

Получение и исследование алюмосиликатного сорбента

Ирина В. Кузнецова¹ kuznetsovaiv@mail.ru  0000-0001-6666-6292
Марина В. Гетманская¹ getmanskayamarina1998@ya.ru
Сергей С. Черненко¹ sergey.x.173@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Разработана технологическая схема синтеза алюмосиликатного сорбента в лабораторных условиях с использованием глины Семилукского месторождения. При нагревании образца сорбента в интервале 30-225°C происходит потеря свободной влаги, в интервале температур 405-550°C начинает испаряться связанная вода и происходит разложение органических веществ. Исследована сорбция сульфида натрия поверхностью сорбента. Определены постоянные β и n в уравнение Фрейндлиха $A=1,38 \times C^{1,19}$. Формируемая площадь удельной поверхности $S=12,8 \text{ м}^2/\text{г}$. Проведено сравнительное исследование кислотно-основных свойств поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента и диатомита Celite 545 60/80 MESH индикаторным методом. Адсорбция на кислотно-основных центрах поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента выше адсорбции на поверхности диатомита. На поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента находятся как кислотные ($pK=1,7; 3,46$), так и основные ($pK=18,8; 9,2$) центры Бренстеда. Объем пор синтезируемого алюмосиликатного сорбента равен $0,25 \text{ см}^3/\text{г}$. Это значение меньше, чем объем пор диатомита $1,86 \text{ см}^3/\text{г}$.

Ключевые слова: алюмосиликатный сорбент, кислотно-основные центры, объем пор, удельная поверхность, получение сорбента

Obtaining and research of aluminosilicate sorbent

Irina V. Kuznetsova¹ kuznetsovaiv@mail.ru  0000-0001-6666-6292
Marina V. Getmanskaya¹ getmanskayamarina1998@ya.ru
Sergey S. Chernenko¹ sergey.x.173@mail.ru

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. A technological scheme for the synthesis of an aluminosilicate sorbent in laboratory conditions using clay from the Semilukskoye deposit has been developed. When the sorbent sample is heated in the range of 30-225 °C, a loss of free moisture occurs, in the temperature range of 405-550 °C, bound water begins to evaporate and decomposition of organic substances occurs. The sorption of sodium sulfide by the sorbent surface has been studied. The constants β and n are determined in the Freundlich equation $A = 1.38 \times C^{1.19}$. Formed specific surface area $S = 12.8 \text{ m}^2 / \text{g}$. A comparative study of the acid-base properties of the surface of the synthesized aluminosilicate sorbent and diatomite Celite 545 60/80 MESH by the indicator method has been carried out. The adsorption on the acid-base centers of the synthesized aluminosilicate sorbent surface is higher than the adsorption on the diatomite surface. On the surface of the synthesized aluminosilicate sorbent, there are both acidic ($pK = 1.7; 3.46$) and basic ($pK = 18.8; 9.2$) Bronsted centers. The pore volume of the synthesized aluminosilicate sorbent corresponds to $0.25 \text{ cm}^3 / \text{g}$. This value is less than the pore volume of diatomite $1.86 \text{ cm}^3 / \text{g}$.

Keywords: aluminosilicate sorbent, acid-base centers, pore volume, specific surface area, sorbent production

Введение

Актуальность применения алюмосиликатных сорбентов на сегодняшний день велика: крекинг нефти, получение чистого кислорода, увеличение прочности строительных материалов [1]. Кислотостойкие природные алюмосиликатные сорбенты используются для защиты окружающей среды от ряда промышленных выбросов, очистки сточных вод, морской воды от нефти [2, 3].

Этот материал обладает поистине уникальными физико-химическими свойствами. Кристалличность обеспечивает механическую и химическую стабильность, одинаковый и контролируемый размер пор, каналов, полостей [4].

Ключевую роль в протекании сорбционных и каталитических явлений играют дефекты структуры, представляющие собой для алюмосиликатов кислотно-основные центры различной природы (силанольные группы, ненасыщенные атомы алюминия, подвижные протоны, являющиеся противоионами тетраэдров $[\text{AlO}_4]^-$, или центры, образующиеся при смещении отрицательного заряда в $[\text{AlO}_4]^-$). Информация о количестве поверхностных кислотно-основных центров алюмосиликатов позволяет дать прогнозную оценку их физико-химических свойств [5].

Анализ литературных и патентных источников показывает, что широко варьируемый химический состав алюмосиликатного сорбента позволяет модифицировать физико-химические свойства материалов. Нано размеры полостей,

Для цитирования

Кузнецова И.В., Гетманская М.В., Черненко С.С. Получение и исследование алюмосиликатного сорбента // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 309–315. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-309-315

For citation

Kuznetsova I.V., Getmanskaya M.V., Chernenko S.S. Obtaining and research of aluminosilicate sorbent. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 309–315. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-309-315

возможность упорядоченного расположения активных центров, селективность и направленность воздействия на химические группы молекул делают алюмосиликатные сорбенты не только инструментом нано технологий, но и их объектом [6]. База данных о синтезированных алюмосиликатных сорбентах регулярно обновляется и публикуется под названием «Atlas of Zeolite Structures».

Цель работы – получение алюмосиликатного сорбента с использованием глины ПГБ (г. Семилуки), исследование его физико-химических свойств. А также сравнительное исследование кислотно-основных свойств алюмосиликатного сорбента и диатомита.

Материалы и методы

Материалами данного исследования являлись: сухой диатомит Celite 545 60/80 MESH и синтезируемый алюмосиликатный сорбент.

Диатомит (кизельгур. инфузорная земля. горная мука. цеолит) – осадочная горная порода белого цвета, состоящая преимущественно из останков диатомовых водорослей, их скелетов. Химически диатомит на 80% состоит из водного кремнезёма. Диатомит обладает большой пористостью, способностью к адсорбции, кислотостойкостью [7]. Плотность природных диатомитов колеблется от 0,960 до 1,250 г/см³, и зависит, главным образом, от количества глинистых примесей. Содержание примесей не велико, но они значительно влияют на температуру плавления жидкой фазы в диатомитовом материале при нагревании.

Результаты химического анализа диатомита Celite 545 60/80 MESH показали, что в нем содержится: SiO₂ 91,4%; Al₂O₃ 4,7%; Fe₂O₃ 1,9%, CaO 0,5%. Суммарное содержание TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅ – 1,5%.

Для получения алюмосиликатного сорбента смешивали 25 г. глинозема из боксита с 3,125 мл 56% HNO₃ и 75 мл воды. Полученный материал сушили при температуре 150 °С в течении часа. 3 г высушенного продукта перемешивали с 51 г. глины ПГБ (Семилуки) и водой. Полученную смесь пластичной консистенции с содержанием влаги 55% формовали в виде гранул 5 мм, сушили при температуре 120–140 °С в течении 6 часов и прокаливали при 500–600 °С в течении 2-х часов с постепенным повышением температуры до 750 °С в течении 4-х часов (рисунок 2). Получили вещество белого цвета с размерами гранул 5 мм. Температуру термообработки определяли по данным термического анализа (рисунок 3).



Рисунок 1. Диатомит Celite 545 60/80 MESH
Figure 1. Diatomite Celite 545 60/80 MESH



Рисунок 2. Образец синтезируемого алюмосиликатного сорбента
Figure 2. Sample of synthesized aluminosilicate sorbent

Изучение процесса дегидратации синтезируемого алюмосиликатного сорбента проводили методом термогравиметрического анализа. Термогравиметрия является ценным методом количественного анализа. По кривой ТГ можно определить потерю массы образца при нагревании (Δm). Каждый пик на дифференциальной кривой (кривая ДТГ) соответствует максимальной скорости изменения массы, то есть истинной температуре химической реакции [8]. Исследования проводились на приборе модели Netzsch STA 449 F3 Jupiter при нагревании образцов в платиновых тиглях от 30 до 1000 °С со скоростью 10 К/мин в атмосфере азота. По результатам синхронного термического анализа определяли температурные интервалы процессов, происходящих при нагревании синтезированного алюмосиликатного сорбента.

Для определения сорбционных свойств синтезированного алюмосиликатного сорбента были приготовлены семь растворов различных концентраций сульфида натрия (по 100 см³), смешивая указанные в таблице 1 объёмы 0,05 М раствора сульфида натрия с дистиллированной водой [9, 10].

Таблица 1.
Объёмы сульфида натрия и дистиллированной воды

Table 1.
Volumes of sodium sulfide and distilled water

Образец Sample	1	2	3	4	5	6	7
Кислота, см ³ Acid, cm ³	100	75	50	25	15	7	5
Вода, см ³ Water, cm ³	0	25	50	75	85	93	95

Каждый раствор делили на две равных части по 50 см³. Одну часть используют для определения концентрации растворов до адсорбции.

Во вторую часть растворов добавляли по 3 г адсорбента и выдерживали при периодическом встряхивании в течение 40 мин. Затем алюмосиликатный сорбент из растворов отфильтровывали через бумажные складчатые фильтры и определяли концентрации растворов после

адсорбции. Концентрации исследуемых растворов до и после адсорбции (С) определяли титрованием аликвотной части раствора (10 см³) 0,05М раствором сульфида натрия в присутствии крахмала до устойчивой синей окраски.

Сорбционную емкость (А, ммоль/г) вычисляли по формуле:

$$A = \frac{(C - C_p) * V}{m}$$

где С, С_р – исходная и равновесная концентрация ионов исследуемых металлов в растворе соответственно, ммоль/дм³; V – объем раствора, дм³; m – масса сорбента, г.

Экспериментальные методы оценки кислотно-основных свойств поверхности твердого тела многочисленны и разнообразны: ИК-, УФ- и видимая спектроскопия, ЭПР, адсорбционно-

химические (адсорбция на границе раздела фаз), индикаторный метод, ЯМР – спектроскопия [11, 12]. Индикаторный метод основан на селективной адсорбции кислотно-основных индикаторов с заданными значениями рКа кислотно-основного перехода и спектрофотометрическом определении изменения оптической плотности их растворов. При этом силу кислотно-основных центров поверхности характеризуют рКа индикатора, адсорбирующегося в сопряженной форме, а количество адсорбированного индикатора определяет количество центров данной силы.

Вещества и реактивы, которые использовались для приготовления растворов индикаторов, а также массы индикаторов представлены в таблице 2.

Для каждого индикатора готовились пять проб.

Таблица 2.

Основные характеристики использованных индикаторов

Table 2.

The main characteristics of the indicators used

Название индикатора Name indicator	Молярная масса, г моль Molar mass, g mol	Формула Formula	Масса навески Hinge weight	Растворитель Solvent	рКа	Длина волны максимального поглощения, λ, нм Maximum absorption wavelength, λ, nm /
Метилловый фиолетовый Methyl violet	393,94	C ₂₃ H ₂₈ N ₃ Cl	0,1	60% этанол ethanol	1,7	540
Фуксин основной Fuchsin basic	323,83	C ₂₀ H ₂₀ N ₃ Cl	0,1	50% этанол ethanol	2,1	540
Метилловый оранжевый Methyl orange	327,32	C ₁₄ H ₁₄ N ₃ O ₃ SNa	0,1	Вода Water	3,46	464
Тимоловый синий Thymol blue	466,59	C ₂₇ H ₃₀ O ₅ S	0,1	20% этанол ethanol	8,8	440
Нейтральный красный Neutral red	288,78	C ₁₅ H ₁₇ ClN ₄	0,1	60% этанол ethanol	9,2	490

Три параллельных пробы (0,1 г порошка анализируемого оксида + 3 мл индикатора), холостая проба (0,1 г порошка анализируемого оксида + 2 мл воды дистиллированной), раствор чистого индикатора объемом 3 мл.

Пробы хорошо перемешивались и выдерживались в течение суток при температуре 20 °С. Затем перед измерением в три параллельные пробы и пробы чистого индикатора добавлялось по 2 мл воды и пробы перемешивались, а в холостую пробу добавлялось 3 мл индикатора и проба также перемешивалась. Полученные растворы, содержащие навеску синтезированного алюмосиликатного сорбента, центрифугировались в течение 3 минут при 9000 об / мин. Исследуемые растворы изучались с помощью метода фотоколориметрии (колориметр КФК-2МП)

в кюветах толщиной 1 мм относительно дистиллированной воды при длине волны, соответствующей максимуму поглощения каждого индикатора (таблица 2).

По полученным данным проводился расчет удельной адсорбции и строилась ее зависимость от рКа.

Расчет удельной адсорбции g, моль / г:

$$g = \frac{cV}{D_0} \cdot \left| \frac{D_0 - D_1}{a_1} \pm \frac{D_0 - D_2}{a_2} \right|$$

где с – концентрация индикатора, моль/дм³; V – объем пробы, дм³; D₀ – оптическая плотность исходного индикатора; D₁ – оптическая плотность индикатора после сорбции образцом; D₂ – оптическая плотность холостой пробы (растворитель + образец материала); a₁, a₂ – навески образца, г.

Данная методика позволяет проводить оценку общих кислотно-основных свойств поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента с дифференциацией реакционных центров по силе в зависимости от рКа используемых индикаторов.

Плотность твердых образцов определяется путем погружения их в жидкость с известным значением плотности ρ_0 . В качестве вспомогательной жидкости обычно используют воду или этанол, а для пород, содержащих водорастворимые соли и набухаемые в воде глины, а также карбонаты, в качестве рабочей жидкости используется очищенный керосин или ацетон. Удаление воздуха из образца производится путем вакуумирования.

Для работы с синтезируемым алюмосиликатным сорбентом, диатомитом и рабочей жидкостью (ацетон) использовали пикнометр (колба Рейшауэра). Определение пористости по ацетону проводили в соответствии с ГОСТ 6217–52 [13].

Результаты и обсуждение

В процессе нагревания предварительно высушенного сорбента от 30 до 1000 °С происходит уменьшение массы (кривая ТГ). Наибольшая потеря массы происходит до 550 °С. На кривой ДТГ (рисунок 3) присутствуют два тепловых эффекта: первый в области температур 30–225 °С с минимумом при 91 °С; второй – в зоне температур 405–550 °С с минимумом при 409 °С.

При нагревании образца в интервале 30–225 °С происходит потеря свободной влаги 2,65%. В интервале температур 405–550 °С – потеря массы 6,72%, испаряется связанная вода из алюмосиликата $zAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$ и происходит разложение органических веществ из глины, присутствующей в сорбенте. Общая потеря массы составляет 9,37% (кривая ТГ). Значит термообработку синтезированного алюмосиликата надо вести при температуре свыше 550 °С.

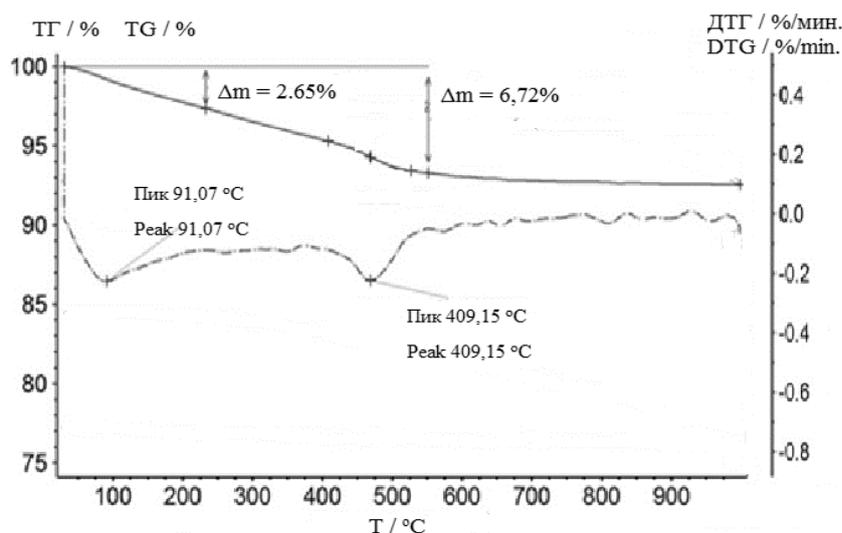


Рисунок 3. Термограмма нагревания образца от 30 до 1000 °С

Figure 3. Thermogram of heating the sample from 30 to 1000 °С

По результатам исследования сорбционных свойств синтезируемого алюмосиликатного сорбента по поглощению сульфида натрия была построена изотерма адсорбции (рисунок 4). Ее вид соответствует кривой сорбции на пористом твердом теле [9, 10].

Определили постоянные β и n в уравнение Фрейндлиха из графика, построенного в координатах $\lg A = f(1/C)$ (рисунок 5). Уравнение Фрейндлиха для данного процесса выглядит так: $A = 1,38 \times C^{1.19}$.

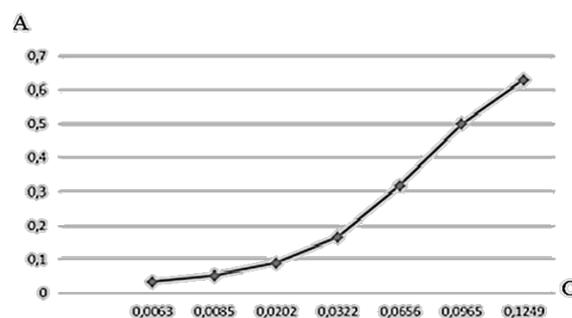


Рисунок 4. Изотерма адсорбции

Figure 4. Isotherm of adsorption

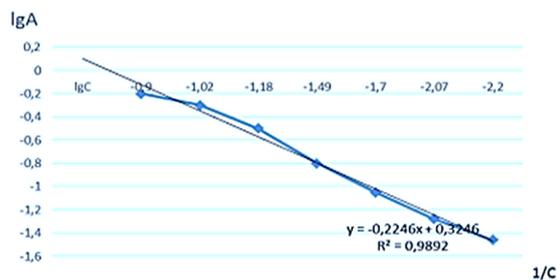


Рисунок 5. Зависимость lg A от 1/C

Figure 5. Dependence of lg A on 1/C

Определили значение предельной адсорбции $A_{\max} = 0.085$ моль/кг. Вычислили удельную активную поверхность сорбента по формуле $S_{уд} = A_{\max} \times N_A \times S_0$, где $S_0 = 2,51 \times 10^{-19}$ м² - площадь занимаемой одной молекулой адсорбата $Na_2 S$ в насыщенном адсорбционном слое. Площадь удельной поверхности синтезируемого сорбента $S_{уд} = 12,8$ м²/г.

Было проведено сравнительное исследование кислотно-основных свойств поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента и диатомита (рисунок 6,7). На поверхности синтезируемого алюмосиликатного сорбента находятся как кислотные, так и основные центры Бренстеда, которые играют определяющую роль в сорбционных процессах и гетерогенном катализе для реакций полимеризации олефинов, диспропорционирования и изомеризации. Адсорбция на кислотно-основных центрах полученного сорбента (рК= 1,7; 3,46; 8,8; 9,2) выше адсорбции диатомита. Сорбция на кислотном центре с рК = 3,5 диатомита выше, чем на таком же центре алюмосиликатного сорбента. Авторами [5] также было доказано присутствие как кислотных, так и основных центров на поверхности природного алюмосиликата титриметрическим методом.

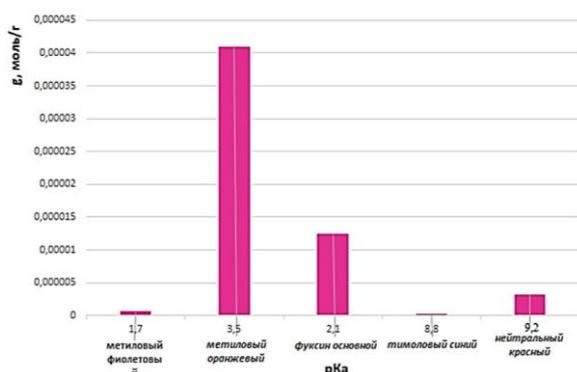


Рисунок 6. Зависимость удельной адсорбции диатомита от значения рКа индикатора

Figure 6. Dependence of the specific adsorption of diatomaceous earth on the pKa value of the indicator

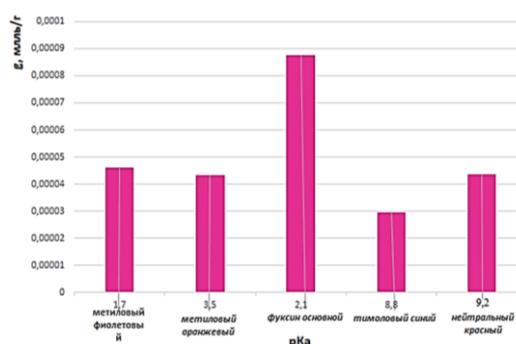


Рисунок 7. Зависимость удельной адсорбции синтезируемого алюмосиликатного сорбента от значения рКа индикатора

Figure 7. Dependence of the specific adsorption of the synthesized aluminosilicate sorbent on the pKa value of the indicator

Общий объем пор для синтезируемого алюмосиликатного сорбента 0,25 см³/г, а диатомита – 1,86 см³/г. Объем пор синтезируемого алюмосиликатного сорбента меньше, чем диатомита. Известно, что диатомит в связи с присутствием в его структуре кремниевых панцирей одноклеточных водорослей обладает большой внутренней поверхностью, содержит до 80–90% пустот. Этот материал имеет в основном макропористую структуру, поры с радиусом 4–40 мкм составляют около 15% суммарного объема пор [1]. То есть диатомит обладает высоким значением объема пор, но низкой кислотно-основной активностью, а синтезируемый алюмосиликат, напротив, показал высокие кислотно-основные свойства и среднее значение объема пор. Как известно [12], для увеличения кислотно-основной активности поверхности сорбента дополнительно необходима ее модификация химическим способом в зависимости от поставленных задач. В процессе синтеза алюмосиликата параллельно происходит и химическая модификация его поверхности.

Заключение

Предложена технологическая схема синтеза алюмосиликатного сорбента в лабораторных условиях с использованием глины (г. Семилуки). Методом синхронного термического анализа определены температурные интервалы процессов дегидратации и разложения органических веществ синтезируемого алюмосиликатного сорбента. По результатам исследования сорбционных свойств синтезируемого алюмосиликатного сорбента по отношению к сульфиду натрия была построена изотерма адсорбции. Определили постоянные β и n в уравнение Фрейндлиха. Показано, что адсорбция на поверхности кислотно-основных центров синтезируемого алюмосиликатного сорбента выше адсорбции диатомита. Объем пор синтезируемого алюмосиликатного сорбента меньше, чем диатомита.

Литература

- 1 Шуктомова И.И., Рачкова Н.Г. Свойства цеолитов и их применение // Журн. Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2010. № 8. С. 9–11
- 2 Bandura L., Wozzuk A., Kołodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances // *A Review Minerals*. 2017. V. 7. P. 37. doi: 10.3390/min7030037
- 3 Abdugaffarova K.K. et al. New Sorption Materials on the Basis of Aluminosilicates for Wasterwater Treatment // *Nano Hybrids and Composites*. 2017. V. 13. P. 190–196. doi: 10.4028/www.scientific.net/nhc.13.190
- 4 Treto-Suárez M.A., Prieto-García J.O., Mollineda-Trujillo Á. et al. Kinetic study of removal heavy metal from aqueous solution using the synthetic aluminum silicate // *Sci Rep* 2020. № 10. P. 10836. doi: 10.1038/s41598-020-67720-0
- 5 Грибанов Е.Н., Оскотская Э.Р., Кузьменко А.П. Особенности строения, морфологии и кислотно-основных свойств поверхности алюмосиликата Хотынецкого месторождения. Конденсированные среды и межфазные границы // 2018. Т.20. № 1. С. 42–49. doi: 10.17308/kcmf.2018.20/475
- 6 Agliullin M.R., Talzi V.P., Filippova N.A. et al. Two-step sol–gel synthesis of mesoporous aluminosilicates: highly efficient catalysts for the preparation of 3,5 – dialkylpyridines // *Appl Petrochem Res*. 2018. V. 8. P. 141–151. doi: 10.1007/s13203-018-0202-0
- 7 Косарев А.В., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Истрашкина М.В. Моделирование структуры композиционных адсорбентов “алюмосиликат-неионное ПАВ” в решении задач повышения эффективности водоочистки // *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 2017. Т. 17. №. 8. С. 116-120.
- 8 Нифталиев С.И., Кузнецова И.В., Лыгина Л.В., Саранов И.А. Термический анализ (теория и практика). Воронеж: ВГУИТ. 2018. 56 с.
- 9 Комендантова Е.А., Кваша Д.Ю. Адсорбция в водоочистке. Возможности природных адсорбентов // *Синергия Наук*. 2017. №. 11. С. 913-930.
- 10 Шилина А.С., Милинчук В.К. Сорбционная очистка природных и промышленных вод от катионов тяжелых металлов и радионуклидов новым типом высокотемпературного алюмосиликатного адсорбента // *Журн. Сорбционные и хроматографические процессы*. 2010. № 2. С. 240–241
- 11 Федосеева В. И., Миронова А. А. Влияние активации бентонита на его адсорбционные свойства // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2017. №. 4 (60).
- 12 Бельчинская Л.И., Ходосова Н.А., Новикова Л.А., Стрельникова О.Ю., Ресснер Ф., Петухова А.В., Жабин А.В. Определение соотношения активных центров // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2016. № 4. С. 363–370.
- 13 Евсина Е.М. ГОСТ 6217–52 Пористость по ацетону // *Журн. Научный потенциал регионов на службу модернизации*. 2012. № 2. С. 150–151.
- 14 Белецкая М. Г., Богданович Н. И. Формирование адсорбционных свойств нанопористых материалов методом термохимической активации // *Химия растительного сырья*. 2013. №. 3.
- 15 Belchinskaya L., Novikova L., Khokhlov V., Ly Tkhi J. Contribution of ion-exchange and non-ion-exchange reactions to sorption of ammonium ions by natural and activated aluminosilicate sorbent // *J. Appl. Chem*. 2013. V. 9. doi: 10.1155/2013/789410
- 16 Akpomie K.G., Onyeabor C.F., Ezeofor C.C., Ani J.U. et al. Natural aluminosilicate clay obtained from south-eastern Nigeria as potential sorbent for oil spill remediation // *Journal of African Earth Sciences*. 2019. V. 155. P. 118-123. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2019.04.013
- 17 Semenyutina A.V., Semenyutina V.A., Khuzhakhmetova A.S., Svintsov I.P. The Decrease in the Concentration of formaldehyde in the environment of Aluminosilicate Sorbents // *Key Engineering materials*. Trans Tech Publications Ltd, 2019. V. 802. P. 57-68. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.802.57
- 18 Caliskan N., Kul A.R., Alkan S., Sogut E.G., Alacabey I. Adsorption of Zinc (II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study // *Journal of hazardous materials*. 2011. V. 193. P. 27-36. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.058
- 19 Sheng G., Dong H., Li Y. Characterization of diatomite and its application for the retention of radiocobalt: role of environmental parameters // *Journal of environmental radioactivity*. 2012. V. 113. P. 108-115. doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.05.011
- 20 Ibrahim S.S., Selim A.Q. Heat treatment of natural diatomite // *Physicochem. Probl. Miner. Process*. 2012. V. 48. №. 2. P. 413-424.

References

- 1 Shuktomova I.I., Rachkova N.G. Properties of zeolites and their application. *Zhurn. Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010. no. 8. pp. 9–11. (in Russian).
- 2 Bandura L., Wozzuk A., Kołodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances. *A Review Minerals*. 2017. vol. 7. pp. 37. doi: 10.3390/min7030037
- 3 Abdugaffarova K.K. et al. New Sorption Materials on the Basis of Aluminosilicates for Wasterwater Treatment. *Nano Hybrids and Composites*. 2017. vol. 13. pp. 190–196. doi: 10.4028/www.scientific.net/nhc.13.190
- 4 Treto-Suárez M.A., Prieto-García J.O., Mollineda-Trujillo Á. et al. Kinetic study of removal heavy metal from aqueous solution using the synthetic aluminum silicate. *Sci Rep* 2020. no. 10. pp. 10836. doi: 10.1038/s41598-020-67720-0
- 5 Griбанov E.N., Oskotskaya E.R., Kuzmenko A.P. Features of the structure, morphology and acid-base properties of the surface of the aluminosilicate of the Khotynets deposit. *Condensed media and interphase boundaries*. 2018. vol. 20. no. 1. pp. 42–49. doi: 10.17308/kcmf.2018.20/475
- 6 Agliullin M.R., Talzi V.P., Filippova N.A. et al. Two-step sol–gel synthesis of mesoporous aluminosilicates: highly efficient catalysts for the preparation of 3,5 – dialkylpyridines. *Appl Petrochem Res*. 2018. vol. 8. pp. 141–151. doi: 10.1007/s13203-018-0202-0
- 7 Kosarev A.V., Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Modeling the structure of composite adsorbents "aluminosilicate-nonionic surfactant" in solving problems of increasing the efficiency of water treatment. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2017. vol. 17. no. 8. pp. 116-120. (in Russian).
- 8 Niftaliev S.I., Kuznetsova I.V., Lygina L.V., Saranov I.A. Thermal analysis (theory and practice). *Voronezh: VSUET*. 2018. 56 p. (in Russian).

- 9 Komendantova E.A., Kvasha D.Yu. Adsorption in water treatment. Possibilities of natural adsorbents. Synergy of Science. 2017. no. 11. pp. 913-930. (in Russian).
- 10 Shilina A.S., Milinchuk V.K. Sorption purification of natural and industrial waters from cations of heavy metals and radionuclides by a new type of high-temperature aluminosilicate adsorbent. Zh. Sorption and chromatographic processes. 2010. no. 2. pp. 240–241. (in Russian).
- 11 Fedoseeva V.I., Mironova A.A. Effect of activation of bentonite on its adsorption properties. Bulletin of the North-Eastern Federal University. MK Ammosov. 2017. no. 4 (60). (in Russian).
- 12 Belchinskaya L.I., Khodosova N.A., Novikova L.A., Strelnikova O.Yu., Resner F., Petukhova A.V., Zhabin A.V. Determination of the ratio of active centers. Physicochemistry of surfaces and protection of materials. 2016. no. 4. pp. 363–370. (in Russian).
- 13 Evsina E.M. GOST 6217–52 Acetone porosity. Zhurn. The scientific potential of the regions for the service of modernization. 2012. no. 2. pp. 150–151. (in Russian).
- 14 Beletskaya MG, Bogdanovich NI Formation of adsorption properties of nanoporous materials by thermochemical activation. Chemistry of vegetable raw materials. 2013. no. 3. (in Russian).
- 15 Belchinskaya L., Novikova L., Khokhlov V., Ly Tkhi J. Contribution of ion-exchange and non-ion-exchange reactions to sorption of ammonium ions by natural and activated aluminosilicate sorbent. J. Appl. Chem. 2013. vol. 9. doi: 10.1155/2013/789410
- 16 Akpomie K.G., Onyabor C.F., Ezeofor C.C., Ani J.U. et al. Natural aluminosilicate clay obtained from south-eastern Nigeria as potential sorbent for oil spill remediation. Journal of African Earth Sciences. 2019. vol. 155. pp. 118-123. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2019.04.013
- 17 Semenyutina A.V., Semenyutina V.A., Khuzhakhmetova A.S., Svintsov I.P. The Decrease in the Concentration of formaldehyde in the environment of Aluminosilicate Sorbents. Key Engineering materials. Trans Tech Publications Ltd, 2019. vol. 802. pp. 57-68. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.802.57
- 18 Caliskan N., Kul A.R., Alkan S., Sogut E.G., Alacabay I. Adsorption of Zinc (II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study. Journal of hazardous materials. 2011. vol. 193. pp. 27-36. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.058
- 19 Sheng G., Dong H., Li Y. Characterization of diatomite and its application for the retention of radiocobalt: role of environmental parameters. Journal of environmental radioactivity. 2012. vol. 113. pp. 108-115. doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.05.011
- 20 Ibrahim S.S., Selim A.Q. Heat treatment of natural diatomite. Physicochem. Probl. Miner. Process. 2012. vol. 48. no. 2. pp. 413-424.

Сведения об авторах

Ирина В. Кузнецова к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuznetsovaiv@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6666-6292>

Марина В. Гетманская магистр, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, getmanskayamarina1998@ya.ru

Сергей С. Черненко студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sergey.x.173@mail.ru

Information about authors

Irina V. Kuznetsova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, kuznetsovaiv@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6666-6292>

Marina V. Getmanskaya master student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, getmanskayamarina1998@ya.ru

Sergey S. Chernenko student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sergey.x.173@mail.ru

Вклад авторов

Ирина В. Кузнецова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Марина В. Гетманская предложила методику проведения эксперимента

Сергей С. Черненко обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчеты

Contribution

Irina V. Kuznetsova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Marina V. Getmanskaya proposed a methodology for conducting an experiment

Sergey S. Chernenko review of literary sources on the problem under study, conducted an experiment, performed calculations

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2021	После редакции 16/02/2021	Принята в печать 02/03/2021
Received 27/01/2021	Accepted in revised 16/02/2021	Accepted 02/03/2021