





Использование высокодисперсных модифицированных алюмосиликатных адсорбентов в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод

Алексей В. Свиридов	¹	asv1972@mail.ru	 0000-0002-4869-5855
Владимир В. Юрченко	¹	navijoy@inbox.ru	 0000-0003-2905-569X
Ильдар К. Гиндулин	¹	gindulinik@m.usfeu.ru	 0000-0002-4057-7846
Мария С. Рощина	¹	roshinams@m.usfeu.ru	 0000-0001-9991-4467

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема обработки и очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. На сегодняшний день многие очистные сооружения не имеют реагентной системы очистки и ограничиваются только механическими и биологическими методами обработки воды. Нами рассмотрена возможность применения новой схемы реагентной очистки бытовых сточных вод. Существующая реагентная обработка на очистных сооружениях не всегда справляется с задачами подготовки воды. Не удается достигнуть требуемых значений по многим показателям: ХПК, остаточное содержание фосфатов, остаточное содержание железа и т.д. Исследуемая вода обрабатывалась традиционными коагулянтами (хлорид железа и сульфат алюминия) и новыми высокодисперсными модифицированными алюмосиликатными адсорбентами марки КС. В качестве подщелачивающих реагентов использовались известь и щелочь. Особенностью реагентов марки КС является их высокая коагуляционно-адсорбционная активность по отношению к извлекаемым компонентам. Это обусловлено высокой активностью модификаторов на поверхности алюмосиликатной матрицы. В процессе исследования проводился коагуляционно-флокуляционный эксперимент. В процессе очистки воду исследовали на остаточное содержание различных компонентов: pH, фосфаты, азот аммонийный, хлориды, железо. Установлены эффективные дозировки для каждого из использованных реагентов и показана возможность применения реагентов для обработки бытовых сточных вод до требуемых нормативов. Традиционные реагенты показали недостаточную эффективность при обработке сточных вод. При использовании хлорида железа и сульфата алюминия не удается снизить содержание фосфатов до требуемых значений. Для реагента марки КС эффективная доза составила 40 мг/дм³ с совместным применением извести с дозой 30 мг/дм³.

Ключевые слова: коагулянты, адсорбенты, процессы очистки, сточные воды, модифицированные алюмосиликаты.

The use of high-fine modified aluminosilicate adsorbents in the processes of purification of household waste water

Alexey V. Sviridov	¹	asv1972@mail.ru	 0000-0002-4869-5855
Vladimir V. Iurchenko	¹	navijoy@inbox.ru	 0000-0003-2905-569X
Ildar K. Gindulin	¹	gindulinik@m.usfeu.ru	 0000-0002-4057-7846
Maria S. Roschina	¹	roshinams@m.usfeu.ru	 0000-0001-9991-4467

¹ Ural State Forest Engineering University. 620100, RF, Ural Federal District, Sverdlovsk Region, Yekaterinburg, Siberian tract, 37

Abstract. The article deals with the problem of treatment and purification of domestic waste water. Today, many treatment facilities do not have a reagent treatment system and are limited only by mechanical and biological methods of water treatment. We have considered the possibility of using a new scheme for reagent treatment of domestic wastewater. The existing reagent treatment at treatment facilities does not always cope with the tasks of water treatment. It is not possible to achieve the required values for many indicators: COD, residual phosphate content, residual iron content, etc. The water under study was treated with traditional coagulants (iron chloride and aluminum sulfate) and new highly dispersed modified aluminosilicate adsorbents of the KS brand. Lime and alkali were used as alkalinizing reagents. A feature of KS grade reagents is their high coagulation-adsorption activity in relation to the extracted components. This is due to the high activity of modifiers on the surface of the aluminosilicate matrix. In the course of the study, a coagulation-flocculation experiment was carried out. During the purification process, the water was examined for the residual content of various components: pH, phosphates, ammonium nitrogen, chlorides, and iron. Effective dosages have been established for each of the reagents used and the possibility of using reagents for the treatment of domestic wastewater to the required standards has been shown. Traditional reagents have shown insufficient efficiency in wastewater treatment. When using iron chloride and aluminum sulfate, it is not possible to reduce the phosphate content to the required values. For the KS reagent, the effective dose was 40 mg / dm³ with the combined use of lime at a dose of 30 mg/dm³.

Keywords: coagulants, adsorbents, purification processes, wastewater, modified aluminosilicates

Для цитирования

Свиридов А.В., Юрченко В.В., Гиндулин И.К., Рощина М.С. Использование высокодисперсных модифицированных алюмосиликатных адсорбентов в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 274–279. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-274-279

For citation

Sviridov A.V., Iurchenko V.V., Gindulin I.K., Roschina M.S. The use of high-fine modified aluminosilicate adsorbents in the processes of purification of household waste water. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 274–279. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-274-279

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Очистка бытовых сточных вод а тем более канализационных сточных вод является важной задачей для городского хозяйства [1–8]. Городские сточные воды, как правило, сбрасываются по течению ниже санитарной границы города. Такое решение продиктовано санитарно-эпидемиологическими нормами. Однако это не означает, что сточные воды не требуется обрабатывать должным образом. В такой воде нормируется большое количество различных параметров. Очистка бытовых городских вод сложный

комплексный физико-химический процесс. В городских очистных сооружениях находят применение механические [4, 7], реагентные [3, 6] и биологические методы очистки [2].

Одним из важных этапов водоочистки бытовых стоков является реагентная очистка [3, 6].

На очистных сооружениях исследуемого объекта существует проблема реагентной обработки сточных вод. Существующая схема коагуляции и флокуляции не позволяет достичь необходимого уровня очистки. Требования к сбрасываемой воде представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Разрешение на эмиссию 2019 год

Table 1.

Issue permit 2019

Вещество, мг/дм ³ Substance, mg/ml	р. Есиль Yesil river	Карабедияк Karabediak	Карабедияк (в период паводков) Karabediak (during the flood period)	Требования Requirements
БПКпол BOD	6,0	13,013	13,013	6
ХПК COD	30,0	86,75	86,75	30
Взвешенные вещества Suspended solids	13,35	17,69	17,69	
Хлориды Chlorides	346,33	389,25	389,25	350
Полифосфаты Polyphosphates	3,23	3,49	3,49	3,5
Азот аммонийный Ammonium nitrogen	1,92	12,16	12,16	2
Нитраты Nitrates	43,65	32,88	32,88	45
Нитриты Nitrite	3,07	1,21	1,21	3,3
Железо общее Total iron	0,28	0,49	0,49	0,3
Нефтепродукты Petroleum products	0,1	0,31	0,31	0,1
СПАВ SPAS	0,37	0,50	0,50	0,5
Сульфаты Sulfates	406,33	323,25	323,25	500
Фториды Fluorides	1,2	1,2	1,2	1,2
Марганец Manganese	0,1	0,1	0,1	0,1

В рамках представленной работы изучено воздействие различных реагентов на эффективность очистки бытовых сточных вод.

Реагентная обработка является важным этапом водоочистки, так как после него, вода поступает на биологические очистные сооружения с применением активного ила. Снижение содержания железа, взвешенных веществ, нефтепродуктов позволяют снизить нагрузку и проводить процесс биологической очистки в стационарном режиме [3–5].

Материалы и методы

В процессе выбора эффективной схемы реагентной обработки очищаемой воды были использованы традиционные коагулянты в сочетании с подщелачивающими агентами, а также применен высокодисперсный модифицированный алюмосиликат марки КС.

Реагенты КС представляют из себя модифицированные высокодисперсные алюмосиликаты. В качестве алюмосиликатов выступают бентонитовые глины, а в качестве модификаторов

могут выступать различные прекурсоры органической и неорганической природы [9–20]. Для реагентов марки КС в качестве прекурсоров выступают соли алюминия.

Методика проведения экспериментов заключалась в дозировании реагентов совместно с регулированием оптимальной величины pH в обрабатываемой воде. Процесс осуществляли на лабораторном флокуляторе. Схема установки изображена на рисунке 1.

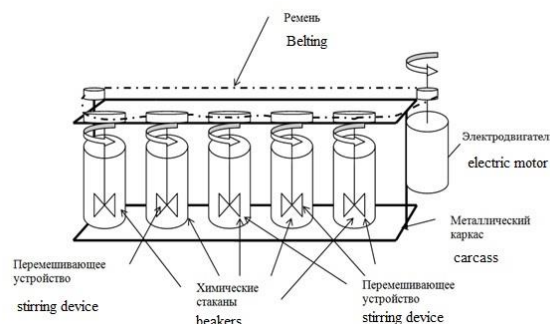


Рисунок 1. Миксер лабораторный

Figure 1. Laboratory mixer

Конструкция данной установки позволяет изменять гидродинамические параметры процессов смешивания сорбентов с растворами, продолжительность процесса адсорбции и интенсивность перемешивания.

Интенсивность перемешивания характеризуется градиентом смешивания (G) реагентов с водой и изменяется от 350 с^{-1} до $15\text{--}20 \text{ с}^{-1}$. Данная установка позволяет изучать процесс сорбции, моделируя процессы, происходящие в реальных аппаратах: продолжительность и интенсивность смешивания, хлопьеобразования, отстаивания и центрифугирования. На данной установке подбираются оптимальные режимы для проектирования реальных аппаратов.

Реагенты дозировались в водный раствор в различных концентрациях ($20\text{--}80 \text{ мг/дм}^3$) при различных уровнях pH, для нахождения эффективной дозировки.

Для обработки водных растворов алюмосиликатными адсорбентами протекает следующий процесс. Обработка водных растворов состоит из следующих стадий. На первой стадии процесса сухой мелкоизмельченный модифицированный порошок алюмосиликата затворяется в воде и создается 5% суспензия сорбента. Именно в суспензии под действием модификаторов и затворной воды происходит самопроизвольное диспергирование частиц сорбента до мельчайших размеров в несколько десятков нанометров. За счет существования разноименных зарядов (отрицательного на поверхности частиц и положительного на боковых гранях) отдельные частицы притягиваются друг к другу и формируют единую гелеобразную структуру. Время затворения суспензии сорбентов, необходимое для полного перехода частиц в высокодисперсное состояние составляет $22\text{--}24$ часа [9, 10].

Второй стадией процесса является дозирование реагентов в водные растворы. Наличие двух указанных выше факторов – высокого поверхностного заряда и ослабления сил взаимодействия между частицами – способствует самопроизвольному переходу частиц сорбента из гелеобразного

состояния в состояние отдельных нанокластеров при дозировании в очищаемую воду.

Равномерное распределение наносорбента в объеме обрабатываемой воды инициирует стадии адсорбции и образования малорастворимых соединений на поверхности частиц. При этом происходит самопроизвольное снижение отрицательного заряда поверхности нанокластеров (вплоть до изoeлектрического состояния) за счет смещения адсорбционного равновесия и перехода модификаторов – стабилизаторов поверхности в электронеutralную форму.

Заключительной стадией процесса очистки воды является активная взаимная гетерокоагуляция утративших поверхностный заряд наночастиц с ионами металлов, их гидроксидами и комплексными соединениями. Формирующиеся при этом крупные хлопья, включающие в себя загрязняющие компоненты, легко удаляются из системы методом отстаивания.

Последовательные стадии процесса очистки воды при помощи алюмосиликатных сорбентов приведены на рисунке 2



Рисунок 2. Стадии распределения (1), адсорбции (2), хлопьеобразования (3) и осаждения (4) при очистке воды алюмосиликатным сорбентом

Figure 2. Stages of distribution (1), adsorption (2), flocculation (3) and precipitation (4) during water purification with an aluminosilicate sorbent

Схема реагентной обработки водных растворов представлена в таблице 2.

Результаты

В результате обработки сточной воды коагулянтами были получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 2.

Дозы реагентов для обработки воды

Table 2.

Doses of reagents for water treatment

Реагент	Доза, мг/дм^3 , с применением извести Dose, mg/dm^3 , with lime application			Доза, мг/дм^3 с применением щелочи Dose, mg/dm^3 with alkali application		
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	20	40	60	20	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	20
Известь Lime	10	20	30	10	Известь	10
FeCl_3	20	40	60	20	FeCl_3	20
Известь Lime	20	30	40	20	Известь	20
КС	20	40	60	20	КС	20
Известь Lime	20	30	40	20	Известь	20

Таблица 3.

Обработка сточной воды реагентом совместно с известью

Table 3.

Waste water treatment with reagent with lime

Показатель Indicator	Исходная вода Water	норма norm	Al ₂ (SO ₄) ₃ + Известь, мг/дм ³ + Lime, mg/dm ³		FeCl ₃ + Известь, мг/дм ³ + Lime, mg/dm ³				КС + Известь, мг/дм ³ + Lime, mg/dm ³		
			20	40	60	20	40	60	20	40	60
			10	20	30	10	20	30	10	20	30
pH	7,00	6–9	7,20	7,60	7,75	7,20	7,60	7,75	8,14	8,20	8,35
Фосфаты, мг/дм ³ Phosphates, mg/dm ³	7,67	0,70	2,25	1,75	1,35	2,05	1,55	1,05	1,25	0,65	0,55
Азот амм., мг/дм ³ Ammonia nitrogen, mg/dm ³	2,25	1,92	1,70	1,45	1,32	1,50	1,25	1,12	1,58	1,32	1,03
Хлориды, мг/дм ³ Chlorides, mg/dm ³	284	346,33	280	283	279	280	283	279	270	270	279
ХПК, мг/дм ³ COD, mg/dm ³	32,9	30,0	20,2	19,1	17,2	21,2	19,1	17,8	21,2	19,5	18,2
Железо, мг/дм ³ Fe, mg/dm ³	0,52	0,28	0,36	0,23	0,19	0,36	0,30	0,28	0,32	0,25	0,21

Результаты очистки сточной воды реагентами с применением щелочи имеют схожую картину и не представлены.

Стоит отметить, что применение щелочи в процессах очистки воды технологически легче, однако известь на много более дешевый реагент. Построение технологии очистки с применением извести более перспективно, так как известь возможно применять при обработке образующихся осадков.

Обсуждение

Сульфат алюминия плохо снижает содержание фосфатов, так как при его использовании требуется меньше извести. Ионы Са эффективнее связывают ортофосфат ионы. Применение большего количества подщелачивающего агента приведет к увеличению значений pH в обрабатываемом растворе и снижению эффективности работы сульфата алюминия. Сульфат алюминия наиболее эффективно работает при значениях pH раствора 7–8.

Хлорид железа показал свою слабую эффективность при снижении фосфатов и остаточного содержания железа в обрабатываемой воде.

Реагент КС наиболее эффективно очищает сточную воду по сравнению с традиционными коагулянтами. Это достигается за счет высоких адсорбционно-коагуляционных характеристик используемого реагента. В результате проведенных исследований установлено, что эффективная доза реагента КС составляет 40 мг/дм³, а доза извести 30 мг/дм³.

Заключение

В результате проделанной работы установлено, что модернизацию реагентной схемы обработки сточных вод на очистных сооружениях возможно организовать с применением реагента КС созданного на основе высокодисперсных модифицированных алюмосиликатов. Установлено, что эффективная доза реагента составляет 40 мг/дм³ с совместным применением извести в количестве 30 мг/дм³.

Применение реагента КС позволяет добиться требований по качеству очищенной воды (таблица 6).

Литература

- 1 Пупырев Е.И. Системный анализ сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 3. С. 18–23. doi: 10.18412/1816-0395-2016-3-18-23
- 2 Степанов А.С., Самсонова А.А. Конструкция установок биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью 5–100 МЗ/сут // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. Самара: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный архитектурно-строительный университет", 2016. С. 267–270.
- 3 Бикзинурова А.Р. Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод от сульфатов и хлоридов // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2017. № 11. С. 103–105.
- 4 Макурина К.А. Очистка бытовых сточных вод // Аллея науки. 2017. Т. 2. № 11. С. 335–338.
- 5 Князева А.Н. Анализ эффективности очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод на примере очистных сооружений города Оренбурга // Экология и рациональное природопользование: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Ярославль, 12–16 сентября 2017 года. Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2017. С. 99–102.


- 6 Гришин Б.М., Бикунова М.В., Шейн А.И., Титов Е.А. Оценка эффективности очистки хозяйственно-бытовых сточных вод катионными флокулянтами // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 1(36). С. 129–135.
- 7 Бижанов А.Т. Анализ эффективности очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на примере города Яровое // Актуальные тенденции и инновации в развитии российской науки: сборник научных статей. Москва: Издательство "Перо", 2018. С. 79–85.
- 8 Шувалов М.В. Традиции и инновации в поиске рациональных технологических решений по отведению и очистке хозяйственно-бытовых сточных вод // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей, электронный ресурс. Самара: Самарский государственный технический университет, 2018. С. 315–320.
- 9 Свиридов А.В., Никифоров А.Ф., Ганебных Е.В., Елизаров В.А. Очистка сточных вод от меди природным и модифицированным монтмориллонитом // Водное хозяйство России, 2011. № 1. С. 58–65.
- 10 Ганебных Е.В., Свиридов А.В., Мальцев Г.И. Извлечение цинка из растворов высокодисперсными модифицированными алюмосиликатами // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. Т. 23. № 1. С. 89–95.
- 11 Ali I., Kon'kova T., Kasianov V., Rysev A. et al. Preparation and characterization of nano-structured modified montmorillonite for dioxidine antibacterial drug removal in water // Journal of Molecular Liquids. 2021. V. 331. P. 115770. doi: 10.1016/j.molliq.2021.115770
- 12 Tokarčíková M., Bardoňová L., Seidlerová J., Drobíková K. et al. Magnetically modified montmorillonite-characterisation, sorption properties and stability // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 37. P. 48–52. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.721
13. Cao X. et al. CuFe₂O₄ supported on montmorillonite to activate peroxymonosulfate for efficient ofloxacin degradation // Journal of Water Process Engineering. 2021. V. 44. P. 102359.
- 14 Wu S. et al. Effect of γ -Fe₂O₃ nanoparticles on the composition of montmorillonite and its sorption capacity for pyrene // Science of The Total Environment. 2021. P. 151893.
- 15 Wang J. et al. Impact of montmorillonite clay on the homo- and heteroaggregation of titanium dioxide nanoparticles (nTiO₂) in synthetic and natural waters // Science of The Total Environment. 2021. V. 784. P. 147019.
- 16 Li Q., Li R., Shi W. Cation adsorption at permanently (montmorillonite) and variably (quartz) charged mineral surfaces: Mechanisms and forces from subatomic scale // Applied Clay Science. 2021. V. 213. P. 106245.
- 17 Yotsuji K. et al. Effect of interlayer cations on montmorillonite swelling: Comparison between molecular dynamic simulations and experiments // Applied Clay Science. 2021. V. 204. P. 106034.
- 18 Du X. et al. Adsorption of CH₄, N₂, CO₂, and their mixture on montmorillonite with implications for enhanced hydrocarbon extraction by gas injection // Applied Clay Science. 2021. V. 210. P. 106160.
- 19 Pei H., Zhang S. Molecular dynamics study on the zeta potential and shear plane of montmorillonite in NaCl solutions // Applied Clay Science. 2021. V. 212. P. 106212.
- 20 Qin C. et al. Physicochemical properties, metal availability and bacterial community structure in heavy metal-polluted soil remediated by montmorillonite-based amendments // Chemosphere. 2020. V. 261. P. 128010.


References


- 1 Pupyrev E.I. System analysis of treatment facilities for domestic waste water. Ecology and Industry of Russia. 2016. vol. 20. no. 3. pp. 18–23. doi: 10.18412/1816–0395–2016–3–18–23 (in Russian).
- 2 Stepanov A.S., Samsonova A.A. Design of biological treatment plants for domestic wastewater with a capacity of 5–100 m³/day. Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies: collection of articles. Samara, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Samara State University of Architecture and Civil Engineering", 2016. pp. 267–270. (in Russian).
- 3 Bikzinurova A.R. Purification of household waste water from sulfates and chlorides. Proceedings of conferences of the Scientific Research Center Sociosphere. 2017. no. 11. pp. 103–105. (in Russian).
- 4 Makurina K.A. Domestic waste water treatment. Science Alley. 2017. vol. 2. no. 11. pp. 335–338. (in Russian).
- 5 Knyazeva A.N. Analysis of the efficiency of treatment of domestic and industrial wastewater on the example of treatment facilities in the city of Orenburg. Ecology and rational use of natural resources: materials of the All-Russian scientific and practical conference, Yaroslavl, September 12–16, 2017 of the year. Yaroslavl, Yaroslavl State University named after P.G. Demidova, 2017. pp. 99–102. (in Russian).
- 6 Grishin B.M., Bikunova M.V., Shein A.I., Titov E.A. Evaluation of the efficiency of household waste water treatment with cationic flocculants. Regional architecture and construction. 2018. no. 1 (36). pp. 129–135. (in Russian).
- 7 Bizhanov A.T. Analysis of the efficiency of treatment of domestic wastewater on the example of the city of Yarovoe. Actual trends and innovations in the development of Russian science: Collection of scientific articles. Moscow, Publishing house "Pero", 2018. pp. 79–85. (in Russian).
- 8 Shuvalov M.V. Traditions and innovations in the search for rational technological solutions for the disposal and treatment of domestic wastewater. Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies: collection of articles, electronic resource. Samara, Samara State Technical University, 2018. pp. 315–320. (in Russian).
- 9 Sviridov A.V., Nikiforov A.F., Ganebnykh E.V., Elizarov V.A. Wastewater treatment from copper with natural and modified montmorillonite. Water Industry of Russia. 2011. no. 1. pp. 58–65. (in Russian).
- 10 Ganebnykh E.V., Sviridov A.V., Maltsev G.I. Extraction of zinc from solutions by highly dispersed modified aluminosilicates. Chemistry for Sustainable Development. 2015. vol. 23. no. 1. pp. 89–95. (in Russian).
- 11 Ali I., Kon'kova T., Kasianov V., Rysev A. et al. Preparation and characterization of nano-structured modified montmorillonite for dioxidine antibacterial drug removal in water. Journal of Molecular Liquids. 2021. vol. 331. pp. 115770. doi: 10.1016/j.molliq.2021.115770


- 12 Tokarčíková M., Bardoňová L., Seidlerová J., Drobíková K. et al. Magnetically modified montmorillonite-characterisation, sorption properties and stability. *Materials Today: Proceedings*. 2021. vol. 37. pp. 48-52. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.721
- 13 Cao X. et al. CuFe₂O₄ supported on montmorillonite to activate peroxydisulfate for efficient ofloxacin degradation. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. vol. 44. pp. 102359.
- 14 Wu S. et al. Effect of γ -Fe₂O₃ nanoparticles on the composition of montmorillonite and its sorption capacity for pyrene. *Science of The Total Environment*. 2021. pp. 151893.
- 15 Wang J. et al. Impact of montmorillonite clay on the homo-and heteroaggregation of titanium dioxide nanoparticles (nTiO₂) in synthetic and natural waters. *Science of The Total Environment*. 2021. vol. 784. pp. 147019.
- 16 Li Q., Li R., Shi W. Cation adsorption at permanently (montmorillonite) and variably (quartz) charged mineral surfaces: Mechanisms and forces from subatomic scale. *Applied Clay Science*. 2021. vol. 213. pp. 106245.
- 17 Yotsuji K. et al. Effect of interlayer cations on montmorillonite swelling: Comparison between molecular dynamic simulations and experiments. *Applied Clay Science*. 2021. vol. 204. pp. 106034.
- 18 Du X. et al. Adsorption of CH₄, N₂, CO₂, and their mixture on montmorillonite with implications for enhanced hydrocarbon extraction by gas injection. *Applied Clay Science*. 2021. vol. 210. pp. 106160.
- 19 Pei H., Zhang S. Molecular dynamics study on the zeta potential and shear plane of montmorillonite in NaCl solutions. *Applied Clay Science*. 2021. vol. 212. pp. 106212.
- 20 Qin C. et al. Physicochemical properties, metal availability and bacterial community structure in heavy metal-polluted soil remediated by montmorillonite-based amendments. *Chemosphere*. 2020. vol. 261. pp. 128010.

Сведения об авторах

Алексей В. Свиридов к.т.н., доцент, кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия, asv1972@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4869-5855>

Владимир В. Юрченко ст. преподаватель, кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия, navijoy@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2905-569X>

Ильдар К. Гиндулин к.т.н., доцент, кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия, gindulinik@m.usfeu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4057-7846>

Мария С. Рощина магистрант, инженер, кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия, roshinams@m.usfeu.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9991-4467>


Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат


Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Alexey V. Sviridov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of wood, biotechnology and nanomaterials department, Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russia, asv1972@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4869-5855>

Vladimir V. Iurchenko senior lecturer, chemical technology of wood, biotechnology and nanomaterials department, Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russia, navijoy@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2905-569X>

Ildar K. Gindulin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of wood, biotechnology and nanomaterials department, Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russia, gindulinik@m.usfeu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4057-7846>

Maria S. Roschina master student, engineer, chemical technology of wood, biotechnology and nanomaterials department, Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russia, roshinams@m.usfeu.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9991-4467>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/10/2021	После редакции 16/11/2021	Принята в печать 03/12/2021
Received 25/10/2021	Accepted in revised 16/11/2021	Accepted 03/12/2021