



УДК: 691.41

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/74.8

EDN: INJFSW

## Влияние температуры жидкости на сорбционную способность природных глин в процессах водоочистки от ионов железа Fe (+3)

Е.Ю. Ермилова<sup>1,2</sup>, К.Ф. Мухамадьярова<sup>3</sup>, А.А. Гайфуллина<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «ИЦ ВСТ», г. Казань, Российская Федерация

<sup>3</sup>ГУП "Татинвестгражданпроект", г. Казань, Российская Федерация

<sup>4</sup>ООО «РС-КОНЦЕПТ», г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* В последнее время в связи с промышленным ростом все чаще ставится вопрос об очистке и утилизации загрязненных сточных вод. Наиболее опасны распространенные загрязнители сточных вод в виде тяжелых металлов: хром, железо, марганец, ртуть, кадмий, свинец, никель и др. Для очистки стоков от таких загрязнений целесообразно использование адсорбционного метода. Наряду с углеродными сорбентами большую популярность набирают природные сорбенты на основе алюмосиликатов. Среди последних учеными выделяются монтмориллонитовые глины, благодаря своей хорошо набухающей структуре, способной задерживать ионы тяжелых металлов. Вместе с тем, сточные воды часто имеют повышенную температуру, отличающуюся от традиционной температуры лабораторных испытаний 20 °С. В связи с чем, *целью работы* является изучение влияния температуры исходной жидкости при сорбционной очистке воды алюмосиликатами в отношении удаления ионов железа. На основании вышеописанной цели, в работе решались следующие *задачи исследования*: определить сорбционную способность глин по отношению к содержанию ионов железа до и после процессов сорбции, в зависимости от температуры исходной жидкости, а также влияния температуры исходной жидкости на изменение pH в процессе сорбции.

*Результаты.* При возрастании температуры исходной жидкости на каждые 20 °С сорбционная способность глинистых материалов увеличивается в среднем на 5% через 30 минут контакта сорбат- сорбент. Оптимальным является 30 минут контакта, а при достижении длительности контакта 60 минут идет обратный процесс десорбции.

*Выводы.* Освещенные в статье результаты исследований обладают практической значимостью в процессах технологической очистки как природных, так и сточных вод относительно извлечения ионов железа. Кроме того, использование полиминеральных глин позволяет заключить о возможности применения местных природных алюмосиликатов в качестве сырья для сорбционной очистки, что позволит повысить ее эффективность и сократить технологические затраты.

**Ключевые слова:** сорбционные материалы, ионы железа, монтмориллонит, глина полиминеральная, каолинит, спектрофотометр

**Для цитирования:** Ермилова Е.Ю., Мухамадьярова К.Ф., Гайфуллина А.А. Влияние температуры жидкости на сорбционную способность природных глин в процессах водоочистки от ионов железа Fe (+3) // Известия КГАСУ, 2025, № 4 (74), с. 87-97, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/74.8, EDN: INJFSW

# The influence of liquid temperature on the sorption capacity of natural clays in water purification processes from iron ions Fe (+3)

E.Yu. Ermilova<sup>1,2</sup>, K.F. Mukhamadyarova<sup>3</sup>, A.A. Gaifullina<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>LLC “IC VST”, Kazan, Russian Federation

<sup>3</sup>State Unitary Enterprise “Tatinvestgrazhdanproekt”, Kazan, Russian Federation

<sup>4</sup>LLC “RS-CONCEPT”, Kazan, Russian Federation

**Abstract:** *Problem statement.* In recent years with industrial growth and development, the issue of cleaning and recycling polluted wastewater has been increasingly raised. The most dangerous common wastewater pollutants are heavy metals: chromium, iron, manganese, mercury, cadmium, lead, nickel, etc. To clean wastewater from such pollutants, it is advisable to use the adsorption method. Along with carbon sorbents, natural sorbents based on aluminosilicates are gaining popularity. Among the latter, scientists highlight montmorillonite clays due to their well-swelling structure, capable of retaining ions of heavy metals. At the same time, wastewater often has an elevated temperature, differing from the traditional laboratory test temperature of 20 °C. In this regard, *the aim of this study* is to investigate the effect of the initial liquid temperature on iron ion removal during sorption water treatment with aluminosilicates. Based on this objective, the following *research tasks* were addressed: to determine the sorption capacity of clays for iron ion content before and after sorption processes, depending on the initial liquid temperature, as well as the effect of the initial liquid temperature on pH changes during sorption.

*Results.* For every 20°C increase in the initial liquid temperature, the sorption capacity of clay materials increases by an average of 5% after 30 minutes of sorbate-sorbent contact. Optimal contact time is 30 minutes, however, when the contact duration reaches 60 minutes, the reverse process of desorption occurs.

*Conclusions.* The research results presented in this article have practical implications for the technological treatment of both natural and wastewater for iron ion removal. Furthermore, the use of polymineral clays suggests the possibility of using local natural aluminosilicates as raw materials for sorption treatment, which will increase its efficiency and reduce process costs.

**Keywords:** sorption materials, iron ions, montmorillonite, polymineral clay, kaolinite, spectrophotometer.

**For citation:** Ermilova E.Yu., Mukhamadyarova K.F., Gaifullina A.A. The influence of liquid temperature on the sorption capacity of natural clays in water purification processes from iron ions Fe (+3) // News of KSUAE, 2025, № 4 (74), p. 87-97, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/74.8, EDN: INJFSW

## 1. Введение

В связи с подъемом промышленного производства и импортозамещением в последнее время растет количество сточных вод, образующихся в результате деятельности различных отраслей промышленности и не редко требующих очистки на территории самих предприятий, с помощью так называемых локальных очистных сооружений. Особенно важна очистка и утилизация сточных вод, загрязненных ионами тяжелых металлов [1], чаще всего являющихся токсичными, таких как свинец, марганец, железо и другие, в связи с тем, что коммунальные очистные сооружения города не рассчитаны на удаление таких ионов металлов, так как, с своем составе не имеют соответствующих сооружений.

С другой стороны, природные воды, добываемые из подземных источников, также содержат различные ионы металлов, например, железа, избыток которого негативно может сказываться на здоровье и процессах жизнедеятельности человека [2].

Такие распространенные традиционные методы извлечения ионов металлов, как мембранный, ионообменный, электрохимический и реагентный, являются достаточно

дорогими как в эксплуатационном отношении, так и в плане стоимости реагентов [3]. Кроме того, реагенты очень часто востребованы в других отраслях промышленности и производства, что делает их не только дефицитными, но и как следствие, дорогостоящими. В качестве перспективного и эффективного метода очистки от ионов металлов в последнее время широко распространен метод сорбционной очистки как природных, так и сточных вод [4-5]. Однако, применяющиеся традиционные природные сорбционные материалы, такие как активированный уголь и цеолиты, достаточно дорогие, и часто помимо технологии водоочистки используются в других отраслях промышленности, что делает их кроме того, еще и дефицитными. В связи с этим, перед исследователями остро стоят вопросы поиска и разработки новых перспективных и недорогих сорбционных материалов, не уступающих по эффективности традиционным сорбентам, таким как, активированный уголь [6-7], но при этом обладающих достаточными запасами сырья для долгосрочных перспектив использования.

В последнее время внимание ученых направлено на изучение сорбционных свойств природных алюмосиликатов, к которым наряду с цеолитсодержащими породами также относятся природные глины. В работе [8] отмечается, что глины, относящиеся к группе филлосиликатов, благодаря своим свойствам тонкодисперсности и слоистой внутренней структуре, обладают высокими адсорбционными свойствами по отношению к ионам тяжелых металлов, в частности  $\text{Cr}^{3+}$ .

Наибольшее количество работ посвящено изучению сорбционных свойств как природных, так и модифицированных бентонитов [9,10]. Однако, распространение таких глин ограничено территориально, а использование их в определенных отраслях промышленности (нефтедобывающая, керамическая) приводит к спросу и количественному ограничению для использования в других сферах [11,12]. Кроме того, очень часто модификация бентонитовых глин заключается в обработке их кислотами (в основном применяется соляная кислота), что также осложняет и удорожает процесс их производственного получения, а также делает его опасным производством в связи с использованием сильнодействующих химических веществ. При этом отмечается, что наряду с увеличением удельной поверхности и роста объема порового пространства, из кристаллической решетки минералов выделяются катионы натрия и кальция [8], что соответственно позволяет другим активным ионам занять их место.

Однако, в последнее время в процессе поиска альтернативных монтмориллониту алюмосиликатов учеными было установлено, что полиминеральные глины также обладают определенной сорбционной активностью [13-14], даже такие глины, которые не содержат в своем составе монтмориллонитовые минералы [15-16]. Однако, данные причинно-следственные связи и механизмы процессов пока изучены недостаточно. По своей природе минералогического состава природные глины достаточно разнообразны и имеют различия даже партии глин из одного месторождения, что делает задачу исследователей намного сложнее и более трудоемкой. Вместе с тем, природные сорбционные материалы не уступают синтетическим по степени проявляемого к ним интереса современных исследователей. Кроме того, стоит отметить, что глинистые компоненты в составе геополимерного вяжущего (геополимеры – это активированные щелочами вяжущие, называемые также «бескальциевые цементы», на основе алюмосиликатного сырья, при затворении которого сильнощелочными растворами, образуются аморфные алюмосиликатные материалы с трехмерными сетками тетраэдров - аналогов цеолитов) способны задерживать такие радиоактивные отходы ядерного топлива атомных станций, как цезий и стронций [17].

В работах исследователей традиционно принимается температура очищаемой жидкости 20 °С, а чаще всего она вообще не указывается. Вместе с тем, температура играет немаловажную роль в протекании процессов сорбции и набухания глинистых материалов, и как следствие может отражаться на сорбционной способности глинистых частиц.

В связи с вышесказанным, **целью работы** явилось исследование влияния температуры исходной жидкости на сорбционную способность алюмосиликатов по отношению к извлечению ионов железа  $\text{Fe(III)}$ .

На основании поставленной цели, в качестве основных были определены следующие задачи исследования: изучение сорбционной способности глинистых материалов путем

определения содержания железа до и после сорбции, в зависимости от температуры исходной жидкости, а также влияния температуры на изменение рН в процессе сорбции.

## 2. Материалы и методы

При выборе материалов учитывался анализ существующих работ. На основании чего, было принято изучить и дать сравнительную оценку сорбционных свойств таких наиболее изученных монтмориллонитовой и каолинитовой глин с полиминеральной.

По минералогическому составу исходного глинистого сырья были приняты наряду с полностью полиминеральной глиной (минеральный состав, в % от массы: кварц - 38 %, альбит - 19 %, монтмориллонит - 11 %, микроклин - 11 %, мусковит - 8 %), глины с преобладающим содержанием каолинита (Каолинит - 88 %, кварц - 7 %, мусковит - 5 %) и монтмориллонита (монтмориллонит - 29 %, кварц - 22 %, мусковит - 14, альбит - 12%, микроклин - 10 %). При этом размер частиц глинистых материалов не превышал 1 мм.

Согласно традиционной методике, описанной во многих учебниках, сорбционная способность оценивается с помощью метиленового голубого. Однако, как показали предварительные эксперименты, в отношении глинистых минералов данный способ неэффективен и малоинформативен. В связи с чем, для проведения дальнейших исследований сорбционная емкость оценивалась по поглощению ионов железа Fe (+3) из модельного раствора. В качестве последнего был выбран раствор 6-ти водного хлористого железа ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), с концентрацией соли хлористого железа 0,5%.

Для исследования влияния температуры жидкости модельный раствор нагревался до температуры 20, 40 и 60 °С. Температура поддерживалась на всем протяжении времени контакта сорбат- сорбент в течение 30 мин и 1 часа и измерялась переносным термометром. Далее в каждые 100 мл раствора добавлялась навеска исследуемой глины в количестве 10г.

Измерение и контроль изменения уровня рН производилось с помощью рН-метра на приборе TitroLine 5000.

Концентрация ионов железа определялась через 30 мин и 1 час фотоколориметрическим методом на спектрофотометре УФ-3000, при длине волны 510 нм по методике, описанной в ГОСТ 4011.

## 3. Результаты и обсуждение

В работе производилось определение рН для изучения его влияния на сорбционные процессы. В таблице 1 представлены результаты значений рН в зависимости от вида исходной глины и температуры исходной очищаемой жидкости.

Согласно данным таблицы 1 видно, что с увеличением времени контакта модельного раствора с сорбентом, рН увеличивается для всех типов глинистых материалов.

На рис. 1 приведена диаграмма изменения рН с изменением температуры на каждые 20 град °С после 30 минутного контакта сорбат-сорбент. Стоит отметить, что наибольшим рН обладают растворы с полиминеральной глиной, наименьшей – с каолинитовой. Это может быть обусловлено, в частности, наличием оксидов щелочноземельных металлов в большей степени в полиминеральной глине, которые способны выделяться в раствор и увеличивать уровень его рН в сторону щелочной реакции.

Кроме того, как видно из рис. 1 при увеличении температуры исходной жидкости рН раствора каолинитовой глины снижается, в то время как, для монтмориллонитовой и полиминеральной глин увеличивается совсем незначительно. Если этим увеличением пренебречь, в таком случае, рН растворов для последних глин при увеличении температуры с 40 до 60°С в целом почти не изменяется.

Таким образом, можно заключить, что изменение температуры исходного раствора с 20 до 40-60 °С приводит к снижению уровня рН, что говорит об образовании определенных соединений, обладающих кислой средой, либо выделении дополнительных ионов водорода  $\text{H}^+$ , в результате чего уровень рН смещается в левую сторону на шкале рН.

Таблица 1

Значения pH в зависимости от вида глины и температуры исходной жидкости

Время контакта, мин	Каолинитовая	Монтмориллонитовая	Полиминеральная
20°C			
0	2,41	3,16	5,25
5	2,44	3,2	5,76
10	2,44	3,31	5,88
20	2,44	3,6	6,05
30	2,45	3,77	5,18
60	2,5	3,94	6,34
40°C			
0	1,7	2,15	4,41
5	1,56	2,31	4,7
10	1,58	2,75	5,23
20	1,7	2,98	5,5
30	1,58	3,56	5,75
60	1,7	2,15	4,41
60°C			
0	1,67	2,2	5,05
5	1,6	2,47	5,31
10	1,43	2,72	5,52
20	1,38	3,05	5,68
30	1,36	4,15	6,25
60	1,67	2,2	5,05

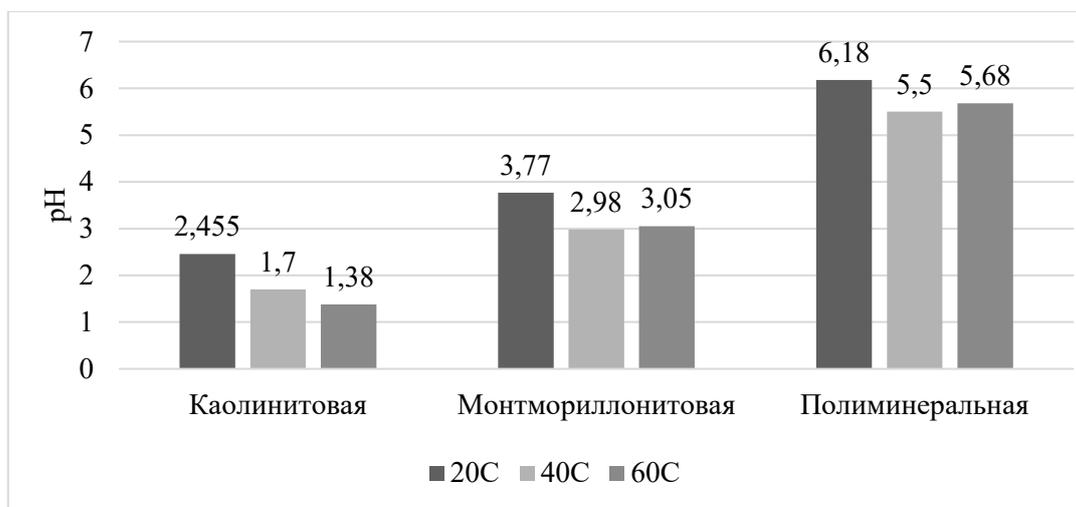


Рис. 1. Диаграмма изменения pH раствора через 30 минут контакта в зависимости от сорбирующего материала и температуры (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Diagram of pH changes in solution after 30 contact minutes depending on the sorbent material and temperature (illustration by the authors)

Измеренная на спектрофотометре оптическая плотность (Abs), позволяет определить количественное содержание ионов железа Fe (+3) в растворах в результате проведенной сорбции. Для этих целей согласно ГОСТ 4011 в предыдущей работе был построен градуировочный график на модельном растворе.

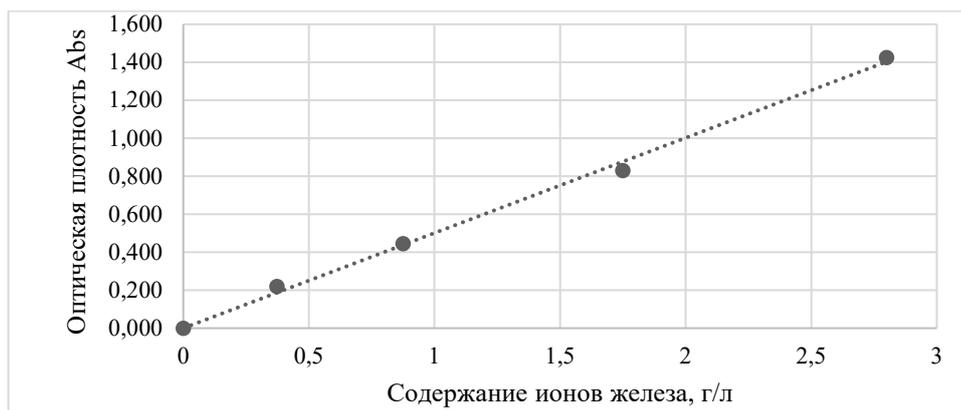


Рис. 2. Диаграмма зависимости значений оптической плотности раствора и содержания ионов железа в нем (иллюстрация авторов) [Ермилова Е. Ю. Исследование сорбционных свойств природных алюмосиликатов по отношению к иону железа Fe (+3) при очистке воды // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 3(69). С. 38-45. DOI 10.48612/NewsKSUAE/69.4.]

Fig. 2. Diagram of the dependence of the solution optical density and the iron ions content in it (illustration by the authors) [Ermilova E.Yu. Study the sorption properties of natural aluminosilicates in relation to the iron ion Fe (+3) during water treatment // News of KSUAE, 2024, No. 3(69), P. 38-45, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.4]

Содержание ионов железа через 30 мин сорбции с возрастанием температуры исходной воды уменьшается для каждого типа глин. Для монтмориллонитовой в среднем на 10 %, для каолининовой – на 3%, для полиминеральной – на 50% на каждые 20 °С увеличения температуры исходной жидкости, о чем свидетельствуют диаграммы на рис. 3.

При этом наблюдается наибольшее снижение содержания железа в растворе с полиминеральной глиной, в отличие от глин каолининовой и монтмориллонитовой, эффективность которых примерно одинаковая.

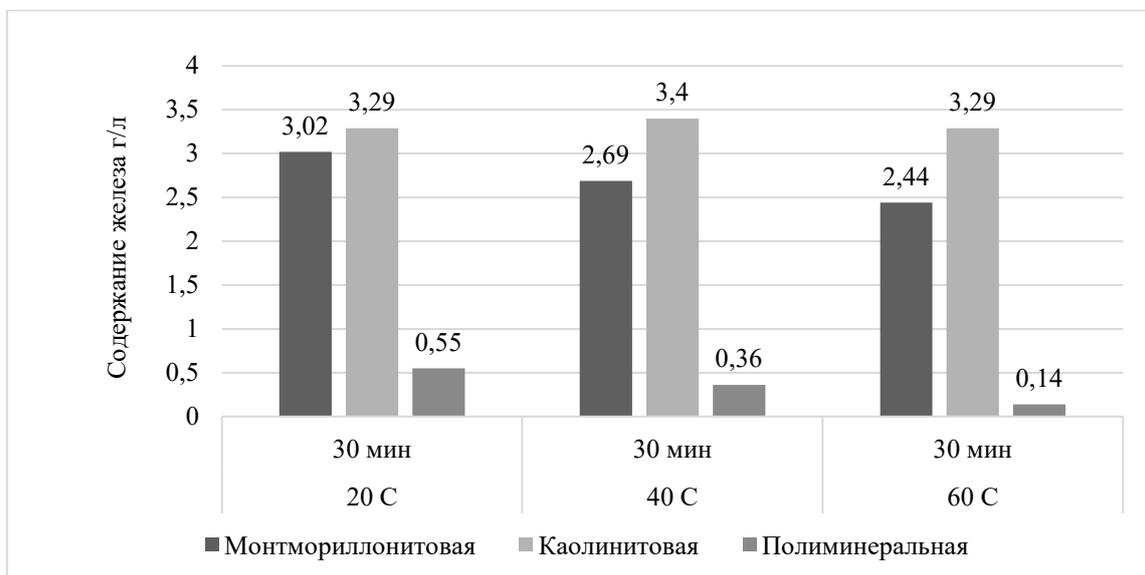


Рис. 3. Диаграмма изменения содержания ионов железа в растворе после 30 минут контакта сорбат-сорбент (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Diagram of the change in the iron ions content in solution after 30 minutes of sorbate-sorbent contact (illustration by the authors)

Как видно из рис. 4 через 1 час сорбции содержание ионов железа с возрастанием температуры исходной воды уменьшается для монтмориллонитовой глины в среднем на 20 %, для каолининовой – на 4%, для полиминеральной – на 67% на каждые 20 °С увеличения температуры исходной жидкости.

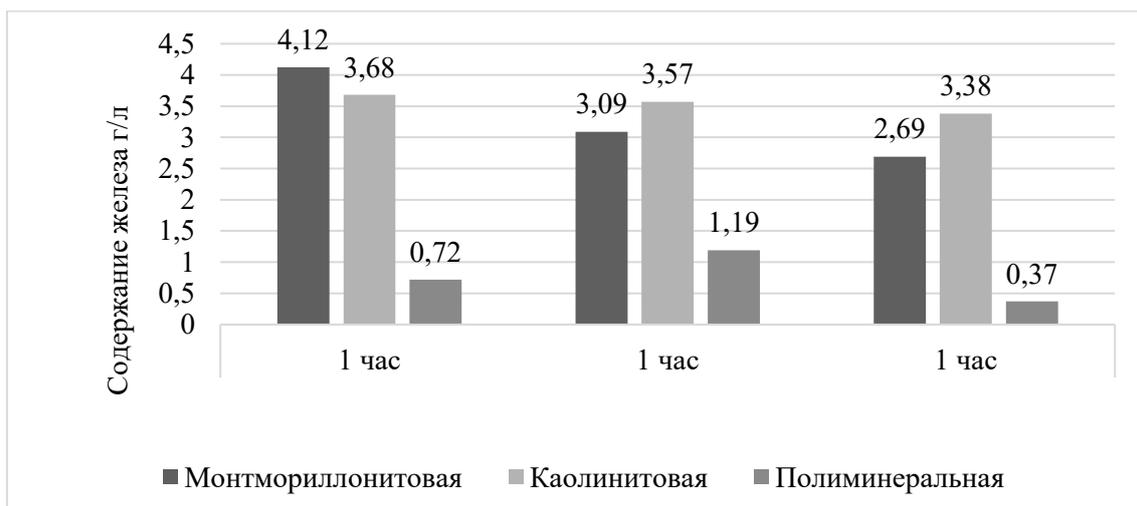


Рис. 4. Диаграмма изменения содержания ионов железа в растворе после 1 час контакта сорбат-сорбент (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Diagram of the change in the iron ions content in solution after 1 hour of sorbate-sorbent contact (illustration by the authors)

Согласно рис. 5, содержание ионов железа в растворе становится выше, чем через 30 минут сорбции, то есть идет обратный процесс десорбции, что свидетельствует о нецелесообразности и бесполезности дальнейшего увеличения контакта сорбат-сорбент свыше 30 минут.

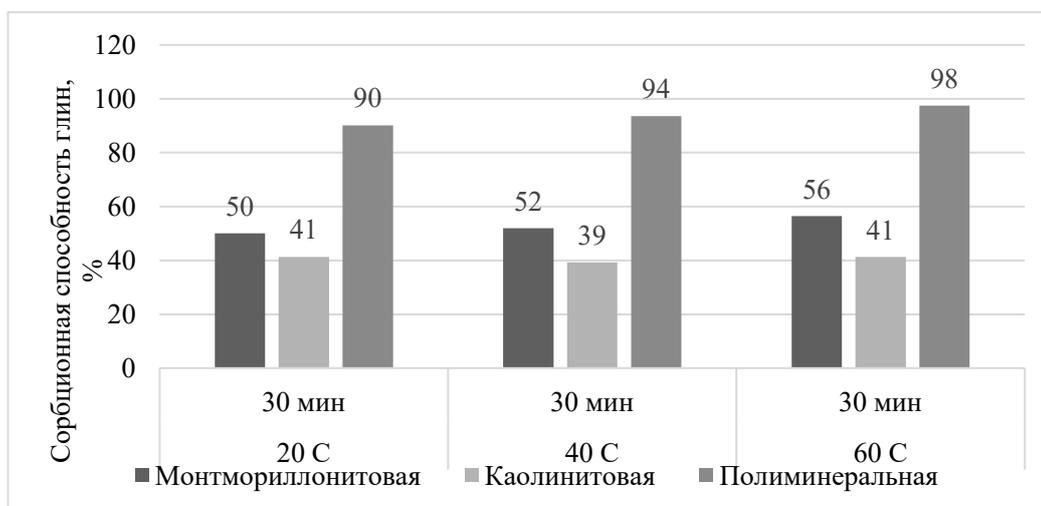


Рис. 5. Диаграмма изменения сорбционной способности глин после 30 минут сорбции (иллюстрация авторов) в зависимости от изменения температуры исходной воды

Fig. 5. Diagram of the change in the sorption capacity of clays after 30 minutes of sorption depending on the change in temperature of the source water (illustration by the authors)

Как следствие из предыдущих двух графиков рис. 3-4, сорбционная способность глин на рис. 5 через 30 минут контакта сорбат-сорбент с возрастанием температуры исходной воды увеличивается в среднем на: для монтмориллонитовой – на 6 %, для каолинитовой – на 5%, для полиминеральной – на 4% на каждые 20 °C увеличения температуры исходной жидкости.

Сорбционная способность глин с возрастанием температуры исходной воды через 1 час контакта сорбат-сорбент (рис.6) увеличивается в среднем на: для монтмориллонитовой – на 14 %, для каолинитовой – на 8%, для полиминеральной – на 15% на каждые 20 °C увеличения температуры исходной жидкости.

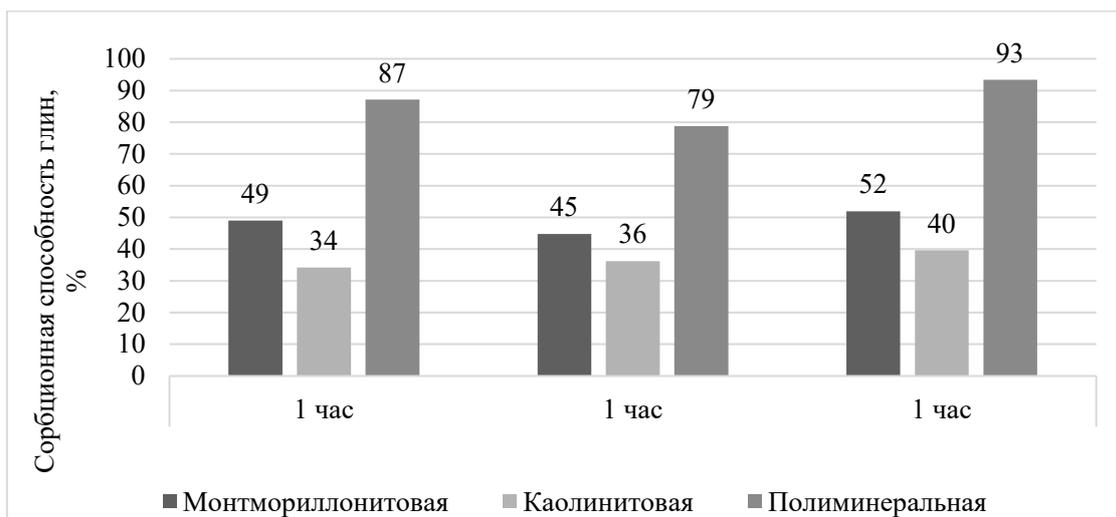


Рис. 6. Диаграмма изменения сорбционной способности глин после 1 часа сорбции (иллюстрация авторов) в зависимости от изменения температуры исходной воды  
Fig. 6. Diagram of the change in the sorption capacity of clays after 1 hour of sorption depending on the change of source water temperature (illustration by the authors)

При этом, стоит отметить незначительное снижение сорбционной способности монтмориллонитовой и полиминеральной глин при температуре 40 °С, в то время, как для каолинитовой глины наблюдается равномерное повышение сорбционной способности при увеличении температуры на каждые 20 °С. Данный факт коррелирует с данными, приведенными в таблице 1, где наблюдается снижение рН растворов для данных типов глин, в то время, как снижение рН для каолинитовой глины не отражается на уменьшении ее сорбционной способности.

Однако сорбционная способность с течением времени (с 30 минут до 1 часа контакта) уменьшается в среднем на 8-10% для всех глин.

Полученные положительные результаты позволяют заключить о целесообразности дальнейшего изучения сорбционных процессов полиминеральных глин, и при надлежащем теоретическом изучении, о возможности их дальнейшего использования для создания нового спектра сорбционных материалов в широких промышленных масштабах для очистки как природных, так и сточных вод от ионов железа.

Результаты экспериментов, описанные в статье, подтверждаются работами авторов [10,14] и могут служить основой для дальнейших разработок сорбционных материалов на основе природных алюмосиликатов для очистки сточных и природных вод от ионов железа Fe (+3), а также увеличения номенклатуры последних на основе местного сырья, что позволит не только достигать необходимую эффективность очистки как природных, так и сточных вод, но и сократить технологические затраты.

#### 4. Заключение

В результате анализа результатов экспериментальных исследований можно заключить, следующее:

- при возрастании температуры исходной жидкости на каждые 20 °С сорбционная способность глинистых материалов увеличивается в среднем на 5% через 30 минут продолжительности контакта сорбат- сорбент.
- при увеличении времени контакта сорбат-сорбент до 60 мин при возрастании температуры исходной жидкости на каждые 20 °С сорбционная способность глинистых материалов увеличивается в среднем на 8-15%, однако, она становится меньше по сравнению с сорбционной способностью тех же материалов после 30 минутного сорбционного контакта.
- наибольшей сорбционной способностью при этом для всех исследуемых температур обладает полиминеральная глина.

- вместе с увеличением сорбционной способности рН растворов также увеличивается, смещаясь при этом в сторону щелочной реакции, что возможно свидетельствует о наличии в растворе амфотерных ионов алюминия, способных образовать слабое основание – гидроксид алюминия, диссоциирующее в свою очередь в растворе на гидроксид ион и ионы алюминия.

### Список литературы/ References

1. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. World Health Organization: Geneva, Switzerland. 2022. 614 p.
2. Муллагалиев А.Р., Бусарев А.В., Шешегова И.Г. К вопросу удаления бора из природных вод // В сборнике: Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. Материалы XII Национальной конференции с международным участием. Саратов, 2022. С. 65-68. Mullagaliyev A.R., Busarev A.V., Sheshegova I.G. On the issue of boron removal from natural waters // In the collection: Current problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply, and energy supply. Proceedings of the XII National Conference with international participation. Saratov, 2022. P. 65-68.
3. Кормош Е.В., Алябьева Т.М., Швецова М.Ж., Рябцева Н.Н., Понамарева В.Е., Догаева Л.А. Обогащение природных монтмориллонит содержащих глин для разработки высокоэффективного наносорбента // Успехи современного естествознания. 2024. № 5. С. 98-103. DOI 10.17513/use.38272. Kormosh E.V., Alyabyeva T.M., Shvetsova M.Zh., Ryabtseva N.N., Ponamareva V.E., Dogayeva L.A. Enrichment of natural montmorillonite-containing clays for the development of a highly effective nanosorbent // Advances in modern natural science. 2024. No. 5. P. 98-103. DOI 10.17513/use.38272.
4. Rashid R., Shafiq I., Akhter P. et al. A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method // Environ Sci Pollut Re. 2021. No. 28. P. 9050–9066. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12395-x>.
5. Данилова Г.Н., Горелова Е.И. Экологическая оценка природных и сточных вод и их сорбционная очистка от соединений тяжелых металлов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2020. № 2 (15). С. 140-144. Danilova G.N., Gorelova E.I. Environmental assessment of natural and waste waters and their sorption purification from heavy metal compounds // Technologies and commodity science of agricultural products. 2020. No. 2 (15). P. 140-144.
6. Al-Sahari, M., Al-Gheethi A.A.S., Radin Mohamed, R.M.S. Natural coagulants for wastewater treatment; A review for application and mechanism // In Prospects of fresh market wastes management in developing countries. Springer. 2020. P. 17–31. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42641-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42641-5_2).
7. Качалова Г. С. Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод. Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2(78). С. 32-39. DOI 10.23968/2305-3488.2019.24.2.32-39. Kachalova G.S. Coagulation and sorption treatment of wastewater // Water and ecology: problems and solutions. 2019. No. 2 (78). P. 32-39.
8. Каныгина О.Н., Кушнарёва О.П., Бабичева В.А., Лялюкова Т.О., Салавьева В.А. Адсорбционная активность природных глин Оренбургской области // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24. № 4. С. 530-541. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12411> Kanygina O.N., Kushnareva O.P., Babicheva V.A., Lyalyukova T.O., Salavyeva V.A. Adsorption capacity of natural clays of the Orenburg Region. Sorption and chromatographic processes. 2024. Vol. 24. No. 4. P. 530-541. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12411>
9. Саидов Б. Ю. у., Алимов У. К., Ахмаджонов А. Н. у. Вопрос о перспективности применения бентонитовой глины в качестве сорбента для очистки различных видов растворов. Краткий обзор // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. 2020. Т. 1, № 1. С. 23-30. – DOI 10.24412/2181-144X-2020-1-23-30.

- Saidov B.Yu.u., Alimov U.K., Akhmadzhonov A.N.u. The question of the prospects of using bentonite clay as a sorbent for the purification of various types of solutions. Brief overview // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. 2020. Vol. 1, No. 1. P. 23-30. DOI 10.24412/2181-144X-2020-1-23-30
10. Адизова Ш.Т., Амонов М.Р. Сорбционные характеристики химически модифицированного бентонита // Universum: технические науки. 2024. № 6-4(123). С. 24-29  
Adizova Sh.T., Amonov M.R. Sorption characteristics of chemically modified bentonite // Universum: technical sciences. 2024. No. 6-4 (123). P. 24-29
11. Дудина С. Н. Модифицирование сорбентов на основе природных глинистых материалов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 24 (167). С. 131-134.  
Dudina, S.N. Modification of sorbents based on natural clay materials // Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences. 2013. No. 24(167). P. 131-134
12. Borah D, Nath H, Saikia H. Modification of bentonite clay and its applications: a review // Rev Inorg Chem. 2022. No. 42(3). P. 265–282.
13. Khan S., Ajmal S., Hussain T., Rahman M. Clay-based materials for enhanced water treatment: adsorption mechanisms, challenges, and future directions. J Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences. 2023. <https://doi.org/10.1007/s43994-023-00083-0>.
14. Gil A., Santamaría L., Korili S., Vicente M., Barbosa L., De Souza S., Marçal L., De Faria E., Ciuffi K. A review of organic-inorganic hybrid clay based adsorbents for contaminants removal: Synthesis, perspectives and applications // Gil A., Santamaría L., Korili S., Vicente M., Barbosa L., De Souza S., Marçal L., De Faria E., Ciuffi K. A review of organic-inorganic hybrid clay based adsorbents for contaminants removal: Synthesis, perspectives and applications // Environ Chem Eng. 2021. No. 9(5).
15. Agayeva Z.R., Bayramova S.S., Rafiyeva H.I., Gahramanova Y.B., Kazimova E.M., Piyasova Kh.N. The use of aluminosilicate clays as sorbents in the purification of media from heavy metal ions // Azerbaijan Chemical Journal. 2022. No. 2. P. 100-106. DOI 10.32737/0005-2531-2022-2-100-106.
16. Пимнева Л. А. Использование природных глин в качестве сорбентов для очистки природных и сточных вод // Успехи современного естествознания. 2023. № 7. С. 103-108. DOI 10.17513/use.38078.  
Pimneva L.A. The use of natural clays as sorbents for the purification of natural and waste waters // Advances in modern natural science. 2023. No. 7. P. 103-108. DOI 10.17513/use.38078
17. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Ожован М.И. Строительные материалы в иммобилизации радиоактивных отходов и защите от радиации. Санкт-Петербург: Лань, 2025. 256 с.  
Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Ozhovan M.I. Construction materials for immobilization of radioactive waste and radiation protection. St. Petersburg: Lan, 2025. 256 p.

#### Информация об авторах

**Елизавета Юрьевна Ермилова**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: 447-7@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8091-4851

**Мухамадьярова Кристина Федоровна**, инженер, ГУП "Татинвестгражданпроект", г. Казань, Российская Федерация

E-mail: kristinamuhamadara@gmail.com

**Гайфуллина Азалия Альбертовна**, инженер, ООО «РС-КОНЦЕПТ», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: azaliyagn@yandex.ru

**Information about the authors**

**Elizaveta Yu. Ermilova**, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: 447-7@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8091-4851

**Kristina F. Mukhamadyarova**, engineer, State Unitary Enterprise “Tatinvestgrazhdanproekt”, Kazan, Russian Federation

**Azalia A. Gaifullina**, engineer, LLC “RS-CONCEPT”, Kazan, Russian Federation.

*Дата поступления: 23.06.2025*

*Дата принятия: 25.12.2025*