кривые дифференциально-термического анализа исследуемого образца.

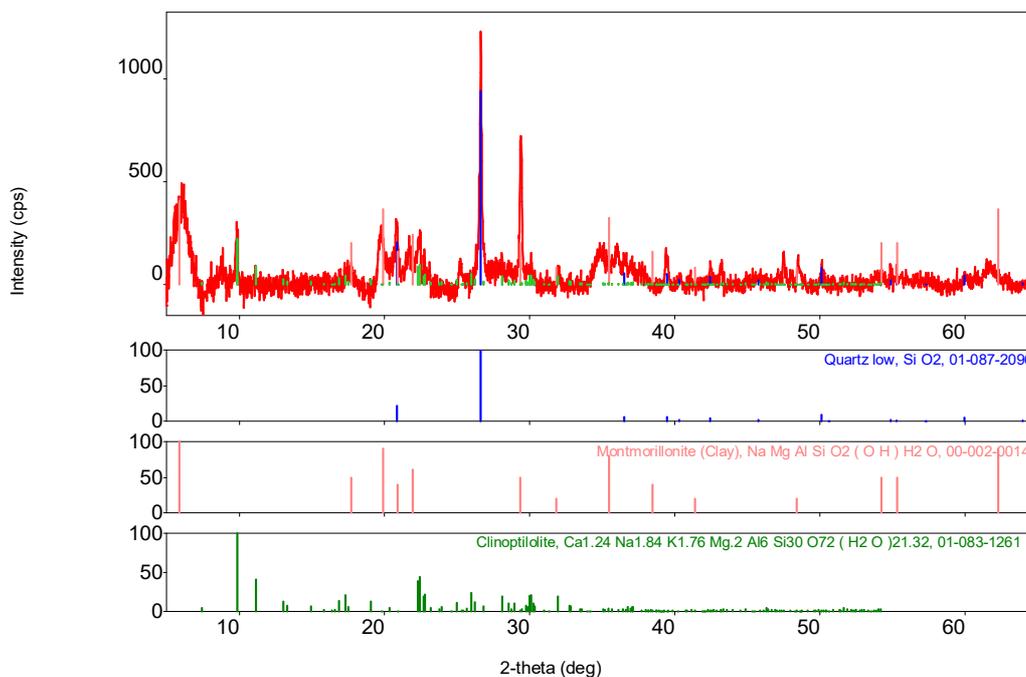


Рис. 2. Рентгеновская порошковая дифрактограмма образца глины Герпезжского месторождения (25–100 °С) и десорбцией адсорбционной воды (100–200°С);

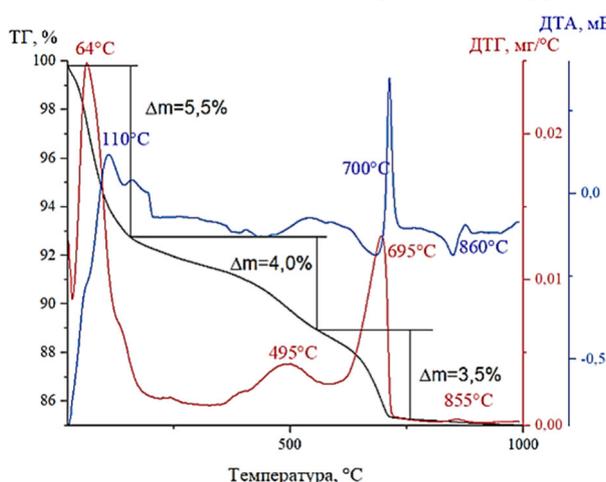


Рис. 3. Комплексные термограммы образца глины Герпезжского месторождения

По результатам термограмм на графике выявлено 4 максимума, которые соответствуют максимальной скорости процессов, происходящих при нагреве. Изменение потери массы представлены на кривой ТГ, изменение скорости потери массы – на кривой ДТГ, поглощение теплоты процессов – на кривой ДТА.

Дифференциально-термический анализ в интервале 25–1000 °С выявил характерные термодинамические превращения материала, представленные на совмещенных кривых ТГ/ДТГ/ДТА. Анализ данных позволяет выделить четыре четко выраженные стадии термодеструкции:

– первая стадия (25–200 °С): температурный максимум 110 °С (пик ДТГ), потеря массы 5.5%, эндотермический энергетический эффект обусловлен удалением свободной H₂O

– вторая стадия (200–500 °С): температурный максимум 495 °С, потеря массы 4%, эндотермический энергетический эффект связан с дегидратацией кристаллизационной воды в монтмориллоните и удалением цеолитной воды в клиноптилолите;

– третья стадия (550–750 °С): температурный максимум 700 °С, потеря массы 3,5 %, эндотермический энергетический эффект обусловлен выделением конституционной воды и начальной дегидроксиляцией структурных ОН-групп;

– четвертая стадия (750–1000 °С): температурный максимум 860°С, потеря массы 0,14 %, эндотермический энергетический эффект связан с полной дегидроксиляцией, разрушением кристаллических решеток монтмориллонита, клиноптилолита, а также рекристаллизационными превращениями.

Полученные термоаналитические характеристики полностью соответствуют структурным особенностям смектит-цеолитовых ассоциаций. Наблюдаемая последовательность термодеструкционных процессов подтверждает типичный для монтмориллонита механизм ступенчатой дегидратации, характерные для клиноптилолита температурные диапазоны деструкции, а также высокую термическую стабильность исследуемого материала до 550 °С.

Результаты гранулометрического анализа приведены на рисунке 4 и в таблице 2.

На рисунке 4 отражены характеристики дисперсного состава: 1 – интегральная кривая отображает зависимость доли фракции по размерам

частиц в масс.%; 2 – гистограмма полимодального распределения с максимумами.

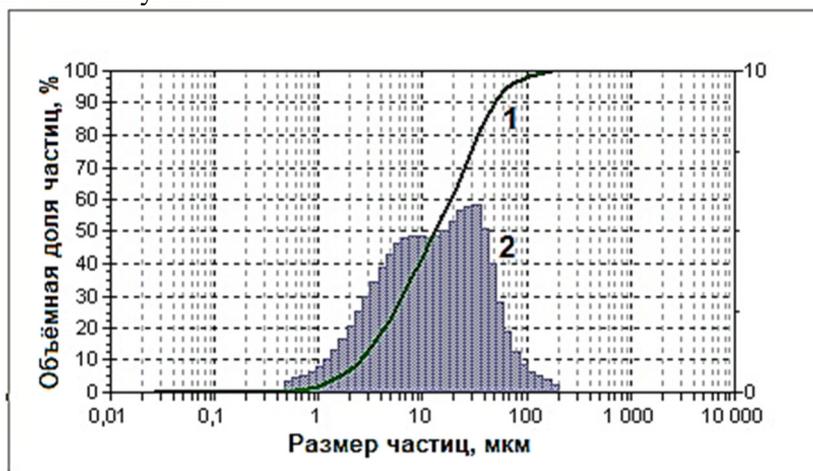


Рис. 4. Гранулометрическое распределение частиц глины Герпегежского месторождения

Таблица 2

Распределение частиц глины Герпегежского месторождения по размерам

Размер частиц, мкм	Массовая доля, %
0,67–0,8	0,84
0,8–1,14	1,44
1,14–2,48	1,79
2,48–3,67	2,45
3,67–4,86	3,93
4,86–6,02	5,59
6,02–7,52	7,40
7,52–9,65	8,94
9,65–13,43	9,36
13,43–20,70	9,07
20,70–32,63	9,63
32,63–47,10	11,20
47,10–63,85	11,69
63,85–85,61	9,17
85,61–126,30	4,80
126,30–185,11	2,19
185,11–207,80	0,51

Лазерный дифракционный анализ выявил следующие особенности распределения частиц в образцах глин Герпегежского месторождения: широкий дисперсный состав (полидисперсная система); значительный разброс размеров частиц: от субмикронных до крупнофракционных. Диапазон размеров: 0,67–207,80 мкм; средний размер частиц (d_{50}) $39,45 \pm 1,2$ мкм, модальное значение 47,10 мкм (5,85 масс.%), коэффициент неоднородности $> 2,5$.

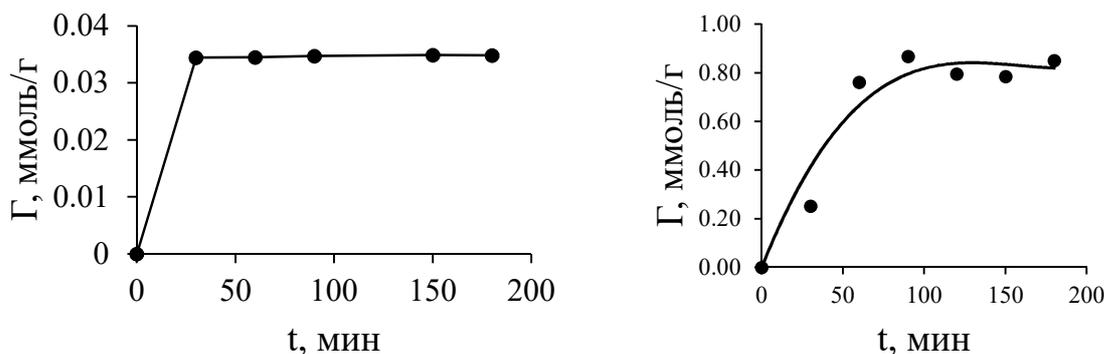
Фракции:

- крупная > 100 мкм (207,8 мкм, доля 0,09 масс. %);
- средняя 40–100 мкм (47,1 мкм, 5,85 масс. %);
- мелкая 1–40 мкм (0,67 мкм, доля 0,36 масс. %).

Проведенный анализ динамики адсорбции выявил существенные различия в поведении исследуемых загрязнителей:

– кинетика адсорбции конго красного: период интенсивной адсорбции: 0–90 мин, время достижения равновесия: 120 ± 15 мин. Характерными особенностями адсорбции является крутой начальный участок (константа скорости $k_1 = 0,25$ мин⁻¹), постепенное замедление процесса ($k_2 = 0,03$ мин⁻¹ после 90 мин), четкое плато (рис. 5а). Предельная адсорбция: $0,035 \pm 0,002$ ммоль/г.

– кинетика сорбции ионов Cu^{2+} : фаза быстрой адсорбции: 0–30 мин, время установления равновесия 60 ± 5 мин. Особенности процесса является высокая начальная скорость ($k_1 = 0,45$ мин⁻¹), быстрый переход к равновесию (рисунок 5б). Предельная адсорбция: $0,800 \pm 0,030$ ммоль/г.



а)

б)

Рис. 5. Кинетические кривые поглощения:

а) конго красного; б) ионов меди (II) в координатах $\Gamma=f(t)$.

Таким образом, для органических красителей характерны диффузионные ограничения из-за крупного размера молекул, многоцентровая адсорбция и возможность межслоевого внедрения; для катионов ТМ быстрый ионообмен, поверхностная хемосорбция, образование координационных комплексов.

Выводы.

1. Рентгенофлуоресцентный анализ выявил следующий элементный состав образцов (в пересчете на оксиды): SiO_2 $68,17 \pm 0,42$ масс.% (преобладающий компонент); Fe_2O_3 $12,87 \pm 0,31$; Al_2O_3 $10,74 \pm 0,28$; K_2O $3,24 \pm 0,15$ (существенная примесь – иллитизация монтмориллонита); MgO $1,93 \pm 0,09$; CaO $1,68 \pm 0,08$; TiO_2 $1,37 \pm 0,07$ масс.%. Минералогический состав характерен для слоистых алюмосиликатов (монтмориллонитовая группа) и каркасных силикатов (цеолиты, преимущественно клиноптилолит). Данный химический профиль подтверждает принадлежность образцов к высококачественным бентонит-цеолитовым ассоциациям, что согласуется с ранее полученными структурными и термическими характеристиками.

2. Рентгенофазовый анализ (XRD) позволил установить основные минеральные фазы: монтмориллонит – доминирующий глинистый минерал; клиноптилолит – представитель цеолитовой группы, низкотемпературный тригональный кварц – примесная фаза.

3. Методом адсорбционного люминесцентного анализа установлено, что содержание монтмориллонита в исследуемом образце глины составляет $40,5 \pm 1,2$ масс.%.

4. Термоаналитические характеристики исследуемой глины соответствуют структурным особенностям смектит-цеолитовых ассоциаций. Последовательность термодеструкционных процессов подтверждает типичный для монтмориллонита механизм ступенчатой дегидратации, характерные для клиноптилолита температурные

диапазоны деструкции, а также высокую термическую стабильность исследуемого материала до 550°C .

5. По данным гранулометрического состава установлен бимодальный характер кривой распределения, преобладание среднедисперсной фракции (40–100 мкм), наличие значительного количества ультрадисперсных частиц (<1 мкм).

6. Проведенные исследования позволили установить следующие закономерности адсорбции: для органического красителя конго красного наблюдается бидиффузионный механизм; для гидратированных ионов Cu^{2+} доминирует внутривидиффузионная адсорбция.

Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области создания специализированных адсорбционных материалов с улучшенными кинетическими характеристиками для эффективного удаления катионов тяжелых металлов из сточных и природных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bharti R., Sharma R. Effect of heavy metals: An overview // *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 51. P. 1. Pp. 880–885. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.06.278
2. Jayakumar M., Surendran U., Raja P., Kumar A., Senapathi V. A review of heavy metals accumulation pathways, sources and management in soils // *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 14, No. 2156. Pp. 1–19. DOI:10.1007/s12517-021-08543-9
3. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // *Heliyon*. 2020. Vol. 6, Iss. 9. e04691. Pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691
4. Imdad S., Dohare R.K. A critical review on heavy metals removal using ionic liquid membranes from the industrial wastewater // *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2022.

Vol. 173. 108812. Pp. 1–13.
DOI:10.1016/j.cer.2022.108812

5. Azimi A., Azari A., Rezakazemi M., Ansarpour M. Removal of heavy metals from industrial wastewaters: a review // *ChemBioEng Reviews*. 2017. Vol. 4, Iss. 1. Pp. 37–59. DOI: 10.1002/cben.201600010

6. Шилина А.С., Милинчук В.К. Сорбционная очистка природных и промышленных вод от катионов тяжелых металлов и радионуклидов новым типом высокотемпературного алюмосиликатного адсорбента // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2019. Т. 10. №2. С. 237–245.

7. Ugwu I.M., Igbokwe O.A. Sorption of heavy metals on clay minerals and oxides: a review // *Advanced sorption process applications*. 2019. 23 September 2019. Pp. 1–23. DOI: 10.5772/intechopen.80989

8. Novikau R., Lujaniene G. Adsorption behaviour of pollutants: Heavy metals, radionuclides, organic pollutants, on clays and their minerals (raw, modified and treated): A review // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 309. No. 114685. Pp. 1–23. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114685

9. Рамазанов А.Ш., Есмаил А.Ш. Сорбционное концентрирование ионов меди, цинка, кадмия и свинца из водных растворов природной глиной // *Вестник Дагестанского государственного университета*. 2014. № 1. С. 179–183.

10. Hamid Y., Tang L., Hussain B., Usman M., Liu L., Ulhassan Z., He Z., Yang X. Sepiolite clay: A review of its applications to immobilize toxic metals in contaminated soils and its implications in soil-plant system // *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 23. No. 101598. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101598

11. Сабитов А.А., Руселик Е.С., Трофимова Ф.А., Тетерин А.Н. Бентониты России: состояние освоения и перспективы развития сырьевой базы // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2010. № 5. С. 8–17.

12. Naciosmanoğlu G.G., Mejías C., Martín J., Santos J.L., Aparicio I., Alonso E. Antibiotic adsorption by natural and modified clay minerals as de-

signer adsorbents for wastewater treatment: A comprehensive review // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 317. No. 115397. Pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115397

13. Uddin F. Montmorillonite: An introduction to properties and utilization // *Current Topics in the Utilization of Clay in Industrial and Medical Applications*. 2018. 12 September 2018. Pp. 1–24. DOI: 10.5772/intechopen.77987

14. Везенцев А.И., Королькова С.В., Воловичева Н.А. Физико-химические характеристики природной и модифицированной глины месторождения Поляна Белгородской области // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2008. Т. 8. №5. С. 790–795.

15. Первова И.Г., Маслакова Т.И., Скорых Т.В., Мельник Т.А., Липунов И.Н. Сорбционно-аналитические свойства минеральных сорбентов с иммобилизованными гетарилформазановыми группировками // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2009. Т. 9. №3. С. 383–390.

16. Белоусов П.Е., Крупская В.В. Бентонитовые глины России и стран ближнего зарубежья // *Георесурсы*. 2019. Т. 21. № 3. С. 79–90. DOI:10.18599/grs.2019.3.79-90

17. Мамхегов Р.М. Химико-минералогический состав и строение бентонитовых глин Герпегежского месторождения // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. 2015. Т. 5. №6. С. 51–54.

18. Токмакова П.И. Бентонитовые глины Герпегежского месторождения Кабардино-Балкарской АССР. Бентониты. М: Наука. 1980. С. 88–95.

19. Белоусов П.Е. Сравнительная характеристика месторождений высококачественных бентонитов России и некоторых зарубежных стран // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2013. №2. С. 55–61.

20. Везенцев А.И., Королькова С.В., Воловичева Н.А. Установление кинетических закономерностей сорбции ионов Cu^{2+} нативными и магний - замещенными формами монтмориллонитовых глин // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2010. Т. 10. №1. С. 115–120.

Информация об авторах

Везенцев Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры общей химии. E-mail: vesentsev@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Эфендиев Беслан Шамсадинович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией «Интеллектуальные производственные системы в животноводстве» E-mail: beslanefendiev@mail.ru. Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук». Россия, 360030, Нальчик, ул. Балкарова, д.2.

Шайдорова Галина Михайловна, аспирант кафедры общей химии. E-mail: shaydorova@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Нестерова Людмила Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры геология и нефтегазовое дело. E-mail: nll55@inbox.ru. Югорский государственный университет. Россия, 628007, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16.

Луханин Андрей Валерьевич, студент кафедры общей химии. E-mail: 18631956@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Поступила 19.02.2024 г.

© Везенцев А.И., Эфендиев Б.Ш., Шайдорова Г.М., Нестерова Л.Л., Луханин А.В., 2025

¹*Vezentsev A.I.*, ²*Efendiev B.Sh.*, ^{1,*}*Shaidorova G.M.*, ³*Nesterova L.L.*, ¹*Lukhanin A.V.*

¹*Belgorod State National Research University*

²*Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*

³*Yugra State University*

*E-mail: shaydorova@bsuedu.ru

SUBSTANCE COMPOSITION AND ADSORPTION PROPERTIES OF CLAYS OF THE GERPEGEZH DEPOSIT

Abstract. *The work of many industrial enterprises often leads to negative consequences for the environment: pollution by wastewater, which contains harmful substances, including heavy metals (HM), which in small quantities have a negative impact on human health and the ecological state of the biosphere as a whole. Today, about 80% of enterprises discharge their waste into natural waters. The relevance of the problem of wastewater pollution cannot be underestimated, since the deterioration of the hydrosphere ecosystem entails large-scale changes and deterioration of the state of all components of the environment, which can develop into a large-scale environmental disaster. The consequences can be various negative manifestations from depletion and loss of fauna and flora to fatal human diseases. In this regard, the issue of cleaning and neutralizing polluting components of wastewater by effective methods is important and topical. One of the quite effective methods of wastewater purification from nitrogen, phosphorus and heavy metal compounds is adsorption by natural mineral sorbents such as shungite, bentonite, etc. This article discusses the possibility of using bentonite from the Gerpegezh deposit in the Kabardino-Balkarian Republic to purify water to the MAC for copper (II) ion content.*

Keywords: *Gerpegezh clay, material composition, adsorption, adsorption rate, water purification, heavy metals, copper ions.*

REFERENCES

1. Bharti R., Sharma R. Effect of heavy metals: An overview. *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 51. P. 1. Pp. 880–885. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.06.278

2. Jayakumar M., Surendran U., Raja P., Kumar A., Senapathi V. A review of heavy metals accumulation pathways, sources and management in soils. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 14, No. 2156. Pp. 1-19. DOI: 10.1007/s12517-021-08543-9

3. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, Iss. 9. e04691. Pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691

4. Imdad S., Dohare R.K. A critical review on heavy metals removal using ionic liquid membranes from the industrial wastewater. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2022.

Vol. 173. 108812. Pp. 1-13. DOI:10.1016/j.ccep.2022.108812

5. Azimi A., Azari A., Rezakazemi M., Ansarpour M. Removal of heavy metals from industrial wastewaters: a review. *ChemBioEng Reviews*. 2017. Vol. 4, Iss. 1. Pp. 37–59. DOI: 10.1002/cben.201600010

6. Shilina A.S., Milinchuk V.K. Sorption purification of natural and industrial waters from heavy metal cations and radionuclides by a new type of high-temperature aluminosilicate adsorbent [Sorbcionnaya ochistka prirodnyh i promyshlennyh vod ot kationov tyazhelyh metallov i radionuklidov novym tipom vysokotemperaturnogo alyumosilikatnogo adsorbenta]. *Sorption and chromatographic processes*. 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 237–245. (rus)

7. Ugwu I.M., Igbokwe O.A. Sorption of heavy metals on clay minerals and oxides: a review // *Ad-*

vanced sorption process applications. 2019. 23 September 2019. Pp. 1–23. DOI: 10.5772/intechopen.80989

8. Novikau R., Lujanienė G. Adsorption behaviour of pollutants: Heavy metals, radionuclides, organic pollutants, on clays and their minerals (raw, modified and treated): A review // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 309. No. 114685. Pp. 1–23. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114685

9. Ramazanov A.Sh., Esmail A.Sh. Sorption concentration of copper, zinc, cadmium and lead ions from aqueous solutions by natural clay [Sorbcionnoe koncentrirovaniye ionov medi, cinka, kadmiya i svinca iz vodnyh rastvorov prirodnoj glinoj]. *Bulletin of the Dagestan State University*. 2014. No. 1. Pp. 179–183. (rus)

10. Hamid Y., Tang L., Hussain B., Usman M., Liu L., Ulhassan Z., He Z., Yang X. Sepiolite clay: A review of its applications to immobilize toxic metals in contaminated soils and its implications in soil-plant system. *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 23. No. 101598. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101598

11. Sabitov A.A., Ruselik E.S., Trofimova F.A., Teterin A.N. Bentonites of Russia: state of development and prospects for the development of the raw material base [Bentonity Rossii: sostoyanie osvoeniya i perspektivy razvitiya syr'evoy bazy]. *Mineral resources of Russia. Economics and management*. 2010. No. 5. Pp. 8–17. (rus)

12. Hacıosmanoğlu G.G., Mejías C., Martín J., Santos J.L., Aparicio I., Alonso E. Antibiotic adsorption by natural and modified clay minerals as designer adsorbents for wastewater treatment: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 317. No. 115397. Pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115397

13. Uddin F. Montmorillonite: An introduction to properties and utilization. *Current Topics in the Utilization of Clay in Industrial and Medical Applications*. 2018. 12 September 2018. Pp. 1–24. DOI: 10.5772/intechopen.77987

14. Vezentsev A.I., Korolkova S.V., Volovichcheva N.A. Physicochemical characteristics of natural and modified clay from the Polyana deposit in

the Belgorod region [Fiziko-himicheskie harakteristiki prirodnoj i modifitsirovannoj gliny mestorozhdeniya Polyana Belgorodskoj oblasti]. *Sorption and chromatographic processes*. 2008. Vol. 8. No. 5. Pp. 790–795. (rus)

15. Pervova I.G., Maslakova T.I., Skorykh T.V., Melnik T.A., Lipunov I.N. Sorption and analytical properties of mineral sorbents with immobilized heterylformazan groups [Sorbcionno-analiticheskie svoystva mineral'nyh sorbentov s immobilizovannymi getarilformazanovymi gruppirovkami]. *Sorption and chromatographic processes*. 2009. Vol. 9. No. 3. Pp. 383–390.

16. Belousov P.E., Krupskaya V.V. Bentonite clays of Russia and neighboring countries [Bentonitovye gliny Rossii i stran blizhnego zarubezh'ya]. *Georesources*. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 79–90. DOI: 10.18599/grs.2019.3.79-90

17. Mamkhegov R.M. Chemical and mineralogical composition and structure of bentonite clays of the Gerpezh deposit [Himiko-mineralogicheskij sostav i stroenie bentonitovyh glin Gerpezhskogo mestorozhdeniya]. *Bulletin of the Kabardino-Balkarian State University*. 2015. Vol. 5. No. 6. Pp. 51–54.

18. Tokmakova P.I. Bentonite clays of the Gerpezh deposit of the Kabardino-Balkarian ASSR [Bentonitovye gliny Gerpezhskogo mestorozhdeniya Kabardino-Balkarskoj ASSR.]. *Bentonites*. Moscow: Nauka. 1980. Pp. 88–95.

19. Belousov P.E. Comparative characteristics of high-quality bentonite deposits in Russia and some foreign countries [Srvnitel'naya harakteristika mestorozhdenij vysokokachestvennyh bentonitov Rossii i nekotoryh zarubezhnyh stran]. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research*. 2013. No. 2. Pp. 55–61.

20. Vezentsev A.I., Korolkova S.V., Volovichcheva N.A. Establishment of kinetic regularities of sorption of Cu²⁺ ions by native and magnesium-substituted forms of montmorillonite clays [Establishment of kinetic regularities of sorption of Cu²⁺ ions by native and magnesium-substituted forms of montmorillonite clays]. *Sorption and chromatographic processes*. 2010. Vol. 10. No. 1. Pp. 115–120.

Information about the authors

Vezentsev, Aleksandr I. DSc, Professor E-mail: vesentsev@bsuedu.ru. Belgorod State National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Efendiev, Beslan Sh. DSc, Professor E-mail: beslanefendiev@mail.ru. Federal Research Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences". Russia, 360030, Nalchik, st. Balkarova, 2.

Shaidorova, Galina M. Postgraduate Student E-mail: shaydorova@bsuedu.ru. Belgorod State National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Nesterova, Lyudmila L. PhD E-mail: nll55@inbox.ru. Yugra State University. Russia, 628007, Khanty-Mansiysk, st. Chekhova, 16.

Lukhanin, Andrey V. Student of the Department of General Chemistry. E-mail: 18631956@bsuedu.ru. Belgorod State National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Received 19.02.2024

Для цитирования:

Везенцев А.И., Эфендиев Б.Ш., Шайдорова Г.М., Нестерова Л.Л., Луханин А.В. Вещественный состав и адсорбционные свойства глин Герпегежского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 12. С. 86–95. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-12-86-95

For citation:

Vezentsev A.I., Efendiev B.Sh., Shaidorova G.M., Nesterova L.L., Lukhanin A.V. Substance composition and adsorption properties of clays of the Gerpegezh deposit. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 12. Pp. 86–95. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-12-86-95