

Краевой конкурс творческих работ учащихся
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Извлечение тяжелых металлов из водных растворов на
углеродсодержащих сорбентах**

Шадрин Александр Витальевич,
11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Бахирева Ольга Ивановна,
к.х.н., доцент,

Леонтьева Галина Васильевна,
д.х.н., профессор

Пермь. 2012.

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1.Литературный обзор	4
§1.Влияние ионов тяжелых металлов на организм человека	4
§2.Метод очистки растворов от тяжелых металлов.....	6
§3.Адсорбция и абсорбция.....	6
§4.Угольные фильтры	7
§5.Получение активированных углей.....	7
§6.Классификация активированных углей.....	9
§7.Активированные углеродные волокна.....	10
Глава 2.Теоретический анализ.....	11
§1.Химическая связь в соединениях	11
Глава 3.Экспериментальная часть.....	13
§1.Расчет массы навесок	13
§2.Расчет сорбционной емкости угольного фильтра	14
§3.Расчет произведения растворимости	15
Список литературы.....	17

Введение

Термин тяжелые металлы, характеризующий широкую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение. В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В связи с этим количество элементов, относимых к группе тяжелых металлов, изменяется в широких пределах. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. В некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоидам (например, мышьяк).

В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. Практически все металлы, попадающие под это определение (за исключением свинца, ртути, кадмия и висмута, биологическая роль которых на настоящий момент не ясна), активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов.

По данным всемирной организации здравоохранения из используемых в настоящее время 500 тыс. химических соединений около 40 тыс. обладают вредными для человека свойствами, а 12 тыс. - токсичным. Многие из токсичных веществ в процессе их получения и исследования попадают в биосферу. Ослабление их влияния на окружающую среду в значительной мере может быть достигнуто с помощью химических методов.

Объектами загрязнения могут быть:

- Атмосфера- огромные массы пыли, кислые газы (диоксид углерода, соединения серы, оксиды азота и др.), оксиды металлов, различные органические вещества и т.д.;

- гидросфера- отходы производственной деятельности, в том числе многие продукты промышленных предприятий, выбросы городского и сельского хозяйства и др.;

-почва- токсичные вещества(диоксины, фитоксины, дефолианты, пестициды, гербициды. Ионы тяжелых металлов, соли), твердые отходы горных разработок, металлургических и химических заводов, тепловых электростанций и др.

Гидросфера играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе, и в обеспечении жизни человека. Вода широко используется человеком для его практической деятельности в промышленности, сельском и городском хозяйстве.

Воды могут быть питьевые, пресные поверхностные, подземные, атмосферные (осадки), морские, сточные.

Литературный обзор

Тяжёлые металлы - это элементы периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева, с относительной молекулярной массой больше 40. Одним из сильнейших по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением является загрязнение тяжелыми металлами.

Тяжелые металлы активно участвуют в биологических процессах, входя в состав многих ферментов. Группа "тяжелых металлов" во многом совпадает с понятием "микроэлементы". Отсюда свинец, цинк, кадмий, ртуть, молибден, хром, марганец, никель, олово, кобальт, титан, медь, ванадий являются тяжелыми металлами.

Влияние ионов тяжелых металлов на организм человека

Тяжелые металлы, попадая в наш организм, остаются там навсегда, вывести их можно только с помощью белков молока и белых грибов. Достигая определенной концентрации в организме, они начинают свое губительное воздействие - вызывают отравления, мутации. Кроме того, что сами они отравляют организм человека, они еще и механически засоряют его - ионы тяжелых металлов оседают на стенках тончайших систем организма и засоряют почечные каналы, каналы печени, таким образом, снижая фильтрационную способность этих органов. Соответственно, это приводит к накоплению токсинов и продуктов жизнедеятельности клеток нашего организма, т.е. самоотравление организма, т.к. именно печень отвечает за переработку ядовитых веществ, попадающих в наш организм, и продуктов жизнедеятельности организма, а почки - за их выведение наружу. Источники поступления тяжелых металлов делятся на природные (выветривание горных пород и минералов, эрозийные процессы, вулканическая деятельность) и техногенные (добыча и переработка полезных

ископаемых, сжигание топлива, движение транспорта, деятельность сельского хозяйства).

Часть техногенных выбросов, поступающих в природную среду в виде тонких аэрозолей, переносится на значительные расстояния и вызывает глобальное загрязнение.

Другая часть поступает в бессточные водоемы, где тяжелые металлы накапливаются и становятся источником вторичного загрязнения, т.е. образования опасных загрязнений в ходе физико-химических процессов, идущих непосредственно в среде (например, образование из нетоксичных веществ ядовитого газа фосгена).

Тяжелые металлы накапливаются в почве, особенно в верхних гумусовых горизонтах, и медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции - выдувании почв. Период удаления половины от начальной концентрации составляет продолжительное время: для цинка - от 70 до 510 лет, для кадмия - от 13 до 110 лет, для меди - от 310 до 1500 лет и для свинца - от 740 до 5900 лет. В гумусовой части почвы происходит первичная трансформация попавших в нее соединений.

Повышенная концентрация железа возникает при использовании стальных и чугунных водопроводных труб, разрушающихся из-за коррозии. «Железистая вода» первоначально прозрачна, но при отстаивании или нагреве приобретает желтовато-бурую окраску, что является причиной ржавых подтеков на сантехнике. На вкус такая вода приобретает характерный "железистый" привкус.

Регулярное употребление питьевой воды с повышенным содержанием железа, может привести к развитию заболевания, которое носит название гемохроматоз и характеризуется отложением соединений железа в органах и тканях человека.

Тяжелые металлы обладают высокой способностью к многообразным химическим, физико-химическим и биологическим реакциям. Многие из них имеют переменную валентность и участвуют в окислительно-восстановительных процессах. Тяжелые металлы и их соединения, как и другие химические соединения, способны перемещаться и перераспределяться в средах жизни, т.е. мигрировать. Миграция соединений тяжелых металлов происходит в значительной степени в виде органоминеральной составляющей. Часть органических соединений, с которыми связываются металлы, представлена продуктами микробиологической деятельности. Ртуть характеризуется способностью аккумулироваться в звеньях «пищевой цепи». Микроорганизмы почвы могут давать устойчивые к ртути популяции, которые превращают металлическую ртуть в токсические для высших организмов вещества. Некоторые водоросли, грибы и бактерии способны аккумулировать ртуть в клетках.

Ртуть, свинец, кадмий входят в общий перечень наиболее важных загрязняющих веществ окружающей среды, согласованный странами, входящими в ООН.

В природе чистой воды не встречается. В 1 литре пресной воды, как правило, содержится около 1 грамма солей. В морской воде их значительно больше. В водах наблюдается значительное содержание твердых взвесей, коллоидных веществ и примесей биологического и химического характера. Поскольку вода растворяет многие вещества – в ней содержатся газы, соли, включая ионы тяжелых металлов, растворимые химические соединения неорганического и биологического характера, диоксид углерода и другие. В зависимости от состава вод значение рН меняется в пределах 5,5 – 9,0.

В Российской Федерации установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) (мг/л) вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования:

Железо.....	0,5
Кобальт.....	1,0
Никель.....	0,1
Медь.....	1,0

Метод очистки растворов от тяжелых металлов

Для очистки вод от примесей используют различные методы, в зависимости от вида и количества в ней веществ- загрязнителей.

Во всех случаях первой стадией очистки является механическая очистка, предназначенная для удаления взвесей. Последующая очистка от химических веществ осуществляется различными методами – физико-химическими, химическими (реагентная очистка), электрохимическими, биологическими.

Во многих случаях приходится применять комбинацию указанных методов.

Физико-химические методы очистки применяют для удаления из растворов суспензированных и эмульгированных примесей, а так же растворенных органических и неорганических веществ. К этим методам относятся: коагуляция, адсорбция, ионный обмен, экстракция, обратный осмос, ультрафильтрация, кристаллизация и др.

Адсорбция и абсорбция

Под адсорбцией понимают поглощение какого-нибудь газообразного или растворенного вещества поверхностью твердого или жидкого вещества (адсорбента).

Если при этом поглощаемое вещество распространяется по всему объему, то процесс называют абсорбцией.

Явление адсорбция стало изучаться со 2-й половины 18 в. (Шееле, 1773), хотя несомненно, что в практической деятельности человечества адсорбция использовалась с незапамятных времён. Учение об адсорбции является частью более общей теории многокомпонентных гетерогенных систем, основы которой заложены У. Гиббсом (1876). Явление адсорбции тесно связано с особыми свойствами вещества в поверхностном слое. например, молекулы, лежащие на поверхности раздела фаз жидкость — пар, втягиваются внутрь жидкости, т. к. испытывают большее притяжение со стороны молекул, находящихся в объёме жидкости, чем со стороны молекул пара, концентрация которых во много раз меньше концентрации жидкости

Угольные фильтры

Не будет сильным преувеличением сказать, что сорбционные фильтры – это в первую очередь угольные фильтры.

Активированные угли – наиболее широко используемые сорбенты, производимые миллионами тонн в год. Это универсальные сорбенты, применяемые для удаления примесей самой различной химической природы.

Получение активированных углей

Сырьем для получения активированных углей служат органические вещества: природные или искусственные. Природные – это древесина, бурые и каменные угли, тяжелые фракции нефти. Искусственные – полимерные материалы, производимые химической промышленностью.

Производство активированного угля включает в себя несколько стадий:

Пиролиз (карбонизация) – сырье обжигается в безвоздушном пространстве при высокой температуре. Полученный уголь (карбонизат) на данной стадии является плохим адсорбентом, потому что поры у него очень малы.

Предварительное дробление – эту стадию проходят только крупные куски углей, так как активация углей больших размеров невозможна.

Активация – для этой стадии подходят угли, чей размер фракции составляет от 4 до 10 мм., но не более. Активация может осуществляться двумя способами: химическим и парогазовым. При химической активации обработка угля производится с

применением специальных химических компонентов. Парогазовая активация предполагает обработку угля с помощью перегретого водяного пара или путем окисления угля газом.

Карбонизация – это высокотемпературное разложение сырья в отсутствие кислорода. Такое нагревание без горения приводит к получению остатка, состоящего преимущественно из углерода.

После этого материал подвергают активации – обработке водяным паром или углекислым газом при температуре более 800 ° С. При этом частицы материала становятся похожими на хороший сыр – по всему объему их пронизывает разветвленная система пор, имеющих самый различный размер: от нескольких ангстрем до нескольких микрон. Таким образом, активированные углеродные материалы – это пористые углеродные материалы.

Активация позволяет получить сорбент с площадью пор около 1000-1500 квадратных метров на 1 грамм угля. Эти чрезвычайно высокие величины и объясняют необычайно высокую эффективность активированных углей.

Каким образом активированные угли задерживают примеси?

В разветвленной системе пор активированных углей присутствуют центры, связывающие молекулы примесей. При этом пористая структура углей так разнообразна, что каждой молекуле находится подходящее посадочное место. Небольшие молекулы – например, фенола и хлороформа – сорбируются в самых мелких порах, более крупные молекулы - в порах среднего размера. Большие макропоры служат транспортными туннелями, по которым молекулы вредных примесей движутся к местам вечной стоянки.

Эффективность сорбционного процесса на активированном угле определяется:

- сорбционной емкостью угля, то есть его предельной способностью к поглощению тех или иных примесей (количеством загрязнений, которые может "вобрать" в себя сорбент);
- прочностью связывания примесей на материале (силой взаимодействия молекулы с пористой средой угля). Проще говоря, способностью (точнее, неспособностью) отдавать накопленные примеси обратно в воду;
- скоростью поглощения примесей из раствора (скоростью сорбции).

Среди недостатков сорбционных систем нужно назвать, прежде всего, быструю "засоряемость" активированного угля. Это неудивительно - ведь ресурс сорбента ограничен площадью поверхности, к которой может "прилипнуть" "грязь". Когда вся поверхность сорбента уже занята, вода просто перестает очищаться.

Еще один недостаток. Уголь представляет собой прекрасную среду для развития микроорганизмов. В теплых условиях, при обилии влаги в активированном угле начинают очень быстро размножаться бактерии, грибки и плесень, и очень скоро активированный уголь превращается в черную слизь. Поэтому, используя сорбционные фильтры, необходимо внимательно следить, чтобы картридж не работал дольше положенного срока, и своевременно заменять его. Не стоит экономить на картриджах, ведь фильтр, отработавший свой ресурс, красивая, но совершенно бесполезная вещь. Для того чтобы избежать размножения бактерий в фильтрах, в сорбент добавляют бактерицидную добавку.

Классификация активированных углей

Активированный уголь в зависимости от ряда характеристик можно разделить на несколько видов.

Во-первых, активные угли отличаются по своей пористой структуре, в зависимости от которой можно выделить следующие виды углей:

- микропористый активированный уголь, у которого самые мелкие поры, чей размер составляет менее 1,6 нм, что соизмеримо с размерами адсорбируемых молекул; микропоры являются превосходным адсорбентом для самых маленьких молекул;
- мезопористый активированный уголь, поверхность которого заполняется адсорбируемыми молекулами послойно; размер мезопоры равняется 1,6-200 нм.; активный уголь с такими порами подходит лучше всего для адсорбции более крупных органических молекул;
- макропористый активный уголь, поры которого являются самыми крупными; особенность макропор заключается в том, что они при адсорбции не заполняются, а доставляют молекулы к адсорбирующим порам: размер макропор составляет более 200 нм.

Во-вторых, активированный уголь подразделяется на классы, исходя из своей основы – углеродосодержащего сырья, в качестве которого может выступать:

- древесная основа (активированный уголь БАУ-А);

- каменноугольная основа (активированный уголь АГ-3);
- скорлупа кокосовых орехов (активированный кокосовый уголь).

В-третьих, активный уголь в зависимости от формы и размера своих частиц может быть:

- гранулированным, гранулы которого имеют форму цилиндра:
- порошкообразным, размер частиц которых является самым маленьким – менее 0,1 мм.;
- дробленным, частицы которого неправильной формы.

Активированные углеродные волокна

Активированные углеродные волокна получают карбонизацией и активацией искусственных полимерных волокон, прежде всего вискозных¹.

В результате получают активированный углеродный материал, состоящий из нитей толщиной 6-10 микрон, благодаря чему обеспечивается чрезвычайно развитая поверхность контакта сорбента с водой, а следовательно – высокая скорость удаления примесей. Волокнистая структура слоев материала обеспечивает невысокое гидравлическое сопротивление слоя сорбента.

При активации тонких волокон в материале образуется микропористая структура, обеспечивающая чрезвычайно высокую энергию взаимодействия материала с органическими молекулами. При этом молекула взаимодействует с сорбентом несколькими своими центрами, запутываясь в “паутине” связей. По силе связывания примесей активированные углеродные волокна заметно превосходят дробленые активированные угли.

Наличие на поверхности материала большого количества кислотных и основных групп приводит к способности активированных углеродных волокон поглощать заметные количества ионов тяжелых металлов, что также выгодно отличает их от активированных углей и делает похожими на другой класс сорбентов – ионообменные смолы.

Интересной особенностью активированных углеродных волокон оказалась их способность сорбировать клетки микроорганизмов, подавляя их жизнедеятельность.

¹ **Вискоза** - вязкая масса, получаемая из древесной целлюлозы при обработке ее сероуглеродом и едким натром

Активированные углеродные волокна превосходят обычные активированные угли по всем основным параметрам: сорбционной емкости, силе связывания сорбированных молекул, скорости сорбции. Дополнительно они сорбируют тяжелые металлы и подавляют рост бактерий.

Теоретический анализ

Химическая связь в соединениях

Рассмотрим строение исходных соединений $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4$ и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

«Соль Мора» $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4$

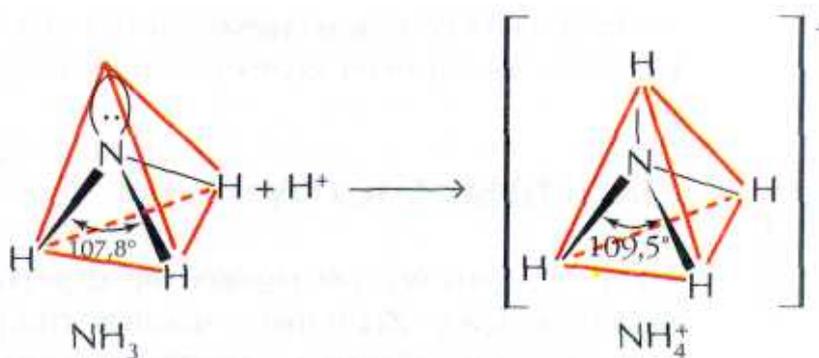
Состоит из устойчивых ионов NH_4^+ , SO_4^{2-} и Fe^{2+}

Уравнение диссоциации: $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4 \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

Катион: $\text{NH}_3 + \text{H}^+ = \text{NH}_4^+$

Связь: Донорно-акцепторная

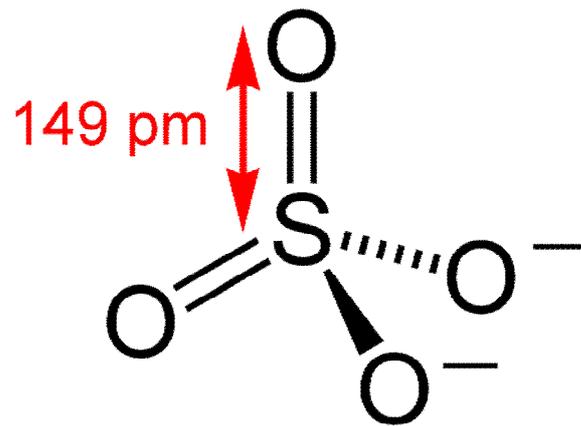
Форма NH_4^+ – тетраэдр



Анион: SO_4^{2-}

Связь: Ковалентная полярная

Форма: тетраэдр



Уравнение диссоциации: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$

Анион: NO_3^-

Связь: Ковалентная полярная

Форма: треугольная пирамида

Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента были приготовлены 0.01 М растворы $Pb(NO_3)_2$ и $(NH_4)_2FeSO_4$, из которых впоследствии извлекались ионы тяжелых металлов.

Расчет массы навесок:

$V_{p-pa}(Pb(NO_3)_2) = 500 \text{ мл.}$ $M_r(Pb(NO_3)_2) = 331 \text{ г/моль}$ $C_m \text{ p-pa} = 0,01 \text{ М}$	$1000 \text{ мл} - 331 \text{ г/л}$ $500 \text{ мл} - x$ $X = 500 * 331 / 1000 = 165,5 \text{ г.}$ $M_{навес} = 165,5 * 0,01 = \underline{1,655 \text{ г}}$
---	--

$V_{p-pa}((NH_4)_2FeSO_4) = 500 \text{ мл.}$ $M_r((NH_4)_2FeSO_4) = 188 \text{ г/моль}$ $C_m \text{ p-pa} = 0,01 \text{ М}$	$1000 \text{ мл} - 188 \text{ г/л}$ $500 \text{ мл} - x$ $X = 500 * 188 / 1000 = 94 \text{ г. (1 М p-p)}$ $M_{навес} = 94 * 0,01 = \underline{0,94 \text{ г.}}$
---	--

После очистки полученных растворов угольными фильтрами (В качестве углеродсодержащего сорбента использовался активированный уголь БАУ-А):

	1	2	3	4	5	6	7
Содержание Pb^{2+}	0	0	0	0	0	Следы Pb^{2+}	Pb^{2+}

1 Проба = 50 мл.

В качественной реакции на ионы Pb^{2+} использовался сульфид натрия (Na_2S):

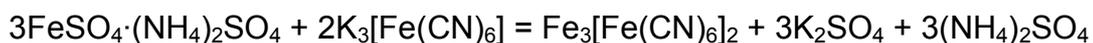


Наблюдение: При взаимодействии индикатора с исходным раствором выпадает осадок черного цвета. При взаимодействии осадителя с отфильтрованным раствором осадка не наблюдается.

Вывод: ионы Pb^{2+} были поглощены угольным фильтром. Получен очищенный раствор.

	1	2	3	4
Содержание Fe ²⁺	0	0	0	Следы Fe ²⁺

В качестве осадителя использовался гексацианоферрат(III) калия (K₃[Fe(CN)₆]) (красная кровяная соль):



Наблюдение: При взаимодействии индикатора с исходным раствором выпадает осадок синего цвета (турнбулева синь). При взаимодействии индикатора с отфильтрованным раствором осадка не наблюдается. В IV пробе проявились следы Fe²⁺, это свидетельствует о "засорённости" активированного угля

Вывод: Получен очищенный раствор. После фильтрации 150 мл раствора (NH₄)₂FeSO₄ угольный фильтр выработал ресурс.

Расчет сорбционной емкости угольного фильтра

$$A = (C_{\text{исх}} - C_{\text{рав}}) \cdot V / 1000$$

Исходная концентрация Pb²⁺ = 2,07 г/л. (0,01M)

Масса угля = 12 г.

№ пробы	V пробы, мл	C _{исх. Pb} , мг/л	C _{рав. Pb} , мг/л	A, мг	DOE, мг/г угля
1	50	2070	0,5	103,47	25,6
2	50		5	103,25	
3	50		10	103	
4	50		50	101	

Исходная концентрация $\text{Fe}^{2+}(\text{C}) = 0,56 \text{ г/л. (0,01 M)}$

№ пробы	V пробы, мл	C _{исх. Pb} , мг/л	C _{рав. Pb} , мг/л	A, мг	DOE, мг/г угля
1	50	560	0,05	27,9	9
2	50		0,1	27,9	
3	50		1	27	
4	50		10	27,5	

По результатам расчетов было установлено, что углеродсодержащий фильтр способен значительно сократить концентрацию ионов Fe^{2+} и Pb^{2+} , однако, для того, чтобы достигнуть уровня, не превышающего ПДК, необходимо использовать комбинации различных методов.

Расчет произведения растворимости.

Произведение растворимости (ПР) малорастворимых веществ

Вещество	ПР	Вещество	ПР
PbS	$2,5 \times 10^{-27}$	$\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$	$3,0 \times 10^{-41}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$7,1 \times 10^{-16}$		



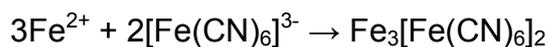
$$[\text{Pb}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = \text{ПР}$$



$$[\text{Pb}^{2+}] \times [1] = \text{ПР} = 2,5 \times 10^{-27} \text{ моль/л}$$

$$[\text{Pb}^{2+}] = 2,5 \times 10^{-27} \text{ моль/л} = 517,5 \times 10^{-24} \text{ мг/л} < \text{ПДК (0,01-0,03 мг/л)}$$

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что Na_2S в качестве осадителя значительно понижает концентрацию ионов Pb^{2+} в растворе до уровня, соответствующего ПДК. Это значит, что использование данного вещества для очистки водных растворов от ионов тяжёлых металлов довольно рационально, учитывая его низкую стоимость и доступность



$$[\text{Fe}^{2+}]^3 \times [[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}]^2 = \text{ПР}$$

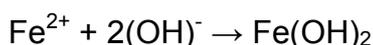


$$[\text{Fe}^{2+}]^3 \times [0,1]^2 = \text{ПР} = 3,0 \times 10^{-41}$$

$$[\text{Fe}^{2+}]^3 = 3,0 \times 10^{-39}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = 144 \times 10^{-15} \text{ моль/л} = 8,064 \times 10^{-9} \text{ мг/л} < \text{ПДК} (0,3-0,5 \text{ мг/л})$$

В качестве осадителя может выступать и NaOH (0,01 M)



$$[\text{Fe}^{2+}] \times [\text{OH}]^2 = \text{ПР}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] \times [0,01]^2 = \text{ПР} = 7,1 \times 10^{-16}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = 7,1 \times 10^{-12} \text{ моль/л} = 3,976 \times 10^{-7} \text{ мг/л} < \text{ПДК} (0,3-0,5 \text{ мг/л})$$

Вывод: Использование $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в качестве осадителя, надежно очищает раствор от Fe^{2+} , однако, его высокая стоимость и сложность получения, делают очистку водных растворов невыгодной. Чтобы добиться наилучших результатов следует использовать углеродсодержащие сорбенты. В совокупности с NaOH, отличающимся низкой стоимостью, они способны качественно очистить водный раствор, при этом концентрация ионов Fe^{2+} будет во много раз меньше предельно допустимой концентрации.

Список литературы

- 1) В.В. Вольхин, С.А. Колесова, Г.В. Леонтьева, Е.А. Шульга "Химические процессы в экологии", Пермь, 1998 (ПГТУ, кафедра химии)
- 2) Михайленко Я.И. «Курс общей и неорганической химии» М., 1966
- 3) Потапов В.М., Хомченко Г.П. Химия. – М.: «Высшая школа», 1982г.
- 4) Реми Г. «Курс неорганической химии». Том II. Издательство «МИР». Москва 1966г.
- 5) Соколова Т.С, Колеватова В.С, Мальцева Т.Г , Махнева Т.А , Косых В .М, Старков Л.Н., Ходяшев Н.Б. Методические указания к лабораторным работам по общей химии (I семестр) для студентов нехимических специальностей. – Пермь, Пермский государственный технический университет, 1994г.

1. www.alhimik.ru
2. www.aquatoris.ru
3. www.o8ode.ru
4. www.webelements.narod.ru
5. www.wikipedia.org