

СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ КРЕМНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОКСИГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИОНАМИ МАРГАНЦА И МЕДИ

К.И. Мачехина¹, Е.Н. Грязнова², П.В. Абрамова¹

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

² *ООО «Рубиус», г. Томск, Россия*

Исследован процесс сорбции ионов кремния из раствора силиката натрия двумя сорбентами. Первый сорбент с удельной поверхностью 219 м²/г получен методом модификации оксигидроксида алюминия ионами марганца в растворе сульфата марганца с концентрацией ионов марганца 0,4 масс. %. Второй сорбент с удельной поверхностью 204 м²/г получен путем модификации оксигидроксида алюминия ионами меди (II) в растворе сульфата меди с концентрацией 0,4 масс. %. Процесс модифицирования проводили одновременно с реакцией термогидролиза образования нановолокнистого оксигидроксида алюминия при температуре 60 °С. Определено, что увеличение концентрации ионов меди в растворе приводит к увеличению доли непрореагировавшего металлического алюминия и образованию восстановленной металлической меди. Установлено, что степень извлечения ионов кремния составила 50 % для первого сорбента и 44 % для второго при исходной концентрации ионов кремния в растворе 25 мг/л. Показано, что модификация оксигидроксида алюминия ионами марганца и ионами меди (II) увеличивает степень извлечения ионов кремния на 10 и 3 % соответственно по сравнению с немодифицированным сорбентом. Значение максимальной сорбционной емкости по отношению к ионам кремния для первого сорбента составило 44 мг/г, для второго – 39 мг/г. Исследования на подземной воде показали, что модифицированный ионами марганца сорбент является более эффективным, чем сорбент, модифицированный ионами меди (II), на стадии доочистки. Использование первого сорбента приводит к снижению концентрации ионов кремния с 16,2 до 7,9 мг/л, железа с 4,6 до 0,9 мг/л.

Ключевые слова: оксигидроксид алюминия, сорбция, кремний, ионы марганца, ионы меди, водоподготовка

Введение

В России одним из основных источников получения питьевой воды являются подземные воды [1]. Состав подземных вод определяется геологией территорий [2, 3]. Основными примесями являются соединения железа, марганца, соли жесткости, органические вещества и соединения кремния [4]. Интерес к соединениям кремния стал возникать в связи с появлением его среди показателей, концентрацию которых в питьевой воде стали регламентировать согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды». Предельная допустимая концентрация ионов кремния в воде не должна превышать 10 мг/л. Наличие соединений кремния в воде снижает эффективность процесса водоподготовки [5]. Это связано с несколькими причинами. Во-первых, силикат-ионы образуют с большинством катионов нерастворимые соединения, которые негативно влияют на оборудование в процессе водоподготовки. Во-вторых, соединения кремния в воде могут находиться во взвешенном состоянии и образовывать различные коллоидные частицы [6], которые благодаря размерам частиц дисперсной фазы делают многие существующие технологии очистки воды не пригодными для их удаления.

Анализ методов очистки воды от соединений кремния показал [7–9], что существующие методы предназначены для получения технической воды и основаны на методах ионного обмена или обратном осмосе. Данные методы изменяют исходный состав воды, что требует дополнительных ступеней водоподготовки с целью получения питьевой воды. Методы, которые применимы для получения питьевой воды [10–13], такие как осаждение или фильтрование имеют ряд недостатков: высокие энергозатраты, постоянная замена фильтрующего материала и невысокая производительность.

Результаты наших экспериментов [14] по сорбции ионов кремния на сорбенте из нановолокнистого оксигидроксида алюминия показали, что степень извлечения ионов кремния из раствора составила 41 % при исходной концентрации ионов кремния 12,4 мг/л.

Анализ литературных данных и результаты предыдущих исследований показали, что применение сорбционных методов удаления кремния позволяет снижать концентрацию кремния до значений ПДК. Перспективным направлением в получении известных сорбентов с новыми или улучшенными свойствами является поверхностное и объемное модифицирование сорбентов различными физико-химическими методами [15]. В работах [16–19] описаны различные методы модифицирования оксигидроксида алюминия ионами марганца и меди, наночастицами платины и серебра и изучены новые сорбционные свойства полученного материала. Авторы делают вывод, что модифицированный оксигидроксид алюминия марганцем или медью является перспективным сорбентом для удаления неорганических примесей из водных сред. Применение модифицированного оксигидроксида алюминия в качестве сорбента для удаления ионов кремния из раствора исследовано недостаточно.

Цель работы – изучить сорбционные свойства модифицированного ионами марганца и меди нановолокнистого оксигидроксида алюминия для удаления ионов кремния из раствора.

Экспериментальная часть

Исходный нановолокнистый оксигидроксид алюминия (AlOOH) получали по методике, описанной в работах [14, 16]. Модификацию оксигидроксида алюминия ионами марганца проводили по методике, описанной в работе [16]. Процесс модифицирования проводили совместно с процессом роста нановолокон в реакции термогидролиза. Навеску нанопорошка алюминия массой $0,075 \pm 0,005$ г помещали в раствор соли сульфата марганца (II) квалификации ч.д.а. с концентрацией 0,4 масс. %. Объем раствора составлял 200 мл. Процесс модифицирования проводили в течение 8 часов при постоянной температуре 60 °С. Полученный осадок отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и сушили при 105 °С до постоянной массы.

Синтез и модификацию оксигидроксида алюминия ионами меди (II) проводили аналогичным образом. В качестве модификатора использовали водорастворимую соль сульфата меди (II) квалификации ч.д.а.

Для исследования морфологических характеристик сорбентов применяли метод просвечивающей электронной микроскопии с использованием электронного микроскопа JEM-2100F (JEOL, Япония). Образцы предварительно подготавливали путем обработки их в спирте, после чего получали однородную суспензию в ультразвуковом поле частотой 23 кГц и мощностью 400 Вт. Из полученной суспензии микропипеткой отбирали аликвоту и помещали на медную сетку для электронной микроскопии с предварительно нанесенной формваровой пленкой.

Фазовый состав образцов анализировали при помощи рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000S (Япония). Диапазон углов сканирования – от 20 до 80° с шагом 0,5° и скоростью сканирования 1 град./мин. Для получения достаточно хороших рентгенограмм образец тщательно измельчался путем растирания в агатовой ступке агатовым пестиком (для исключения загрязнения пробы). Рентгенофазовым анализом (РФА) идентифицируются различные фазы в смеси по анализу дифракционной картины исследуемого образца. По набору межпластинчатых расстояний и относительной интенсивности соответствующих линий на рентгенограмме определяли вещество.

Для определения сорбционной активности сорбентов использовали раствор силиката натрия. Раствор готовили путем растворения соли $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде для получения раствора с концентрацией ионов кремния 25,0 мг/л. В полученном растворе снижали pH до значения $7,5 \pm 0,2$ добавлением 0,1 М раствора серной кислоты.

Для определения сорбционных свойств сорбентов использовали статический метод. Готовили шесть одинаковых растворов: в колбу объемом 250 мл насыпали навеску сорбента и добавляли раствор силиката натрия. Колбы с раствором и сорбентом помещали в устройство для перемешивания Lab-Shaker 110. Скорость вращения составляла 180 об/мин. Засекали время и убирали по одной колбе через 15, 30, 60, 120, 200 и 350 минут соответственно. Для отделения раствора от адсорбента полученную смесь фильтровали через мембрану фирмы Millipore (США). Размер пор мембраны составлял 400 нм. Далее в пробах определяли содержание ионов кремния.

Содержание ионов кремния в растворе определяли фотоколориметрически согласно РД 52.24.433-2005 с использованием спектрофотометра ПЭ-6100УФ фирмы ПРОМЭКОЛАБ.

Сорбционный эксперимент состоял из двух этапов: построение кинетической кривой и изотермы сорбции. Экспериментально величину адсорбции (А) ионов кремния на твердом сорбенте при различных концентрациях в растворе вычисляли по уравнению:

$$A = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}})V_{\text{р-ра}}}{m_{\text{сорб}}},$$

где $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{равн}}$ – исходная и равновесная концентрации ионов в растворе, мг/л; $m_{\text{сорб}}$ – масса сорбента, г; $V_{\text{р-ра}}$ – объем раствора, л.

Обсуждение результатов

На основании ранее проведенных исследований по модифицированию ионами марганца [16] был выбран образец с концентрацией ионов марганца 0,4 масс. %. При проведении экспериментов по модифицированию оксигидроксида алюминия ионами меди (II) было установлено, что при высоких концентрациях модификатора выше 1 масс. % сохраняется сферическая форма, присущая нанопорошкам алюминия, что указывает на увеличение содержания металлического алюминия от 0,5 до 44,8 масс. % и снижение удельной поверхности от 196,2 м²/г для немодифицированного оксигидроксида алюминия до 16,8 м²/г. Микрофотографии полученных сорбентов представлены на рис. 1.

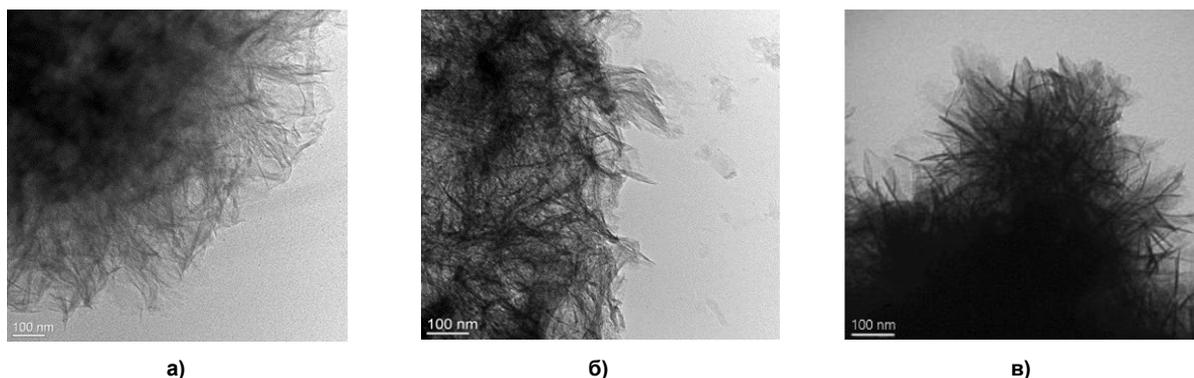


Рис. 1. Микрофотографии образцов: а) нановолокнистый оксигидроксид алюминия; б) оксигидроксид алюминия, модифицированный ионами марганца с концентрацией 0,4 мас. %; в) оксигидроксид алюминия, модифицированный ионами меди (II) с концентрацией 0,4 мас. %

Как видно из микрофотографий, оксигидроксид алюминия (рис. 1а), немодифицированный ионами марганца(II), обладает волокнистой структурой, причем все волокна присутствуют в виде больших агломератов и конечную длину волокна определить достаточно сложно, однако ширина отдельных волокон достигает 5 нм. Морфология образца оксигидроксида алюминия, модифицированного ионами марганца (рис. 1б), схожа с исходным образцом и представляет большие агломераты отдельных нитевидных структур. Для образца (рис. 1в), модифицированного ионами меди(II), морфология изменяется незначительно.

Характеристика сорбентов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика сорбентов

Образец		AlOOH	AlOOH модифицированный ионами Mn ²⁺ с концентрацией 0,4 масс. %	AlOOH модифицированный ионами Cu ²⁺ с концентрацией 0,4 масс. %
Удельная поверхность при 105 °С, м ² /г		196,2	219	204
Фазовый состав образцов после термической обработки при 105 °С, %	AlOOH	73,9	74,2	86,9
	Al(OH) ₃	25,4	25,1	12,4
	Al	0,7	0,7	0,7

Неорганическая химия

Из табл. 1 видно, что незначительная добавка модификатора (ионов марганца 0,4 масс. %) не повлияла на структуру оксигидроксида алюминия и при этом не была обнаружена в виде собственной фазы, что можно связать с высокой дисперсностью образцов и низким содержанием марганца в объеме и на поверхности. Увеличение удельной поверхности от 196 до 219 м²/г можно объяснить тем, что при кристаллизации оксигидроксида алюминия ионы марганца (II), согласно классификации А.П. Ребиндера [20], являются модификаторами первого рода. При малых концентрациях ионов марганца в растворе соединения марганца адсорбируются на гранях зародышей кристаллической фазы оксигидроксида алюминия, возникающей на центрах роста кристалла. Рост кристаллов замедляется, что приводит к увеличению количества новых зародышей и, как следствие, к повышению дисперсности и увеличению площади удельной поверхности. При введении ионов меди в синтезируемый образец меняется соотношение фаз в сторону снижения фазы Al(OH)₃ и увеличения содержания фазы AlOOH. Исследования показали, что дальнейшее увеличение концентрации ионов меди (II) в растворе приводит к образованию восстановленной металлической меди и увеличению доли непрореагировавшего металлического алюминия (рис. 2).

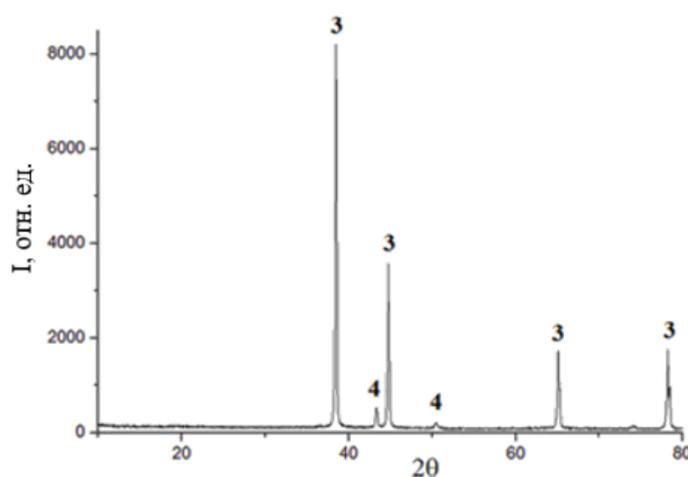


Рис. 2. Рентгенограмма образца оксигидроксида алюминия, модифицированного ионами меди(II) с концентрацией 12,3 масс. %:
3 – Al; 4 – Cu

На рис. 3 приведены кинетические кривые сорбции ионов кремния на оксигидроксида алюминия (кривая 1), на образце, модифицированном ионами марганца (кривая 2), и на образце, модифицированном ионами меди (II) (кривая 3).

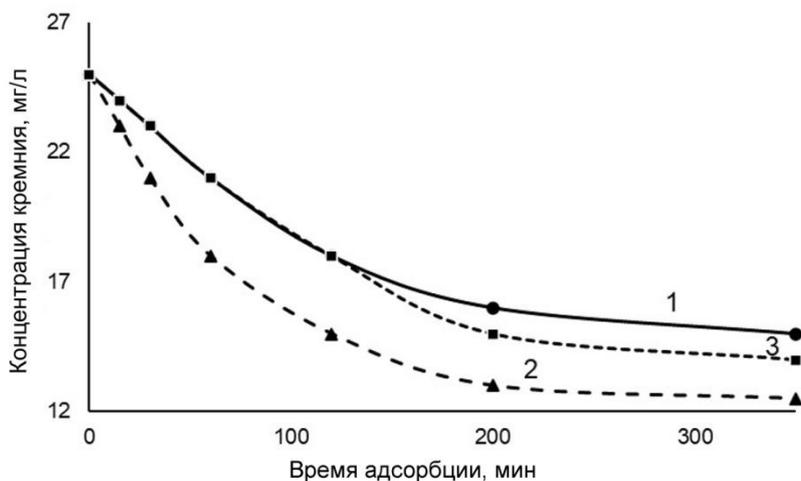


Рис. 3. Кинетика адсорбции ионов кремния из раствора силиката натрия:
1 – на AlOOH; 2 – AlOOH (Mn); 3 – AlOOH (Cu)

Из рис. 3 видно, что степень извлечения ионов кремния для образца, модифицированного ионами марганца, составляет 50 %, для образца, модифицированного ионами меди (II), – 44 %. Степень извлечения модифицированного оксигидроксида алюминия составляет 41 %. Определено время сорбции, которое составило 210 минут. Далее сорбционный эксперимент для получения изотермы сорбции проводили в течение 210 минут. При проведении эксперимента для построения изотермы сорбции массу сорбентов изменяли от 2,0 до 700 мг. Объем раствора составлял 250 мл. Концентрация ионов кремния в растворе не менялась и составляла 25 мг/л. На рис. 4 показана изотерма сорбции ионов кремния на оксигидроксида алюминия (AlOOH) (кривая 1), на образце AlOOH, который модифицировали ионами марганца (кривая 2), и на образце AlOOH, который модифицировали ионами меди (II) (кривая 3).

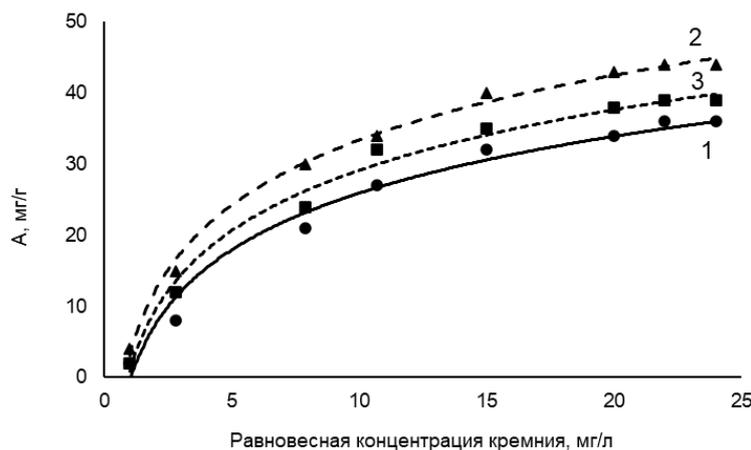


Рис. 4. Изотерма адсорбции ионов кремния:
1 – на AlOOH; 2 – AlOOH (Mn); 3 – AlOOH (Cu)

На основании анализа полученных экспериментальных результатов по сорбции ионов кремния установили, что процесс протекает в соответствии с уравнением Ленгмюра:

$$\frac{C}{A} = \frac{C}{A_m} + \frac{1}{A_m K_i},$$

где A – количество вещества, адсорбированного 1 м² поверхности (или 1 г) адсорбента (удельная адсорбция вещества), г/м² или г/г; A_m – количество вещества, адсорбированного 1 м² поверхности (или 1 г) адсорбента при максимальном ее заполнении, г/м² или г/г; C – равновесная концентрация вещества в газовой фазе или растворе, мг/л; K_i – константа адсорбционного равновесия, характеризующая энергию взаимодействия адсорбата и адсорбента.

Значение максимальной сорбционной емкости оксигидроксида алюминия по отношению к ионам кремния составило $A_m = 36$ мг/г, что соответствует ранее нами полученному результату [14]. Для образца оксигидроксида алюминия, модифицированного ионами марганца, значение составило $A_m = 44$ мг/г, для образца, модифицированного ионами меди (II), – $A_m = 39$ мг/г. Увеличение сорбционной емкости для модифицированных сорбентов можно объяснить увеличением площади удельной поверхности адсорбента. В растворе силиката натрия кремний находится в виде отрицательно заряженного гидратированного силикат-иона. Ранее [16] было установлено, что оксигидроксид алюминия имеет положительный электрокинетический потенциал, равный +60 мВ. Поэтому сорбция отрицательно заряженных силикат-ионов может происходить за счет межмолекулярного взаимодействия. В работе остаются открытыми вопросы, в каком валентном состоянии находится марганец, осажденный на оксигидрооксиде алюминия, и как образуются реакционные центры с участием марганца. В работе [21] изучены сорбционные свойства оксидов марганца, синтезированных на углеродистом волокне, по отношению к ионам мышьяка. Авторами установлено, что сорбционная способность определяется наличием слоистых соединений марганца преимущественно в степени окисления +4.

Полученные модифицированные сорбенты оксигидроксида алюминия апробировали в качестве сорбента на реальной подземной воде, отобранной в п. Белый Яр (Томская область). Ввиду

Неорганическая химия

сильного загрязнения воды соединениями железа, воду сначала обрабатывали кислородом воздуха для окисления ионов железа (II), отстаивали для осаждения гидроксида железа (III), а затем фильтровали через фильтр 400 нм для удаления осадка. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав воды п. Белый Яр (Томская область)

Показатели	Химический состав воды, мг/л					ПДК
	исходная	после окисления, отстаивания и фильтрации	после сорбции на AlOOH	после сорбции на AlOOH (Mn)	после сорбции на AlOOH (Cu)	
ХПК (мгО ₂ /л)	7,4	6,2	2,0	2,0	2,0	5,0
Al	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5
Mn	1,8	0,6	менее 0,1	менее 0,1	0,11	0,1
Cu	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0
Fe	18,3	4,6	1,2	0,9	1,0	0,3
Si	16,3	16,2	9,6	7,9	9,4	10,0

Из табл. 2 следует, что использование всех исследуемых сорбентов на основе нановолокнистого оксигидроксида алюминия приводит к снижению концентрации органических веществ, ионов марганца, железа и кремния после предварительной стадии окисления и осаждения ионов железа. Применение исследуемых сорбентов для очистки воды исходного состава не исследовали. Однако ранее проведенные эксперименты [16] по исследованию каталитических свойств оксигидроксида алюминия, модифицированного ионами марганца, в реакции окисления ионов железа (II) показали положительный результат. Поэтому использование этого сорбента при очистке подземных вод, содержащих повышенную концентрацию ионов железа, и вод, в которых процесс окисления ионов железа (II) затруднен ввиду наличия соединений, в которых ионы железа связаны в комплексные или коллоидные соединения, является целесообразным. Сравнения сорбционные свойства полученных сорбентов по отношению к ионам кремния, максимальное снижение концентрации показал образец, модифицированный ионами марганца. Степень извлечения ионов кремния составила 51 %.

Заключение

Определены основные параметры сорбции ионов кремния на оксигидроксида алюминия, модифицированном ионами марганца и ионами меди (II). Степень извлечения ионов кремния увеличилась на 10 % для образца, модифицированного ионами марганца, и на 3 % для образца, модифицированного ионами меди (II), по сравнению с немодифицированным образцом. Значение максимальной сорбционной емкости составило 44 мг/г для образца, модифицированного ионами марганца, и 39 мг/г – ионами меди (II).

Сорбент, полученный модифицированием оксигидроксида алюминия ионами марганца, показал максимальное снижение концентрации ионов кремния с 16,2 до 7,9 мг/л при обработке подземной воды на стадии доочистки и может быть рекомендован для использования. Исследование селективности данного сорбента по отношению к другим компонентам подземных вод является следующим этапом работы.

Список источников

1. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
2. Питьева К.Е. Гидрогеохимия (формирование химического состава подземных вод): моногр. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 428 с.
3. Видяйкина Н.В. Обеспечение экологической безопасности при использовании сельским населением подземных вод для питьевых целей на примере Томской области и Ханты-Мансийского автономного округа: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2010. 153 с.

4. Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in S-E Western Siberia artesian basin / A.A. Balobanenko, V.A. L'gotin, E.M. Dutova et al. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 43. P. 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012030.
5. Лонг Ле. Исследование влияния кремнезема, присутствующего в природных водах, на процессы очистки воды: дис. ... канд. техн. наук. М., 1972. 138 с.
6. Voyno D.A., Machekhina K.I., Shiyan L.N. The forming of Model Colloid System // Adv. Mater. Res. 2014. Vol. 971–973. P. 266–269.
7. Дикарев М.А. Реагентная водоподготовка – проблемы и решения // Новости теплоснабжения. 2000, № 9. С. 24–26.
8. Карелин Ф.Н., Хакимов Р.О. Обратноосмотическая очистка кремний содержащих вод // Химия и технология воды. 1992. Т. 4, № 4. С. 284–290.
9. Потапов В.В., Сердан А.А. Осаждение кремнезема из гидротермального теплоносителя электрокоагуляцией // Химическая технология. 2002. № 9. С. 2–9.
10. Квятковский В.М., Живилова Л.М. Исследования процесса магниального обескремнивания воды при высокой температуре // Теплоэнергетика. 1959. № 5.
11. Шемякина О.Н. Фильтрационное обескремнивание воды // Исследования по водоподготовке: сборник. М.: Госстройиздат, 1956. С. 12–16.
12. Извлечение коллоидного кремнезема из гидротермальных растворов мембранными методами / В.В. Потапов, В.Н. Зеленков, В.А. Горбач, В.Н. Кашпура, Г.М. Мин. М.: РАЕН, 2006. 228 с.
13. Федотов Р.В. Технология обескремнивания природных вод фильтрованием через модифицированную загрузку: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 163 с.
14. Сорбционная очистка модельных растворов от ионов железа и кремния с применением оксигидроксида алюминия / К.И. Мачехина, Е.Н. Грязнова, Л.Р. Меринова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 1. С. 79–87. DOI: 10/14529/chem190202
15. Исследование механизма адсорбции противоопухолевых лекарств на железокарбидных наночастицах / В.А. Митькина, Г.Г. Савельев, Т.А. Юрмазова, А.И. Галанов, Н.А. Яворовский // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317, № 3. С. 29–33.
16. Грязнова Е.Н. Технология получения модифицированного ионами марганца (II) оксигидроксида алюминия нановолокнистой структуры и материалов на его основе: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2015. 135 с.
17. Clinical experience of Al₂O₃ ceramics as a surgical implant / Y. Ooi, T. Suka, Y. Satoh, K. Shibuaya, I. Ohki, M. Masubuchi, K. Mikanagi // International orthopedics. 1982. Vol. 6. (2). P. 93–101.
18. Разработка комплекса безреагентной очистки воды / В.А. Хан, М.И. Лернер, В.Ф. Мышкин, А.А. Цхе // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 86 (02). С. 379–391.
19. Бакина О.В. Закономерности превращения нанопорошков алюмонитридной композиции в водных средах: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Томск, 2012. 22 с.
20. Ребиндер А.П. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 384 с.
21. Композиционные сорбенты на основе синтетического оксида марганца и углеродного волокна / Л.А. Земскова, А.В. Войт, Н.Н. Баринов и др. // Журнал неорганической химии. 2016. Т. 61, № 12. С. 1628–1634.

Мачехина Ксения Игоревна – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск). E-mail: machekhinaKsu@tpu.ru

Грязнова Елена Николаевна – кандидат технических наук, инженер по качеству, ООО «Рубиус» (Томск). E-mail: t_elenaN@tpu.ru

Абрамова Полина Владимировна – кандидат химических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск). E-mail: bozhkovp@tpu.ru

Поступила в редакцию 13 сентября 2022 г.

SORPTION PURIFICATION OF SOLUTIONS FROM SILICON IONS USING ALUMINUM OXYHYDROXIDE MODIFIED WITH MANGANESE AND COPPER IONS

*K.I. Machekhina*¹, *machekhinaKsu@tpu.ru*

*E.N. Gryaznova*², *t_elenaN@tpu.ru*

*P.V. Abramova*¹, *bozhkopv@tpu.ru*

¹ *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation*

² *Rubius, Tomsk, Russian Federation*

The sorption process of silicon ions from a sodium silicate solution by two sorbents has been investigated. The first sorbent with a specific surface area of 219 m²/g was obtained by modifying aluminum oxyhydroxide with manganese ions in a solution with the 0.4 % concentration of manganese ions. The second sorbent with a specific surface area of 204 m²/g was obtained by modifying aluminum oxyhydroxide with in a solution with the 0.4 % concentration of copper (II) ions. The modification process was carried out simultaneously with the reaction of thermal hydrolysis for the formation of nanofibrous aluminum oxyhydroxide at 60 °C. It has been determined that an increase of the copper ions concentration in the solution leads to increasing fraction of unreacted metallic aluminum and formation of reduced metallic copper. The degree of silicon ion extraction is 50% for the first sorbent and 44% for the second one at an initial silicon ion concentration 25 mg/L in its solution. It has been shown that the modification of aluminum oxyhydroxide with manganese ions and copper (II) ions increases the extraction degree of silicon ions by 10% and 3%, respectively, compared to the unmodified sorbent. The value of the maximum sorption capacity with respect to silicon ions is 44 mg/g for the first sorbent, 39 mg/g for the second one, respectively. The groundwater study has shown that the sorbent modified with manganese ions is more effective than the sorbent modified with copper (II) ions at the post-treatment stage. The use of the first sorbent leads to a decrease in the concentration of silicon ions from 16.2 to 7.9 mg/L and iron content decreases from 4.6 to 0.9 mg/L.

Keywords: aluminum oxyhydroxide, sorption, silicon, manganese ions, copper ions, water treatment

Received 13 September 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Мачехина К.И., Грязнова Е.Н., Абрамова П.В. Сорбционная очистка растворов от ионов кремния с применением оксигидроксида алюминия, модифицированного ионами марганца и меди // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 1. С. 75–82. DOI: 10.14529/chem230108

FOR CITATION

Machekhina K.I., Gryaznova E.N., Abramova P.V. Sorption purification of solutions from silicon ions using aluminum oxyhydroxide modified with manganese and copper ions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2023;15(1):75–82. (In Russ.). DOI: 10.14529/chem230108