

ГАУ ДО «Детский технопарк «Кванториум»

Научно-исследовательская работа

«Сорбент для очистки воды на основе борно-свинцового стекла, модифицированного магнетитом и серебром»

Выполнил: Клименко Иван Сергеевич

Брянск 2023

Содержание:

Введение	3
1. Теоретическая часть	4
1.1 Вода. Химические и физические свойства воды	4
1.2 Физико-химические показатели качества воды	6
1.3 Методы очистки и подготовки воды к использованию	8
1.4 Современные технологии очищения	9
1.5 Применение наночастиц в процессе очистки и подготовки воды	10
2. Практическая часть	11
2.1 Подготовительный этап	11
2.2 Основная практическая часть	12
2.3 Покрытие свинцово-борного стекла серебром	13
Заключение	15
Список литературы	16
Глоссарий	17

Введение

Актуальность работы

Вода – одно самых распространённых веществ на Земле. Без неё невозможна наша жизнь. Человеческий организм на 60% состоит из воды, поэтому наше здоровье напрямую зависит от её качества.

К сожалению, сейчас нежелательные примеси содержатся как в поверхностных, так и в глубоких водах, поэтому без тщательной очистки обойтись не удаётся. Разные технологии позволяют очистить жидкость от всевозможных вредоносных веществ, начиная со удаления ржавчины и заканчивая уничтожением микробов. Но у каждой из них есть свои недостатки. В сложившейся обстановке выполнение проекта в соответствии с выбранной тематикой является актуальным и необходимым в части изобретения нового, а главное дешёвого сорбента для фильтрации загрязнённой воды.

Цель работы - получение эффективного сорбента на основе борно-свинцового стекла, модифицированного магнетитом для ускорения осаждения отработанного материала, и ионами серебра для удаления болезнетворных бактерий и микроорганизмов из загрязнённой питьевой воды.

Предмет исследования – борно-свинцовое стекло.

Объект исследования – магнетит и ионы серебра.

Задачи исследования:

1. Провести литературный анализ методов очистки и подготовки воды к использованию.
2. Изучить способы получения и возможности применения легкоплавких материалов в качестве основы для изготовления сорбционных материалов.
3. Получить эффективный сорбент на основе борно-свинцового стекла, модифицированного магнетитом и ионами серебра.

Научную новизну работы составляют:

- углублённые теоретические и практические подходы к получению и исследованию сорбентов на основе модифицированных легкоплавких материалов;
- изыскание перспективных и экологически чистых агентов для их применения в качестве эффективных очищающих сорбентов.

Практическую значимость результатов исследований составляют:

- исследование и внедрение методологической основы эффективных способов получения сорбционных материалов, способствующих очищению загрязнённых источников питьевой воды;

– внедрение положений по модификации сорбентов на основе легкоплавких материалов.

1. Теоретическая часть

1.1 Вода. Химические и физические свойства воды

Вода – уникальное химическое вещество. Оно уникальный растворитель и универсальный реактив. Вода вступает в ряд различных химических реакций:

1) Вода реагирует со многими металлами:

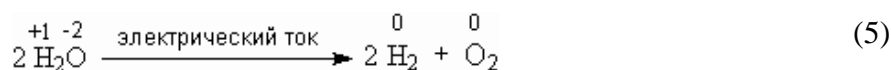


Не все, а только достаточно активные металлы могут участвовать в этих реакциях.

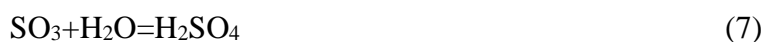
2) Из неметаллов с водой реагирует углерод и его водородное соединение (метан). Эти вещества менее активны, чем металлы, но все же тоже могут реагировать с водой при высокой температуре:



3) Вода под действием электрического тока разлагается на водород и кислород. Это также окислительно-восстановительная реакция, где вода является одновременно и окислителем, и восстановителем:



4) Вода реагирует со многими оксидами неметаллов:



5) Некоторые оксиды металлов также могут вступать в реакции соединения с водой.



Однако не все оксиды металлов способны реагировать с водой. Это ZnO, Cr₂O₃, CuO. Это свойство используют при изготовлении водостойких красок.

6) Вода образует многочисленные соединения, в которых её молекула полностью сохраняется. Это так называемые гидраты. Если гидрат кристаллический, то он называется кристаллогидратом. Например:

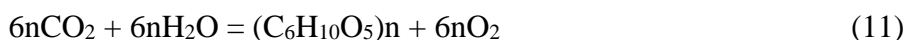


Приведем другой пример образования гидрата:



Соединения, связывающие воду в гидраты и кристаллогидраты, используют в качестве осушителей.

7) Особая реакция воды – синтез растениями глюкозы (C₆H₁₂O₆)_n и других подобных ей соединений, происходящая с выделением кислорода:



Вода при нормальных условиях находится в жидком состоянии, тогда как аналогичные водородные соединения других элементов являются либо газами (H₂S, BH₃, SiH₄, HF), либо твердыми веществами (AlH₃, NaNH₂, KNH₂). Атомы водорода присоединены к атому кислорода, образуя угол 104,45°. Из-за большой разницы электроотрицательности атомов водорода и кислорода электронные облака сильно смещены в сторону кислорода. По этой причине она является дипольной молекулой. Каждая молекула воды образует до четырёх водородных связей — две из них образует атом кислорода и две — атомы водорода. Количество водородных связей и их разветвлённая структура определяют высокую температуру кипения воды и её удельную теплоту парообразования.

При переходе в твёрдое состояние молекулы воды упорядочиваются, при этом объёмы пустот между молекулами увеличиваются, и общая плотность воды падает, что и объясняет меньшую плотность (большой объём) воды в фазе льда. При испарении, напротив, все водородные связи рвутся. Разрыв связей требует много энергии, отчего у воды самая большая удельная теплоёмкость среди прочих жидкостей и твёрдых веществ. Для того, чтобы нагреть один литр воды на один градус, требуется затратить ~ 4,19 кДж

энергии. Кроме большой удельной теплоёмкости, вода также имеет большие значения удельной теплоты плавления и парообразования.

Вода обладает высоким поверхностным натяжением, уступая в этом только ртути. Относительно высокая вязкость воды обусловлена тем, что водородные связи мешают молекулам воды двигаться с разными скоростями.

Вода является хорошим растворителем полярных веществ. Каждая молекула растворимого вещества окружается молекулами воды, причём положительно заряженные участки молекулы растворимого вещества притягивают атомы кислорода, а отрицательно заряженные — атомы водорода. Поскольку молекула воды мала по размерам, много молекул воды могут окружить каждую молекулу растворимого вещества.

Это свойство воды используется живыми существами. В живой клетке и в межклеточном пространстве вступают во взаимодействие растворы различных веществ в воде. Вода необходима для жизни всех без исключения существ на Земле [5].

1.2 Физико-химические и органолептические показатели качества воды

Вода, используемая людьми из разных источников, должна быть, неопасной с эпидемиологической, химической, органолептической точек зрения. Ведь именно эти показатели лежат в основе потребительской популярности и определяют потребительский спрос [2].

Общая минерализация

Общая минерализация – это содержание растворимых солей в жидкости. Вода с низким содержанием солей или их отсутствием теряет все свои полезные свойства. К величине минерализации с точки зрения отложения осадков и накипи в нагревательных приборах, паровых котлах, бытовых нагревательных устройствах применяются специальные требования.

Водородные показатели воды

Водородный показатель характеризует концентрацию свободных ионов водорода в воде. Из-за щелочной среды может изменяться скорость протекания разных биохимических реакций. Контроль за уровнем pH особенно важен на всех стадиях водоочистки, так как его отклонение может существенно сказаться на здоровье людей, употребляющих эту воду.

Запах

Химически чистая вода, или как её называют химики – дистиллированная вода, совершенно лишена запаха. С точки зрения науки, запах — это свойство веществ вызывать специфическое раздражение рецепторов слизистой оболочки носа. Интенсивность запаха воды определяют экспертным путем при $t\ 20^{\circ}\text{C}$ и 60°C .

Вкус

Вкус воды определяется растворёнными в ней веществами органического и неорганического происхождения и различается по определённым нормам. Вкус может быть щелочным, металлическим, вяжущим и другим. Различают 4 основных типа вкуса: солёный, кислый, сладкий, горький. Все остальные вкусы считаются ответвлениями от основных. Интенсивность вкуса определяют при $t=20^{\circ}\text{C}$.

Цветность

Цветность – показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды. Она определяется методом сравнения окраски испытуемой воды с эталонами и выражается в градусах платиново-кобальтовой шкалы. Высокая цветность свидетельствует о не очень хорошем качестве воды.

Мутность

Мутность воды вызвана присутствием тонкодисперсных веществ органического и неорганического происхождения. Главным отрицательным следствием высокой мутности является то, что в такой воде очень быстро размножаются микроорганизмы.

Прозрачность

Прозрачность – это светопропускаемость воды, то есть содержание в ней различных окрашенных и взвешенных различных веществ. Воду по типу прозрачности условно подразделяют на прозрачную, слабо прозрачную, опалесцирующую, слегка мутную, мутную, сильно мутную.

Перманганатная окисляемость

Выражается в мг кислорода, пошедшего на окисление этих веществ, содержащихся в 1 литре воды.

Жёсткость

Жёсткость воды принято связывать с содержанием двухвалентных катионов металлов (например, Ca, Mg). В действительности, все двухвалентные катионы в той или иной степени влияют на жёсткость. Они взаимодействуют с анионами, образуя соединения (соли жёсткости), способные выпадать в осадок.

Бактериологические и паразитологические показатели

Для выделения отдельных болезнетворных микроорганизмов в воде используется отдельная методика исследования, требующая больших затрат времени. Разнообразие бактерий, вирусов и простейших организмов, которые могут быть обнаружены в воде, очень велико. Специфические тесты на отдельные организмы не применимы для обыкновенного анализа микробиологического качества воды. Важно использовать быстрые

и качественные тесты, способные выявить весь спектр находящихся в воде микроорганизмов [1].

1.3 Методы очистки и подготовки воды к использованию

Вода является одной из важных составляющих нашей жизни и абсолютно каждый житель планеты нуждается в чистой и химически неопасной воде.

В современном мире для добычи воды используются насосные станции. На каждой такой станции и водозаборной системе применяются оптимальные методы и технологии очистки воды. Рассмотрим подробнее их особенности.

Способы очистки воды классифицируются по принципу действия:

I. Химические методы основаны на смешивании воды с реагентами.

Положительные черты:

- одни из самых эффективных методов;
- быстрое действие на больших объёмах воды;
- избирательное удаление определённых элементов загрязнения;
- не влияют на физические свойства воды.

Отрицательные черты:

- высокие траты на реагенты;
- постоянный и строгий контроль за соблюдением пропорций при введении реагента;
- необходимость проведения лабораторного анализа воды с целью выявления типа загрязнения и его концентрации.

В зависимости от типов реакций, лежащих в основе действия реагентов, выделяют следующие: нейтрализация, окисление и восстановление.

II. Физические методы применяются для очищения воды от твёрдых нерастворимых частиц.

Положительные черты:

- востребованы и необходимы на этапах первичной и грубой очистки;
- наиболее недорогой вариант очистки воды.

Отрицательные черты:

- помогают при очищении только нерастворимых частиц.

Одни из самых известных методов: процеживание, отстаивание, фильтрование и УФ-дезинфекция.

III. Физико-химические методы основаны на смешении физических и химических способов.

Положительные черты:

- широкий спектр применения;
- могут быть задействованы на любом этапе очистки;
- высокая производительность.

Отрицательные черты:

- высокая стоимость реагентов или составных частей для приборов очистки.

Наиболее востребованы такие физико-химические методы: флотация, сорбция, экстракция, ионообмен, электродиализ, обратный осмос и термические методы.

IV. Биологические методы используются при очистке сточных вод и основаны на использовании микроорганизмов (бактерий, простейших грибов).

Положительные черты:

- отсутствие опасных для человека веществ;
- не требует особых усилий;
- относительно низкая себестоимость.

Отрицательные черты:

- работают только на небольших объемах воды;
- необходимо большое земельное пространство для активации очистки.

Наиболее известные биологические методы: биофильтры, и аэротенки[7].

1.4 Современные технологии очищения

Современные способы водоочистки характеризуются одновременным использованием совершенно разных методик и появлением инноваций в данном направлении.

Из современных технологий наиболее уникальны такие:

- использование при очистке озонирования и УФ-излучения;
- применение нанотехнологий в системах водоочистки;
- вывод взвесей и растворённых органических примесей с помощью электроприборов и фотокатализации.

Эти перечисленные методы эффективны, но у них большая стоимость. Именно поэтому обычно при водоочистке многие предприятия используют недорогие и проверенные методы: обратный осмос, фильтрование, ионообмен.

1.5 Применение наночастиц в процессе очистки и подготовки воды

В последнее время много внимания исследователей уделено проблеме остаточных продуктов очистки воды. Использование традиционных дезинфектантов, таких как хлор и озон, приводит к образованию токсичных галогенсодержащих побочных продуктов, нитратов и пр. При очищении микроорганизмами образуются их продукты жизнедеятельности, которые также могут быть опасными для человека. Побочные продукты не образуются при УФ-излучении, но для уничтожения некоторых вирусов необходимы либо высокая интенсивность излучения, либо большая длина волны.

Поэтому сегодня ведётся поиск альтернативных способов очистки воды, которые не выделяют побочных продуктов и подходят для уничтожения любого вида вредных микроорганизмов.

Наиболее широкое применение в настоящее время получили наночастицы Ag, характеризующиеся широким спектром высокой антимикробной активности, низкой токсичностью для человека, простотой использования и относительной дешевизной. Считается установленным, что антимикробная активность наночастиц серебра связана с выделением ионов Ag^+ , которые взаимодействуют с тиоловыми группами белков, что приводит к их денатурации или упрощению структуры (потере своих первоначальных функций). Ионы Ag^+ , кроме этого, препятствуют репликации нуклеиновых кислот, синтезу АТФ и вызывают разрушение клеточной оболочки микроорганизмов.

Углеродные нанотрубки и наночастицы графена схожи в механизме действия. В результате непосредственного контакта вызывают гибель бактерий путем физического воздействия на клеточную мембрану и окисления компонентов клеток.

В данный момент предлагается использование микрофильтров с наночастицами серебра в водопроводных трубах.

Другим перспективным направлением считают использование наноматериалов для уменьшения загрязнения фильтров, но и затем придать им реакцию на появления вредных бактерий и вирусов (диоксид титана под действием ультрафиолетовых лучей способен быстро справляться с микроорганизмами). Основным недостатком нанотехнологий для обеззараживания воды является отсутствие остаточных веществ, препятствующих развитию микроорганизмов при хранении и транспортировке воды [4].

2. Практическая часть

2.1 Подготовительный этап

В качестве основы разрабатываемого сорбента было выбрано борно-свинцовое стекло, т.к. этот материал обладает низкой температурой плавления, что способствует упрощению процесса его модификации различными веществами.

Для получения борно-свинцового стекла были использованы следующие реактивы:

1. Борная кислота – H_3BO_3 ;
2. Оксид кремния (IV) – SiO_2 ;
3. Оксид свинца (II) – PbO ;
4. Магнетит – $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$

1. Синтез борной кислоты

Борную кислоту получал путём смешивания тетробората натрия с соляной кислотой. Для этого готовил раствор тетробората натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) концентрацией 0,25 г/см³. На аналитических весах взвешивал 5,0000 г буры, которую растворял в предварительно подготовленных и отмеренных пипеткой Мора 20 мл дистиллированной воды, нагретой до температуры 70° С.

В раствор тетробората натрия по каплям добавлял концентрированную соляную кислоту (HCl), одновременно контролируя концентрацию ионов водорода H^+ (при помощи лакмусового индикатора), которая должна составлять $\text{pH} \sim 1$. В результате чего была получена борная кислота. H_3BO_3 осаждал из раствора при помощи его охлаждения до температуры 3° С, после чего раствор подвергал фильтрации и сушке собранных на фильтре кристаллов борной кислоты (рисунок 1)[6].

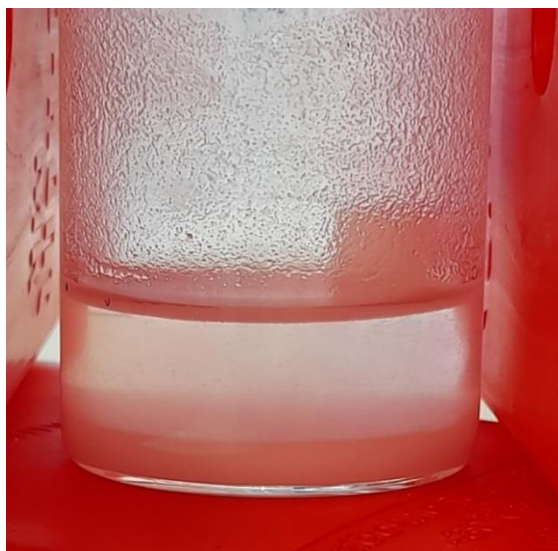
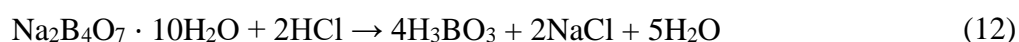


Рисунок 1. Перекристаллизация борной кислоты



Синтезированная борная кислота очищалась от примесей методом перекристаллизации. Из высушенной H_3BO_3 готовил насыщенный при температуре 60°C раствор, который фильтровал, не допуская его охлаждения. Фильтрат переносил в термостойкий химический стакан и упаривал его на водяной бане при температуре 95°C до образования на поверхности раствора плёнки. Для отделения примесей в упаренный раствор по каплям приливал концентрированную азотную кислоту (HNO_3), после чего его перемещал в холодильник с температурой 0°C до момента прекращения выпадения кристаллов очищенной борной кислоты. Охлажденный раствор с осадком снова фильтровал, а собранные на фильтре кристаллы борной кислоты высушивал в сушильной шкафу 80°C . Таким образом была получена химически чистая борная кислота H_3BO_3 .

2. Получение оксида кремния (IV)

Получение химически чистого оксида кремния (SiO_2) осуществлял при помощи реакции обмена между жидким натриевым стеклом ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$) и уксусной кислотой (CH_3COOH), в следствии чего образовывалась кремниевая кислота H_2SiO_3 , которую разлагал методом прокаливания на электрической плитке на оксид кремния и воду, испаряющуюся в процессе температурной обработки.



2.2 Основная практическая часть

В ходе изучения и анализа литературных источников информации, борно-свинцовое стекло изготавливал методом сплавления исходных сырьевых компонентов открытым пламенем газовой горелки.

Процесс получения выполнял следующим образом: в керамический тигель всыпал и смешивал 1 г H_3BO_3 , 3,92 г PbO , 0,2113 г SiO_2 и 0,867 г магнетита.

После равномерного прогревания тигеля направлял пламя на смесь, при этом постепенно увеличивал мощность горелки (рисунок 2) [3].



Рисунок 2. Плавление смеси



Рисунок 3. Борно-свинцовое стекло

Спустя некоторое время смесь превращалась в жидкое и вязкое вещество, которое направлял в воду для охлаждения, после чего образовывалось *борно-свинцовое стекло* (рисунок 3).

Изготовленное и модифицированное магнетитом борно-свинцовое стекло проявляет магнитные свойства, которые необходимы для ускорения и оптимизации процесса удаления отработанного сорбента.

2.3 Покрытие борно-свинцового стекла серебром

Для придания антибактериальных свойств сорбенту, полученному на основе борно-свинцового стекла и модифицированного магнетитом, на его поверхность наносил путём осаждения из раствора ионы серебра Ag^+ .

Обработку сорбента серебром осуществлял следующим образом:

1. Готовил два раствора: 1) 1 г NaOH на 100 мл; 2) 1 г AgNO_3 на 100 мл.
2. К раствору с нитратом серебра приливал водный раствор аммиака ($\text{NH}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) концентрацией 25 % до появления осадка. Добавление аммиака продолжал до момента растворения выпавшего осадка.
3. К полученному раствору добавлял раствор щёлочи NaOH для завершения протекающих реакций.
4. В качестве катализатора реакции дополнительно приливал 5 мл $\text{NH}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.
5. В полученный раствор добавлял изготовленный сорбент (пункты 2.1 и 2.2).

б. Раствор нагревал на плитке до температуры 100°C в течение $\sim 2-3$ часов. После того, как стекло покрывалось серебряной плёнкой, раствор фильтровал, а фильтр отправлял на просушку в сушильный шкаф при температуре 75°C .

Для закрепления плёнки Ag^+ на сорбенте использовал метод вжигания в муфельной печи при температуре $\sim 410^{\circ}\text{C}$ в течение 5 минут.

Таким образом, получен эффективный сорбент на основе борно-свинцового стекла, модифицированного магнетитом для ускорения осаждения отработанного материала, и ионами серебра для удаления болезнетворных бактерий и микроорганизмов из загрязненной питьевой воды.

Заключение

В ходе работы был выполнен анализ научных литературных источников по теме исследования.

Проанализированы существующие способы получения и возможности применения легкоплавких материалов в качестве основы для изготовления сорбционных материалов.

В ходе выполнения практической части работы приобретены новые навыки: проведение химических реакций в условиях повышенных температур, очищение веществ с помощью метода перекристаллизации, изучение на практике свойств различных веществ.

Был получен эффективный сорбент на основе борно-свинцового стекла, модифицированного магнетитом для ускорения осаждения отработанного материала, и ионами серебра для удаления болезнетворных бактерий и микроорганизмов из загрязненных источников питьевой воды.

Планируется продолжение работы в сторону улучшения свойств полученного сорбента, а также его апробацию в бытовых и промышленных условиях.

Список литературы

1. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. - М.: Изд-во «Ассоциации строительных ВУЗов», 2013. – 152 с.
2. Маннанова Г.В. Методы очистки промышленных сточных вод. - Москва: СИНТЕГ, 2015. – 122 с.
3. Стёкла свинцово-борные. 2022. URL: <https://www.chem21.info/info/502751>. – (дата обращения 28.01.2023).
4. Чакветадзе Дж. К. Припоечные композиты на основе стёкол систем $PbO-B_2O_3$ и $R_2O-SnO-P_2O_5$ ($R=Li, Na, K$). – М., 2019. – 201 с.
5. Павлушкин Н.М., Журавлев А.К. Легкоплавкие стекла. - М.: Энергия, 1970. – 232с.
6. Корякова З., Битт В. Легкоплавкие стёкла с определенным комплексом физико-механических свойств// Компоненты и технологии. - 2004. - №2. – С.32-38.
7. Современные способы и методы очистки воды. 2022. URL: <https://ovode.net/ochistka/sposoby-i-metody>. – (дата обращения 28.01.2023).

Глоссарий

Абсорбенты — тела, образующие с поглощённым веществом твёрдую нерастворимую в воде массу.

Диполь — это молекула с разными зарядами на концах, где водород несёт положительный заряд, а кислород отрицательный.

Наночастица — изолированный твёрдофазный объект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трёх измерениях составляют от 1 до 1000 нм.

Окисляемостью называется показатель, характеризующий присутствие в воде минеральных и органических веществ. Они окисляются (при некоторых условиях) химическими окислителями.

Перекристаллизация — это метод очистки, позволяющий отделить ценный кристаллический продукт от нежелательных примесей, растворённых в маточном растворе.

Сорбенты (от лат. *sorbens* —поглощающий) — твёрдые тела или жидкости, избирательно поглощающие (*сорбирующие*) из окружающей среды газы, пары или растворённые вещества.

Тигель — это ёмкость для нагрева, высушивания, сжигания, обжига или плавления различных материалов.