
ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 544:544.7:544.723.21

ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Е. Ю. ШАЧНЕВА¹⁾

¹⁾*Южно-Российский государственный политехнический университет,
ул. Просвещения, 132, 346428, г. Новочеркасск, Россия*

Представлены результаты исследований сорбентов, полученных на основе природного минерального сырья – опок, в Астраханской обл. Показана роль техногенного воздействия на процесс загрязнения окружающей среды. Рассмотрены способы получения новых сорбционных материалов на основе природных образований, основным компонентом которых является опока, представляющая собой осадочную кремнистую горную породу. Описана структура данного природного минерала, состоящего на 90 % из мелкозернистого аморфного водного кремнезема с примесями глинистого вещества, карбонатов, кремниевых органических остатков, кварца, полевых шпатов, вулканического стекла и т. д. Изучаемый компонент по своему химическому и минеральному составу близок к трепелу, однако отличается от него большей плотностью. Исследованы основные адсорбционно-структурные и физико-химические характеристики рассматриваемых сорбентов. Рассчитаны такие величины физико-химических параметров полученных материалов, как пористость сорбента по ацетону, суммарный объем пор сорбента по воде, содержание влаги в сорбенте и рН водной суспензии сорбента. Определены такие адсорбционно-структурные характеристики, как удельная поверхность сорбента и насыпная плотность. В представленном материале описаны характер поверхности и структура опок как природного минерального сырья, лежащего в основе способов получения рассматриваемых сорбентов. Это позволяет изучить возможные сорбционные свойства описываемых продуктов. Приведены графические схемы строения глинистых минералов как кристаллических структур слоистого типа, атомная решетка вещества которых сочетает в себе два основных структурных элемента.

Образец цитирования:

Шачнева ЕЮ. Получение сорбентов на основе природного минерального сырья. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2022;2:66–74.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-2-66-74>

For citation:

Shachneva EYu. Obtaining sorbents based on natural mineral raw materials. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2022;2:66–74. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-2-66-74>

Автор:

Евгения Юрьевна Шачнева – кандидат химических наук, доцент; профессор.

Author:

Evgeniya Yu. Shachneva, PhD (chemistry), docent; professor.
evgshachneva@yandex.ru

Представлена графическая схема описываемых структурных элементов. Рассмотрена схема графического изображения структуры монтмориллонита, а также охарактеризован минеральный и химический состав опок Астраханской обл. Все вышесказанное позволяет сделать предположение о возможности их применения в качестве сорбента, а также базового материала для создания новых сорбционных материалов. Полученные результаты работы могут быть использованы для удаления токсикантов из различных сред, минимизировать производственные затраты, повысить эффективность работы адсорбентов в процессах их долговременной эксплуатации.

Ключевые слова: сорбционные процессы; сорбенты; минеральное сырье; удаление токсикантов.

OBTAINING SORBENTS BASED ON NATURAL MINERAL RAW MATERIALS

E. Yu. SHACHNEVA^a

*^aSouth-Russian State Polytechnic University,
132 Prosveshcheniya Street, Novocherkassk 346428, Russia*

The presented material shows the results of studies of sorbents obtained on the basis of natural mineral raw materials – the flask of the Astrakhan region. The role of technogenic impact on the process of environmental pollution is shown. The methods of obtaining new sorption materials based on natural formations, the main component of which is flask, which is a sedimentary siliceous rock, are considered. The structure of this natural mineral is described, consisting of 90 % fine-grained amorphous aqueous silica with admixtures of clay matter, carbonates, silicon organic residues, quartz, feldspar, volcanic glass, etc. The studied component is close to trepel in its chemical and mineral composition, differing from it in greater density. The main adsorption-structural and physico-chemical characteristics of the sorbents under consideration are investigated. The values of the physicochemical parameters of the obtained materials, such as the porosity of the sorbent for acetone, the total pore volume of the sorbent for water, the moisture content in the sorbent and the pH of the aqueous suspension of the sorbent, are calculated. Their adsorption-structural characteristics, such as the specific surface area of the sorbent and bulk density, are determined. The presented material describes the nature of the surface and the structure of the flask as a natural mineral raw material underlying the methods of obtaining the sorbents in question. This suggests possible sorption properties of the described products. Graphical diagrams of the structure of clay minerals as layered crystal structures are presented, the atomic lattice of the substance of which combines two main structural elements. A graphical diagram of the described structural elements is presented. In the course of the work, the scheme of the graphic representation of the montmorillonite structure is considered, and the mineral and chemical composition of the flask of the Astrakhan region is characterized. All of the above allows us to make an assumption about the possibility of their use as a sorbent, as well as a base material for the creation of new sorption materials. The obtained results of the work can be used to remove toxicants from various media, minimize production costs, and increase the efficiency of adsorbents in the processes of their long-term operation.

Keywords: sorption processes; sorbents; mineral raw materials; removal of toxicants.

Введение

Происходящие на планете эволюционные процессы в природе привели к распределению химических элементов. Возможные отклонения от установившегося в ней равновесия принято считать загрязнением окружающей среды. Причиной данных нарушений природного баланса природных равновесий является, прежде всего, деятельность человека, развитие науки и технического прогресса. Все это приводит к серьезным загрязнениям и последствиям. Сегодня загрязнение окружающей среды достигло значительных размеров. Такие отрасли промышленности, как химическая, металлургическая, топливно-энергетическая и многие другие являются основными производителями отходов. Сюда же можно отнести и машиностроение, автомобильный транспорт, сельское хозяйство. Содержание в отходах химических элементов достигло высокого уровня и сопоставимо с содержанием в месторождениях полезных ископаемых, которые подчас называют «техногенными месторождениями». Помимо литосферы часть отходов попадает в гидросферу. Происходит накопление химических элементов в микроорганизмах, донных отложениях и растительности.

Поэтому весьма актуальным является разработка эффективной технологии создания материалов на основе природных материалов, удаления и поглощения (сорбции) элементов из отходов посредством полученных сорбентов. Рассматриваемые далее в материале сорбенты являются частью природной среды. Это природные образования и материалы, полученные на их основе, основным компонентом которых является опока, представляющая собой осадочную кремнистую горную породу. Она (опока) состоит практически на 90 % из мелкозернистого аморфного водного кремнезема с примесями глинистого вещества, карбонатов, кремниевых органических остатков, кварца, полевых шпатов, вулканического стекла и т.д. Это природное образование, состоящее из твердой породы с полураковистым изломом, реже встречаются

более мягкие разновидности. По своему химическому и минеральному она близка к трепелу, отличаясь от него большей плотностью. Астраханские опоки относятся к опаловым породам с примесью кварца и глинистых материалов [1–4].

Характер поверхности и структуры полученных компонентов определяют сорбционные качества материалов. Влияние пористой структуры при этом весьма велико, подчас оно значительнее, чем влияние природы поверхности. Общая оценка пористости характеризуется суммарным объемом пор сорбента. Принимая во внимание, что пористость адсорбентов обусловлена наличием пор с радиусами различных размеров, большинство исследователей разделяло объем пор адсорбента на макро- и микропоры. Микро- и переходные поры играют основную роль в процессе сорбции, определяя техническую ценность сорбентов и их применимость. Характер пористой структуры адсорбентов определяет величину их удельной поверхности, которая характеризует количество адсорбируемого вещества, а также служит для вычисления величин адсорбции, работы и теплоты адсорбции и смачивания, отнесенных к единице поверхности.

Исследование опок с использованием рентгено-фазового, термического, химического и минералогического и других методов анализа показало, что основная масса опок и глин сложена немногими минералами, названными глинистыми [1–4]. Было определено, что эти минералы имеют в основном кристаллическое строение. Наличие аморфных веществ в них весьма незначительно. В минерале наблюдается наличие примеси карбонатов, сульфатов, оксидов металлов, а также кварц, слюда, опал и другие минералы. При этом в структуре вещества находится примесь органических веществ.

В большинстве глинистых минералов можно выделить кристаллические структуры слоистого типа (рис. 1).

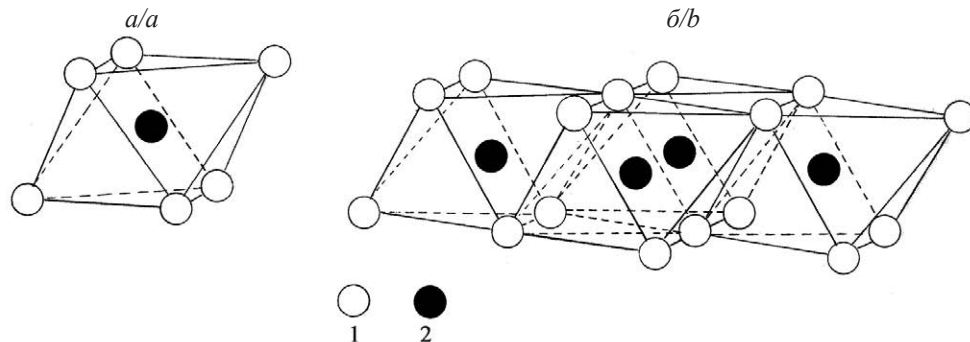


Рис. 1. Графическая схема изображения отдельного октаэдра (а) и октаэдрической сетки структуры (б):
1 – гидроксилы; 2 – алюминий, магний и т. д.

Fig. 1 Graphical diagram of the image of an individual octahedron (a) and an octahedral network of the structure (b):
1 – hydroxyls; 2 – aluminum, magnesium, etc.

В атомной решетке вещества сочетаются два основных структурных элемента. Первый элемент содержит в своем составе два слоя плотноупакованных атомов кислорода или гидроксильных групп с атомами алюминия, железа и магния в октаэдрической координации. Второй элемент состоит из кремнекислородных тетраэдров. На основании исследований необходимо выделить в первом элементе атомы металлов, которые равноудалены от 6 атомов кислорода или гидроксидов. Во втором элементе атомы кремния также равноудалены от 4 атомов кислорода или гидроксидов (рис. 2).

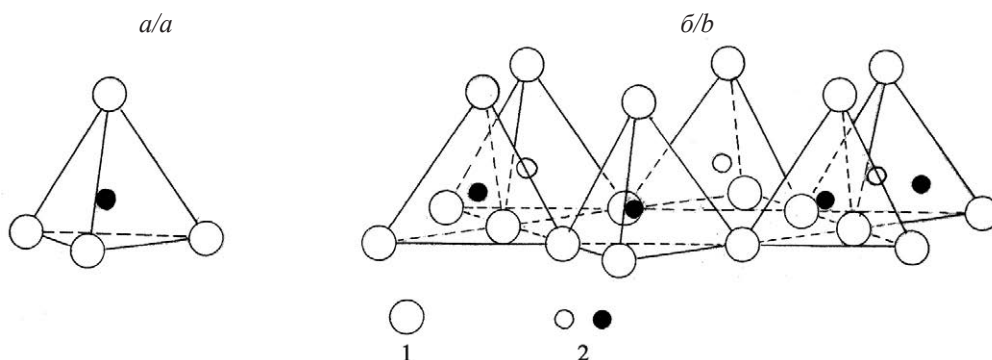


Рис. 2. Графическая схема изображения кремнекислородного тетраэдра (а) и сетки кремнекислородных тетраэдров, расположенных по гексагональному мотиву (б): 1 – атомы кислорода; 2 – атомы кремния

Fig. 2. Graphic scheme of the representation of a silicon-oxygen tetrahedron (a) and a grid of silicon-oxygen tetrahedra arranged in a hexagonal motif (b): 1 – oxygen atoms; 2 – silicon atoms

В образующейся гексагональной сетке связанные кремнекислородные тетраэдры расположены таким образом, что их вершины направлены в одну и ту же сторону, а основания тетраэдров находятся в одной и той же плоскости.

На рис. 3 приведено графическое изображение схемы структуры монтмориллонита.

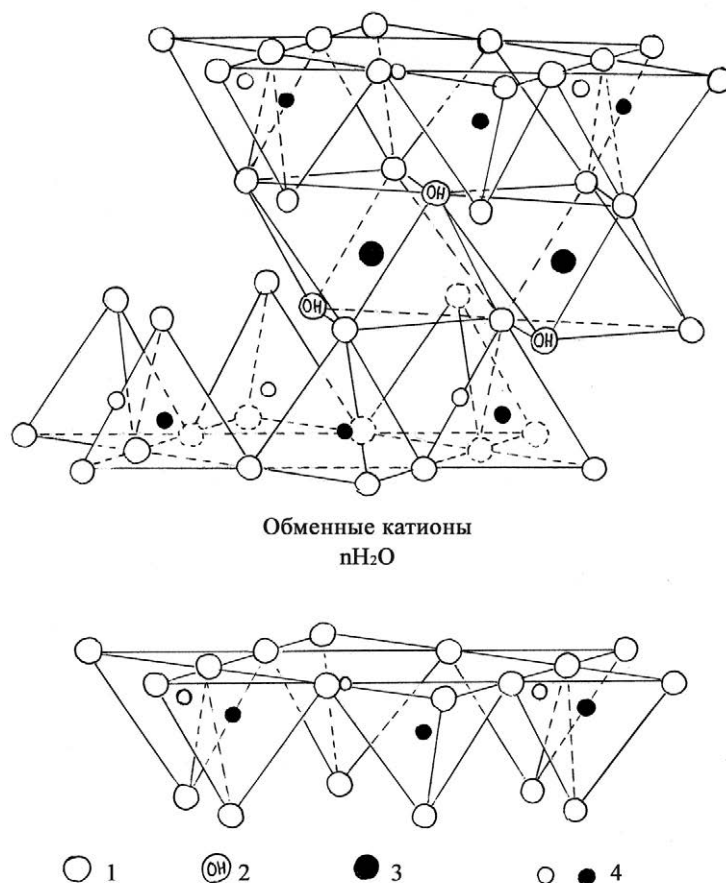


Рис. 3. Графическое изображение схемы структуры монтмориллонита:
1 – кислород; 2 – гидроксил; 3 – алюминий; железо, магний; 4 – кремний, иногда алюминий

Fig. 3. Graphical representation of the structure diagram of montmorillonite:
1 – oxygen; 2 – hydroxyl; 3 – aluminum; iron, magnesium; 4 – silicon, sometimes aluminum

По гранулометрическому составу глины – это полидисперсные системы, основная масса частиц которых имеет диаметр < 0,01 мм и до 25 % частиц – диаметр < 0,001 мм.

Минеральный состав опок приведен в табл. 1.

Таблица 1

Минеральный состав опоки Каменоярского месторождения (по данным рентгенофазового анализа)

Table 1

Mineral composition of the flask of the Kamennyarsk deposit according to X-ray phase analysis

№	Наименование пробы	ОКТ-фаза*, %	Кварц, %	Гидрослода, %	Монтмориллонит, %	Цеолит, %	Кальцит, %
1	Опока исходная, фракция (1,0–4,0)×10 ⁻³ м	86	4	3	5	2	–
2	Опока отмываемая водой (1,0–4,0)×10 ⁻³ м	93,5	3	1,5	2	–	–

Примечание. *ОКТ – опал-кристобалит-тридимитовая фаза.

На основании данных рентгенофазового анализа в исходной пробе опоки содержание опал-кристобалит-тридимитовой фазы довольно высокое ($\approx 86\%$) и отмытой пробе $\approx 93,5\%$. Содержание глинистой (монтмориллонита) фазы невысоко (≈ 5) и 2% , кварца – 4 и 3% , гидрослюда – 3 и $1,5\%$ соответственно. В исходной пробе, помимо основных компонентов, зафиксировано наличие цеолита. Его величина находится в пределах 2% .

Химический состав опок Астраханской обл. был изучен различными физико-химическими и химическими методами, результаты которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав опок Астраханской области

Table 2

Chemical composition of the flask of the Astrakhan region

Компоненты		Содержание, %	Допустимые уровни, %
SiO ₂ ,	%	75–80	–
Al ₂ O ₃ ,	%	18–23	–
Свинец,	мг/кг	1,27	Не более 32,0
Кадмий,	мг/кг	< 0,1	Не более 1,0
Мышьяк,	мг/кг	0,01	Не более 2,0
Ртуть,	мг/кг	0,01	Не более 2,1
Марганец,	мг/кг	10,3	Не более 100,0
Медь,	мг/кг	0,8	Не более 3,0
Кобальт,	мг/кг	0,5	Не более 3,0
Молибден,	мг/кг	0,5	Не более 3,0
Магний,	мг/кг	50,0	Не более 100,0
Цинк,	мг/кг	12,5	Не более 23,0
Стронций-90,	Бк/кг	0,5	
Цезий-137,	Бк/кг	0,7	
Уран (радий),	%	0,1	
Эффективная удельная активность,	Бк/кг	1,3	Не более 370
Содержание бенз(а)пирена и др. полиядерных ароматических,	мкг/кг	9,33	Не более 50

На основании данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что опоки Астраханской обл. содержат большое количество оксида кремния и алюминия. Это дает возможность использования материала в качестве сорбента. Содержание остальных элементов незначительно. Оно не превышает допустимых уровней, поэтому применение минерала для очистки питьевой воды весьма оправдано. Для определения минералогического состава компонента большую роль играет молекулярное отношение полуторных оксидов SiO₂ : R₂O₃, которое имеет численное значение больше четырех. Данное соотношение весьма характерно для глин и опок монтмориллонитового состава.

Опоки Астраханской обл. уникальный материал, способный поглощать различные органические и неорганические соединения из воды и воздушной среды, не нанося вред здоровью человека, являясь универсальным поглотителем. Но несмотря на это поглощение различных компонентов опоками проходит в основном только на поверхности минерала. Необходимо было создание таких сорбентов, которые бы поглощали по всему объему, и при этом сохраняли бы уникальные сорбционные свойства. С этой целью были получены модифицированные сорбенты серии СВ. Остановимся на них более подробно [5–12].

Материалы и методы исследования

Способ получения сорбента СВ-1-А. К 100 г тонкоизмельченной опоки с размерами частиц около 0,01 мм в поперечнике (месторождение с. Каменный Яр Астраханской обл.) вносят 100 г портландцемента-500, 10 г тонкоизмельченного пиролюзита (MnO_2), 25 см³ 10 %-ного раствора хлорида натрия, полученную смесь тщательно перемешивают. Массе дают подсохнуть до состояния, когда из нее можно сформовать гранулы, высушивают при температуре 100–105 °С, далее дают изделию отвердеть, на что уходит 3–4 суток. Полученный материал выдерживают в воде до тех пор, пока реакция на хлорид-ион будет отрицательной и высушивают при температуре 100–105 °С.

Способ получения сорбента СВ-1-А2. К 100 г тонкоизмельченного сорбента СВ-1-А с размерами частиц около 0,01 мм в поперечнике прибавляем 100 см³ флокулянта Z-92. Полученный раствор тщательно перемешивают и дают отстояться, сливают оставшуюся жидкость и заливают 500 см³ дистиллированной воды, постоянно перемешивая. Повторяют процедуру, затем оставляем сорбент на 1 час. Полученный сорбент высушивают в тонком слое при температуре 50–60 °С, постоянно перемешивая.

Способ получения сорбента СВ-1-А3. К 100 г тонкоизмельченного сорбента СВ-1-А с размерами частиц около 0,01 мм в поперечнике прибавляем 100 см³ флокулянта А-1510. Полученный раствор тщательно перемешивают и дают отстояться, сливают оставшуюся жидкость и заливают 500 см³ дистиллированной воды, постоянно перемешивая. Повторяют процедуру, затем оставляем сорбент на 1 ч. Полученный сорбент высушивают в тонком слое при температуре 50–60 °С, постоянно перемешивая [5–12].

Изучение основных адсорбционно-структурных и физико-химических характеристик модифицированных сорбентов (СВ-1-А, СВ-1-А2, СВ-1-А3). С использованием стандартных методик были изучены основные характеристики полученного сорбента: *физико-химические* – пористость сорбента по ацетону, суммарный объем пор сорбента по воде ($V_{\text{сум}}$), содержание влаги в сорбенте и рН водной суспензии сорбента; *адсорбционно-структурные* – удельная поверхность сорбента, насыпная плотность (табл. 4, 5) [5–12].

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве сорбционных материалов в различных отраслях промышленности применяются такие синтетические сорбенты, отходы производств, как шлак, зола, опилки и др., активированные угли, а также неорганические сорбенты, в том числе минеральные – силикагели, алюмогели, глины, цеолиты. Возможное использование природных минералов весьма оправдано как с экологической, так и с экономической точки зрения. Говоря о методе сорбционной очистки, нельзя не отметить, что он получил достаточно широкое распространение в связи с отсутствием вторичных загрязнений и высокой эффективностью. Эффективность сорбентов зависит от площади поверхности и присутствия активных участков на ней. Процесс адсорбции определяется не только свойствами и количеством введенного сорбента, но и химической природой и концентрацией поглощаемых компонентов. Количество поглощаемого вещества зависит как от свободной площади поверхности, так и ее свойств. При этом увеличение площади поверхности материала можно достичь такими методами, как измельчение, грануляция, увеличение пористости.

Природные сорбенты, к которым можно отнести и рассматриваемые в ходе исследования опоки и модифицированные сорбенты, являются сложными полиминеральными образованиями с разнообразной структурой частиц и природой поверхности. Как было описано выше, в качестве основной составной части природных сорбентов выделяют природные гели кремнезема, алюминия и алюмосиликагель.

Для создания сорбентов с большим числом микропор в смесь, состоящую из опоки, портландцемента-500 и пиролюзита вносили раствор хлорида натрия. После того как цементный раствор полностью затвердевал, хлорид натрия из полученного материала вымывали водой. В результате этого получали сорбент с высокой пористостью, твердостью, прочностью, а также высокой поглотительной способностью по отношению к ряду ионов металлов и органических соединений. Основным преимуществом сорбентов данного типа может являться большая удельная поверхность. У слоистых силикатов с расширяющейся вследствие набухания структурой (вермикулит и монтмориллонит) площадь поверхности может достигать 800 м²/г.

Смысл введения пиролюзита заключается в получении сорбента, который окисляет низкомолекулярные органические и неорганические соединения. Для получения последующих сорбентов данного класса на основе сорбента СВ-1-А в структуру материала были введены флокулянты.

Для исходных опок и модифицированных сорбентов, имеющих различную дисперсность, были определены следующие параметры: пористость по ацетону, суммарный объем пор по воде, влагосодержание, рН водной суспензии, представленные в табл. 3–5.

Таблица 3

Основные параметры различных фракций опоки Каменноярского месторождения

Table 3

The main parameters of various flask fractions of the Kamennyarsk deposit

Образец	Фракция $\times 10^3$, м	Пористость по ацетону, %	$V_{\text{сум}} \text{ пор по воде} \times 10^{-3}$, м ³ /кг	Содержание влаги, %	pH водной суспензии
Опока исх.	0,1–1,0	25	0,550	2	6,8–7
Опока исх.	4,0–6,0	15	0,600	2	6,8–7

Все природные цеолиты можно отнести к каркасным алюмосиликатам, в тетраэдрической структуре которых имеются полости, занятые такими одно- и двухвалентными катионами, как Na, K, Mg, Ca, Ba, а также молекулами воды, способными свободно поглощаться и удаляться структурой. Их структура построена из тетраэдров SiO₄ и AlO₄, связанных между собой. Из-за того, что валентность алюминия меньше валентности кремния, поверхность цеолита заряжена отрицательно. Этот заряд на поверхности минерала может компенсироваться однозарядными катионами, при этом они могут быть заменены на любой другой катион. Это свойство используют для извлечения из сточных вод катионов тяжелых металлов, которые к тому же могут сорбироваться в подходящих по размеру порах цеолитов.

Природные цеолиты также широко используются на практике в качестве сорбентов. В зависимости от типа и месторождения они имеют различную удельную микропористость и площадь поверхности.

Таблица 4

Основные физико-химические характеристики сорбентов

Table 4

Basic physico-chemical characteristics of sorbents

Сорбент	Диаметр частиц, мм	Пористость по ацетону, %	$V_{\text{сум}} \text{ пор по воде} \times 10^3$, м ³ /кг	Содержание влаги, %	pH водной суспензии
СВ-1-А	0,001–20	40	0,95	1,0	7,0
СВ-1-А2	0,001–20	42	0,92	1,2	8,0
СВ-1-А3	0,001–20	39	0,87	0,9	8,0

Таблица 5

Основные адсорбционно-структурные характеристики сорбентов

Table 5

The main adsorption-structural characteristics of sorbents

Сорбент	Диаметр частиц, мм	Насыпная плотность, г/см ³	Удел. поверхность, м ² /г
СВ-1-А	0,001–20	0,88	840
СВ-1-А2	0,001–20	0,72	820
СВ-1-А3	0,001–20	0,65	760

Полученные вышеперечисленные модифицированные сорбенты обладают такими высокими адсорбционными характеристиками, как большая удельная поверхность и высокая пористость. Все это позволяет считать, что полученные сорбенты возможно использовать для поглощения тяжелых токсичных металлов свинец и кадмий (табл. 6) [5–12]. Достаточно высокие значения насыпной плотности частиц позволяют сделать вывод о том, что частицы сорбентов достаточно прочные образования, сохраняющие свою форму и размеры при перемешивании, небольших механических воздействиях и при истирании.

Показатели для исходного материала и полученных сорбентов взаимосвязаны и позволяют прогнозировать изменение прочностных характеристик адсорбентов в процессах их долговременной эксплуатации.

Для всех вышеописанных сорбентов был изучен процесс адсорбции ряда веществ, определены величины параметров адсорбции и сорбционной емкости рассматриваемых материалов [12]. Полученные величины приведены в табл. 6.

Таблица 6

Основные характеристики сорбции ионов кадмия и свинца на сорбентах группы СВ ($n=6, P=0,95, t_p=2,57$)

Table 6

The main characteristics of the sorption of cadmium and lead ions on sorbents of the SV group ($n=6, P=0,95, t_p=2,57$)

Определяемая характеристика	Температура, К	Сорбенты		
		СВ-1-А	СВ-1-А2	СВ-1-А3
Емкость сорбента (Γ_{∞}), мг/г	277	33,30 ± 3,3	66,67 ± 6,7	62,50 ± 6,3
	298	40,00 ± 4,0	100,00 ± 10,0	83,33 ± 8,3
	313	50,00 ± 5,0	50,00 ± 5,0	50,00 ± 5,0
		Кадмий Cd (II)		
Емкость сорбента (Γ_{∞}), мг/г	277	40,00 ± 3,3	66,67 ± 6,7	90,90 ± 9,0
	298	43,67 ± 4,4	90,91 ± 9,0	95,24 ± 9,0
	313	66,67 ± 6,0	50,00 ± 5,0	62,50 ± 6,0

Заключение

Полученные результаты позволяют считать, что емкость рассматриваемых сорбентов по отношению к тяжелым токсичным металлам в среднем высока, что дает возможность извлекать из воды достаточно большие количества токсикантов в широком диапазоне температур. Применение рассматриваемых природных минералов и полученных на их основе высокодисперсных и пористых тел в качестве сорбентов способствует усилению интереса к изучению их строения, структуры, а также физико-химических свойств, что и предполагают наши дальнейшие исследования в этой области.

Библиографические ссылки

1. Шачнева ЕЮ, Хентов ВЯ. *Физико-химические процессы в техносфере*. Москва: Русайнс; 2016. 138 с.
2. Алыков НМ. *Природные ископаемые ресурсы и экологические проблемы Астраханского края*. Астрахань: Астраханский университет; 2005. 113 с.
3. Шачнева ЕЮ. *Физико-химия адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте СВ-1-А* [автореферат диссертации]. Махачкала: [б. и.]; 2011. 23 с.
4. Шачнева ЕЮ. *Физико-химия адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте СВ-1-А* [диссертация]. Махачкала: [б. и.]; 2011. 139 с.
5. Шачнева ЕЮ, Алыков НМ. Изучение сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А. *Безопасность жизнедеятельности*. 2010;8:39–42.
6. Шачнева ЕЮ, Алыков НМ. Исследование процесса сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А. *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*. 2010;8(53):50–54.
7. Шачнева ЕЮ, Алыков НМ. Сорбент для очистки воды от флокулянтов. *Экология и промышленность России*. 2010;8:20–21.
8. Шачнева ЕЮ. Изучение сорбционных свойств гранулированного модифицированного сорбента (СВ-1-АЛ). *Водоподготовка. Водоочистка. Водоснабжение*. 2014;12(84):4–5.
9. Шачнева ЕЮ, Арчибасова ДЕ, Зухайраева АС, Магомедова ЭМ. Извлечение меди, цинка и кадмия из водных растворов нефтяных месторождений сорбентом, полученном на основе опок Астраханской области. *Геология, география и глобальная энергия*. 2014;2(53):93–104.
10. Шачнева ЕЮ. Экспериментальное исследование сорбента, полученного на основе опок Астраханской области. *Вода: химия и экология*. 2017;5:60–66.
11. Шачнева ЕЮ. Извлечение железа из водных растворов нефтяных месторождений сорбентом, полученным на основе опок Астраханской области. *Экологические системы и приборы*. 2017;3:17–21.
12. Shachneva EY, Archibasova DE. Adsorption of cadmium ions from aqueous solutions on modified sorbents. *Chemistry & Chemical Technology*. 2018;12(2):182–187.

References

1. Shachneva EYu, Khentov VYa. *Fiziko-khimicheskiye protsessy v tekhnosfere* [Physicochemical processes in the technosphere]. Moscow: Rusays, 2016. 138 p. Russian.

2. Alykov NM. *Prirodnyye iskopayemyye resursy i ekologicheskiye problemy Astrakhanskogo kraya* [Natural mineral resources and environmental problems of Astrakhan region]. Astrakhan: Astrakhan University, 2005. 113 p. Russian.
3. Shachneva EY. *Fiziko-khimiya adsorbtsiyi flokulyantov i sinteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na sorbente SV-1-A* [Physics/chemistry of flocculants and synthetic surface-active substances with SV-1-A sorbent] [PhD thesis]. Makhachkala: [publisher unknown]; 2011. 23 p. Russian.
4. Shachneva EY. *Fiziko-khimiya adsorbtsiyi flokulyantov i sinteticheskikh poverkhnostnoaktivnykh veshchestv na sorbente SV-1-A* [Physics/chemistry of flocculants and synthetic surface-active substances with SV-1-A sorbent] [dissertation]. Makhachkala: [publisher unknown]; 2011. 139 p. Russian.
5. Shachneva EYu, Alykov NM. *Izucheniye sorbtsii flokulyantov na sorbente CV-1-A* [Study of flocculants sorption on the sorbent SV-1-A]. *Health and Safety*. 2010;8:39–42. Russian.
6. Shachneva EYu, Alykov NM. *Issledovaniye protsessa sorbtsii flokulyantov na sorbente SV-1-A* [Investigation of flocculants sorption process on sorbent SV-1-A]. *Proceedings of the universities. Chemistry and chemical technology*. 2010;8(53):50–54. Russian.
7. Shachneva EYu, Alykov NM. *Sorbent dlya ochistki vody ot flokulyantov* [Sorbents for water purification from flocculants]. *Ecology and Industry of Russia*. 2010;8:20–21. Russian.
8. Shachneva EYu. *Izucheniye sorbtsionnykh svoystv granulirovannogo modifitsirovannogo sorbenta (SV-1-AL)* [Study of sorption properties of granular modified sorbent (SV-1-AL)]. *Water treatment. Water treatment. Water supply*. 2014;12(84):4–5. Russian.
9. Shachneva EYu, Archibasova DE, Zukhayraeva AS, Magomedova EM. *Izvlecheniye medi, tsinka i kadmiya iz vodnykh rastvorov neftyanykh mestorozhdeniy sorbentom, poluchennom na osnove opok Astrakhanskoy oblasti* [Extraction of copper, zinc and cadmium from aqueous solutions of oil fields with a sorbent obtained on the basis of the Astrakhan region]. *Geology, geography and global energy*. 2014;2(53):93–104. Russian.
10. Shachneva EYu. *Eksperimental'noye issledovaniye sorbenta, poluchennogo na osnove opok Astrakhanskoy oblasti* [Experimental study of a sorbent obtained on the basis of the flask of the Astrakhan region]. *Water: chemistry and ecology*. 2017;5:60–66. Russian.
11. Shachneva EYu. *Izvlecheniye zheleza iz vodnykh rastvorov neftyanykh mestorozhdeniy sorbentom, poluchennym na osnove opok Astrakhanskoy oblasti* [Extraction of iron from aqueous solutions of oil fields with a sorbent obtained on the basis of the flask of the Astrakhan region]. *Ecological systems and devices*. 2017;3:17–21. Russian.
12. Shachneva EY, Archibasova DE. Adsorption of cadmium ions from aqueous solutions on modified sorbents. *Chemistry & Chemical Technology*. 2018;12(2):182–187.

Статья поступила в редколлегию 18.04.2022.
Received by editorial board 18.04.2022.