

## Разработка сорбционного материала на основе модифицированных алюмосиликатов с высокой адсорбционной способностью по отношению к сероводороду

|                         |              |                                                                  |                                                                                                         |
|-------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Алексей В. Свиридов     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:asv1972@mail.ru">asv1972@mail.ru</a>             |  0000-0002-4869-5855 |
| Владимир В. Юрченко     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:navijoy@inbox.ru">navijoy@inbox.ru</a>           |  0000-0003-2905-569X |
| Ильдар К. Гиндулин      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:gindulnik@m.usfeu.ru">gindulnik@m.usfeu.ru</a>   |  0000-0002-4057-7846 |
| Екатерина А. Каменченко | <sup>1</sup> | <a href="mailto:katya.patrick@mail.ru">katya.patrick@mail.ru</a> |  0000-0002-5194-8374 |

<sup>1</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия

**Аннотация.** В работе рассмотрена возможность применения высокодисперсных модифицированных алюмосиликатов в процессе извлечения сероводорода из сточных вод. Проблема наличия сероводорода в природных водах обусловлена невозможностью применения таких вод в хозяйственно-бытовой деятельности человека. Вода с высоким содержанием сероводорода обладает низкими органолептическими свойствами, не пригодна для употребления и обладает высокой коррозионной активностью. Подтоварная вода, образующаяся в процессе нефтедобычи, так же должна быть обработана. При наличии сероводорода в подтоварной воде крайне не рекомендуется дальнейшая закачка воды в пласт, так как это может привести к «закупориванию» нефтеносных каналов. В связи с этим в работе предложен способ извлечения сероводорода из природных и сточных вод. В работе синтезирован новый адсорбционно-коагуляционный материал на основе модифицированных алюмосиликатов (бентонитовых глин) с помощью солей многовалентных металлов. Рассмотрена возможность создания реагента с различным соотношением алюмосиликатной матрицы: модификатор. Установлено, что эффективность работы реагента увеличивается с повышением pH среды. Изучалась активность реагента по отношению к сероводороду, осветлению и удалению нефтепродуктов. Емкость полученных в результате модификации реагентов может достигать 32 мг/г по сероводороду. В реагенте возможно варьировать соотношение алюмосиликатов и модификаторов, что может способствовать использованию наиболее эффективного реагента в зависимости от условий. Реагент способен извлекать не только сероводород, но и нефтепродукты из обрабатываемых водных растворов. Реагент связывает сероводород в нерастворимые формы после чего осадок возможно отделить от раствора и утилизировать.

**Ключевые слова:** коагулянты, адсорбция, очистка воды, модифицированные алюмосиликаты, сероводород

## Development of sorption material based on modified aluminosilicates with high adsorption ability to hydro sulfur.

|                          |              |                                                                  |                                                                                                           |
|--------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alexey V. Sviridov       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:asv1972@mail.ru">asv1972@mail.ru</a>             |  0000-0002-4869-5855 |
| Vladimir V. Yurchenko    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:navijoy@inbox.ru">navijoy@inbox.ru</a>           |  0000-0003-2905-569X |
| Ildar K. Gindulin        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:gindulnik@m.usfeu.ru">gindulnik@m.usfeu.ru</a>   |  0000-0002-4057-7846 |
| Ekaterina A. Kamenchenko | <sup>1</sup> | <a href="mailto:katya.patrick@mail.ru">katya.patrick@mail.ru</a> |  0000-0002-5194-8374 |

<sup>1</sup> Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russia

**Abstract.** The paper considers the possibility of using highly dispersed modified aluminosilicates in the process of extracting hydrogen sulfide from wastewater. The problem of the presence of hydrogen sulfide in natural waters is due to the impossibility of using such waters in human household activities. Water with a high content of hydrogen sulphide has low organoleptic properties, is not suitable for consumption and is highly corrosive. Produced water generated in the process of oil production must also be treated. In the presence of hydrogen sulphide in the produced water, further water injection into the reservoir is highly discouraged, as this can lead to "plugging" of oil-bearing channels. In this regard, the work proposes a method for extracting hydrogen sulfide from natural and waste waters. The work synthesized a new adsorption-coagulation material based on modified aluminosilicates (bentonite clays) using salts of multivalent metals. The possibility of creating a reagent with a different ratio of aluminosilicate matrix: modifier is considered. It was found that the efficiency of the reagent increases with an increase in the pH of the medium. The activity of the reagent in relation to hydrogen sulfide, clarification and removal of oil products was studied. The capacity of the reagents obtained as a result of the modification can reach 32 mg/g in terms of hydrogen sulfide. In the reagent, it is possible to vary the ratio of aluminosilicates and modifiers, which can facilitate the use of the most effective reagent, depending on the conditions. The reagent is capable of extracting not only hydrogen sulfide, but also oil products from the processed aqueous solutions. The reagent binds hydrogen sulfide into insoluble forms, after which the precipitate can be separated from the solution and disposed of.

**Keywords:** coagulants, adsorption, water treatment, modified aluminosilicates, hydrogen sulfide.

### Введение

Сероводород может содержаться как в природных, так и сточных водах. Часто при подготовке питьевой воды сероводород встречается в скважинной воде. По нормам СанПиН 2.1.3684–21 [1] содержание сероводорода в питьевой воде не должно превышать 0,003 мг/л.

Для цитирования

Свиридов А.В., Юрченко В.В., Гиндулин И.К., Каменченко Е.А. Разработка сорбционного материала на основе модифицированных алюмосиликатов с высокой адсорбционной способностью по отношению к сероводороду // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 232–237. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-232-237

For citation

Sviridov A.V., Yurchenko V.V., Gindulin I.K., Kamenchenko E.A. Development of sorption material based on modified aluminosilicates with high adsorption ability to hydro sulfur. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 232–237. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-232-237

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

и для российской федерации. Особенно остро эта проблема встает для обработки подтоварной воды [2–6]. В результате добычи нефти из скважины выкачивается водонефтяная эмульсия. Она поступает в РВС различного объема, где разделяется на сырую нефть, подтоварную воду и небольшую часть твердого осадка. Подтоварная вода затем очищается до требований ОСТ 39–225–88 [7]. В данном документе говорится, что для возможности закачать воду в пласт сероводород в ней должен отсутствовать.

В связи с вышесказанным существует необходимость разработки реагента для извлечения сероводорода из природных и сточных вод. Нами разработан адсорбционный материал на основе модифицированных алюмосиликатов

### Материалы и методы

Модификация исходного алюмосиликата сводилась к адсорбции модификатора на поверхности. В качестве алюмосиликатов использовались бентонитовые глины. На положительно заряженных ребрах, так и на межслоевом пространстве алюмосиликата происходит прочное закрепление модификаторов [8–20].

В качестве модификатора выбраны соли многовалентных металлов, так как эти соли встраиваются в алюмосиликатную структуру сорбента, и образует малорастворимые соединения с сульфид-ионами и сероводородом при pH от 6,5 до 8,5.

Модификацию сорбента проводили следующим образом: брали порошок алюмосиликата, производили смешение с растворами модификатора, затем отфильтровывали и просушивали при температуре 120 °С в течение 1 ч.

В ходе модификации алюмосиликата выбранными модификаторами наблюдалось изменение его физико-химических свойств (СОЕ, поверхностный заряд, межчастичное и гетерокоагуляционное взаимодействие). Сорбционная емкость природного алюмосиликата очень

мала и находится в пределах 22–32 мг сульфидов/г. В результате модификации эффективность реагента увеличивалась.

Нами получен опытный образец адсорбента для поглощения сероводорода. В результате применения реагента на модельных растворах получены зависимости, представленные на рисунк 1.

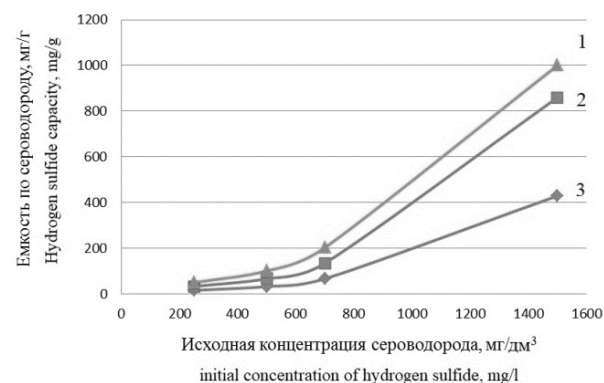


Рисунок 1. Изотермы адсорбции сероводорода на адсорбенте при различных значениях pH. 1. pH = 8,3; 2. pH = 7,8; 3. pH = 7,3

Figure 1. Isotherms of adsorption of hydrogen sulfide on an adsorbent at different pH values. 1. pH = 8,3; 2. pH = 7,8; 3. pH = 7,3

В ходе полученных экспериментальных данных установлено, что при значениях pH 7,3–8,3 сорбционная емкость увеличивается с ростом значения pH. Это связано с изменением форм сероводорода в растворе. При pH = 8,3 практически весь сероводород находится в виде гидросульфид-иона. Именно в форме гидросульфид-иона наблюдается наилучшее взаимодействие с алюмосиликатным адсорбентом.

В работе изучена возможность извлечения сероводорода сточных вод с помощью реагентов с разной долей модификатора. Содержание компонентов (алюмосиликатов и модификаторов) в реагенте представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Состав реагентов

Table 1.

Reagent composition

| Реагент<br>Reagent | Алюмосиликат<br>Aluminosilicate | Модификатор<br>Modifier | Общая концентрация<br>Total concentration |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| 1:2                | 50 г./л                         | 100 г./л                | 150 г./л                                  |
| 1:1                | 50 г./л                         | 50 г./л                 | 100 г./л                                  |
| 2:1                | 50 г./л                         | 25 г./л                 | 75 г./л                                   |

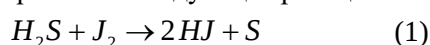
Обработка воды для извлечения сероводорода осуществлялась по следующей методике. В обрабатываемую воду вносилось различное количество реагента адсорбента-коагулянта совместно с флокулянт Pr-2500. На первой

стадии процесса осуществляли интенсивное перемешивание, с целью равномерного распределения реагента по объему раствора. Спустя 5 минут интенсивного перемешивания, скорость перемешивания уменьшали и продолжали процесс

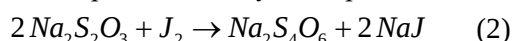
в течение 10 минут. Слабое перемешивание необходимо для поддержания хлопьев реагента в объеме раствора, так как на поверхности хлопьев реагента идет активное поглощение сероводорода из обрабатываемого раствора. Спустя 10 минут, обработанный раствор фильтровали и изучали остаточное содержание сероводорода в фильтрате.

Определение сероводорода в водных растворах осуществляется по следующей методике.

В исследуемый раствор заданного объема ( $V_x$ ) вносится определенный объем раствора  $J_2$  с известной концентрацией. Необходимо вносить  $J_2$  в исследуемый раствор с избытком. В результате протекает следующая реакция:



С помощью раствора тиосульфата натрия ( $Na_2S_2O_3$ ) возможно установить количество непрореагировавшего  $J_2$  методом титрования с присутствием крахмала в качестве индикатора. В результате протекает следующая реакция:



Для вычисления концентрации сероводорода в водном растворе необходимо воспользоваться следующей формулой (3):

$$X = \frac{C_0 \cdot (V_0 - V_1) \cdot M(H_2S) \cdot 1000}{2 \cdot V_x} \quad (3)$$

где  $X$  – содержание сероводорода в исследуемой воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $M(H_2S)$  – молярная масса  $H_2S$ ,

г/моль (34,1 г/моль);  $V_x$  – аликвота исследуемой воды, см<sup>3</sup>;  $V_0$  – объем раствора  $J_2$ , взятого в избытке, см<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрация раствора  $Na_2S_2O_3$ , моль/дм<sup>3</sup>;  $V_0$  – объем раствора  $Na_2S_2O_3$ , ушедшего на титрование йода в холостой пробе, см<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем раствора  $Na_2S_2O_3$ , ушедшего на титрование йода в пробе, см<sup>3</sup>.

Изучение мутности водных растворов осуществляли по ГОСТ Р 57164–2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности». Использование приведенного госта обусловлено высокой прозрачностью обработанного водного раствора и невозможностью использования ОСТ 39–231–89 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания механических примесей в речных и промышленных водах», ввиду недостаточного объема анализируемой воды. Как показывает практика, результаты исследований по ГОСТ Р 57164–2016 и ОСТ 39–231–89 соотносятся, что позволяет применять представленный метод.

Содержание нефтепродуктов определяли по ПНД Ф 14.1:2.4.128–98.

### Результаты и обсуждение

В результате извлечения сероводорода из исследуемого водного раствора получили данные, представленные в таблицах 2–4.

Для изучения извлечения нефтепродуктов из обрабатываемой воды, эксперимент осуществляли по вышеописанной методике. Дозы реагента «Реагент 1:2» составляли 300 и 450 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2.

Извлечение сероводорода из водного раствора с помощью реагента «Реагент 2:1»

Table 2.

Extraction of hydrogen sulfide from aqueous solution using the reagent "Reagent 2:1"

| Реагент<br>Reagent | Доза, мг/дм <sup>3</sup><br>Dose, mg/dm <sup>3</sup> | pH   | $H_2S$ , мг/дм <sup>3</sup> | мутность, мг/дм <sup>3</sup><br>turbidity, mg/dm <sup>3</sup> |
|--------------------|------------------------------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 2:1                | 0                                                    | 7,03 | 276,6                       | 76,8                                                          |
|                    | 187,5                                                | 7,45 | 193,3                       | 0,8                                                           |
|                    | 375                                                  | 7,49 | 186,2                       | 0,7                                                           |
|                    | 750                                                  | 7,68 | 164,9                       | 0,65                                                          |
|                    | 1125                                                 | 7,93 | 147,2                       | 0,65                                                          |
| 1:1                | 0                                                    | 7,03 | 276,6                       | 76,8                                                          |
|                    | 250                                                  | 7,28 | 150,7                       | 0,8                                                           |
|                    | 500                                                  | 7,53 | 138,3                       | 0,7                                                           |
|                    | 1000                                                 | 7,9  | 113,5                       | 0,65                                                          |
|                    | 1500                                                 | 8,36 | 79,8                        | 6,5                                                           |
| 1:2                | 0                                                    | 7,03 | 276,6                       | 76,8                                                          |
|                    | 375                                                  | 6,71 | 87,1                        | 0,8                                                           |
|                    | 750                                                  | 6,55 | 67,5                        | 0,7                                                           |
|                    | 1500                                                 | 6,35 | 39,2                        | 0,65                                                          |
|                    | 2250                                                 | 6,25 | 32,7                        | 0,65                                                          |

Таблица 3.

Извлечение нефтепродуктов из водного раствора с помощью реагента «Реагент 1:2»

Table 3.

Extraction of oil products from aqueous solution using the reagent "Reagent 1: 2"

|                                                                             | Исходная вода<br>Source water | Исходная вода + реагент 300 мг/л<br>Source water + reagent 300 mg/l | Исходная вода + реагент 450 мг/л<br>Source water + reagent 450 mg/l |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup><br>Petroleum products, mg/dm <sup>3</sup> | 20 ± 5                        | 1,7 ± 0,4                                                           | 1,9 ± 0,5                                                           |

При обработке исходных образцов установлено, что возможно снизить содержание сероводорода с 276,6 до 32,7 мг/дм<sup>3</sup>, механических примесей с 76,8 до 0,7 мг/дм<sup>3</sup>, нефтепродуктов с 20 до 1,7 мг/дм<sup>3</sup>.

В результате обработки предоставленных образцов воды установлено, что реагенты на основе модифицированных алюмосиликатов могут эффективно извлекать из водных растворов сероводород, механические примеси и нефтепродукты. Для нефтепродуктов и механических примесей возможно добиться самых жестких требований ОСТ 39–225–88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству» (содержание механических примесей до 3 мг/дм<sup>3</sup>, нефтепродуктов до 5 мг/дм<sup>3</sup>). Снижение сероводорода существенно снижается (примерно в 8,5 раз), но не достигает требований ОСТ 39–225–88, так как сероводород должен отсутствовать.

Важно отметить, что для удаления сероводорода, механических примесей и нефтепродуктов возможно применять один основной реагент – адсорбент-коагулянт вспомогательный реагент – флокулянт (в качестве примера Рг-2500).

На сегодняшний день существуют различные реагенты поглощения сероводорода, а также различные технологии для его удаления из водной среды.

Наш метод предлагает связывать сероводород в нерастворимые соединения и выделять из водных растворов.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что вновь полученный реагент обладает следующими свойствами:

1. Высокие адсорбционные характеристики (емкость не менее 800 мг/г, удельная поверхность 300–400 м<sup>2</sup>/г);
2. Возможность применения в существующих аппаратах и схемах водоподготовки и водоочистки;
3. Реагент не повышает солевой фон в процессе использования, что дает возможность использования в оборотных системах;
4. Позволяют снизить производственные затраты при использовании;
5. Отработанные материалы могут быть легко утилизированы;
6. Время установления адсорбционного равновесия не превышает 15 минут.

Полученный реагент возможно применять в процессах извлечения сероводорода из природных и сточных вод.

### Литература

- 1 Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684–21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий"
- 2 Косиченко Ю.М., Сильченко В.Ф. Технологии удаления сероводорода в процессе обработки подземных вод. // Экология и водное хозяйство. 2020. № 1. С. 43–59.
- 3 Гузенко М.В. Химические методы очистки сточных вод // Непрерывная система образования. Инновации и перспективы Сборник статей международной студенческой конференции. 2020. С. 238–240.
- 4 Седлухо Ю.П., Станкевич Ю.О. Исследование процесса биохимической очистки подземных вод от сероводорода // Наука и техника. 2015. № 2. С. 55–61.
- 5 Яблокова М.А., Иваненко А.Ю., Турыгин В.Ю. Очистка подтоварных вод нефтеприисков с целью повторной закачки в нефтеносные пласты для поддержания внутрипластового давления // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2012. № 14. С. 78–84.
- 6 Новоселов М.Г., Белканова М.Ю. Технологический анализ работы установки обратного осмоса на подземном водозаборе // Вестник южно-уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура. 2021. Т. 21. № 2. С. 60–68.
- 7 ОСТ 39–225–88 Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 Krupskaya V. Novikova L., Tyupina E. et al. The influence of acid modification on the structure of montmorillonites and surface properties of bentonites // Applied Clay Science. 2019. V. 172. P. 1–10. doi: 10.1016/j.clay.2019.02.001

- 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. CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> supported on montmorillonite to activate peroxydisulfate for efficient ofloxacin degradation // *Journal of Water Process Engineering*. 2021. V. 44. P. 102359.
- 14 Wu S. et al. Effect of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 (nTiO<sub>2</sub>) 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 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, 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 Sanitary rules and norms SanPiN 2.1.3684-21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply of the population, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organizations and carrying out sanitary and anti-epidemic (preventive) measures". (in Russian).
- 2 Kosichenko Yu.M., Silchenko V.F. Technologies for the removal of hydrogen sulfide in the process of groundwater treatment. *Ecology and water management*. 2020. no. 1. pp. 43–59. (in Russian).
- 3 Gouzenko M.V. Chemical methods of wastewater treatment. Continuous education system. Innovations and prospects Collection of articles of the international student conference. 2020. pp. 238–240. (in Russian).
- 4 Sedlukho Yu.P., Stankevich Yu.O. Study of the process of biochemical purification of groundwater from hydrogen sulfide. *Science and Technology*. 2015. no. 2. pp. 55–61. (in Russian).
- 5 Yablokova M.A., Ivanenko A.Yu., Turygin V.Yu. Purification of commercial waters of oil fields for the purpose of re-injection into oil-bearing strata to maintain in-situ pressure. *Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. 2012. no. 14. pp 78–84. (in Russian).
- 6 Novoselov M.G., Belkanova M.Yu. Technological analysis of the operation of a reverse osmosis unit at an underground water intake. *Bulletin of the South Ural State University. Series: construction and architecture*. 2021. vol. 21. no. 2. pp. 60–68. (in Russian).
- 7 OST 39–225–88 Water for flooding oil reservoirs. quality requirements. (in Russian).
- 8 Sviridov A.V., Nikiforov A.F., Ganebnykh E.V., Elizarov V.A. Purification of wastewater from copper with natural and modified montmorillonite. *Water Management of Russia*, 2011. no. 1. pp. 58–65. (in Russian).
- 9 Ganebnykh E.V., Sviridov A.V., Maltsev G.I. Extraction of zinc from solutions with highly dispersed modified aluminosilicates. *Chemistry for Sustainable Development*. 2015. vol. 23. no. 1. pp. 89–95
- 10 Krupskaya V., Novikova L., Tyupina E. et al. The influence of acid modification on the structure of montmorillonites and surface properties of bentonites. *Applied Clay Science*. 2019. vol. 172. pp. 1–10. doi: 10.1016/j.clay.2019.02.001
- 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. CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 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  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 (nTiO<sub>2</sub>) 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 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, 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>

**Екатерина А. Каменченко** инженер, кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет, 620100, РФ, Уральский федеральный округ, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, katya.patrick@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5194-8374>

## 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. Yurchenko** 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>

**Ekaterina A. Kamenchenko** engineer, chemical technology of wood, biotechnology and nanomaterials department, Ural State Forest Engineering University, 620100, RF, Ural Federal District, Sverdlovsk Region, Yekaterinburg, Siberian tract, 37, katya.patrick@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5194-8374>

## 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 15/10/2021 | После редакции 08/11/2021      | Принята в печать 29/11/2021 |
| Received 15/10/2021  | Accepted in revised 08/11/2021 | Accepted 29/11/2021         |