

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

Прикладные вопросы математики

**Сорбционные способы извлечения ионов металлов из водных  
растворов**

Хайбуллин Руслан Гайсаевич,

11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Бахирева Ольга Ивановна,

к.х.н., доцент,

Леонтьева Галина Васильевна,

д.х.н., профессор

Пермь. 2012.

# Оглавление

I. Литературный обзор.....	3
I.1 Основные загрязнители водных сред.....	3
I.1.1 Органические загрязнители .....	3
I.1.2 Пестициды .....	3
I.1.3 Нефтепродукты .....	3
I.1.4 Тяжелые металлы .....	4
I.1.5 Биогенные вещества .....	4
I.1.6 Неорганические соли .....	4
I.2 Очистка сточных вод.....	4
I.3 Методы очистки сточных вод.....	5
I.3.1 Механические методы.....	5
I.3.2 Химические методы.....	5
I.3.3 Коагуляционные и флотационные методы.....	5
I.3.4 Мембранные методы.....	5
I.3.5 Методы деминерализации сточных вод.....	6
I.3.6 Биологические методы.....	6
I.3.7 Сорбционные методы.....	6
I.3.7.1 Ионообменные методы.....	6
I.3.7.2 Ионообменные смолы.....	6
I.3.7.3 Неорганические иониты.....	7
II. Извлечение ионов металлов с помощью неорганического ионита сульфида цинка (ZnS). Методика выполнения эксперимента.....	7
II.1 Получение сульфида цинка.....	8
II.1.1 Расчёт массы навесок.....	8
II.1.2 Уравнение реакции получения раствора сульфида цинка и термодинамические расчёты.....	8
III. Экспериментальная часть.....	9
III.1 Исследование сорбционных свойств сульфида цинка на примере ионов меди .....	9
III.2 Исследование сорбционных свойств сульфида цинка на примере ионов кадмия.....	10
Заключение.....	11
Список литературы.....	11

Объем потребляемой в мире воды достигает 4 трлн. м<sup>3</sup> в год, а преобразованию со стороны человека подвергается практически вся гидросфера.

За время существования человечества в природную среду было введено около миллиона новых веществ (всего известно свыше 6 млн. химических соединений). Ежегодно в мире синтезируется около 250 тысяч новых химических соединений, многие из которых получают широкое применение и могут поступать в окружающую среду. В практике используется 500 тысяч химических соединений, из них по оценке международных экологических организаций, около 40 тысяч обладают вредными для человека свойствами, а 12 тысяч являются токсичными.

Химическая и нефтехимическая отрасли промышленности способствуют проникновению в водную среду веществ, нормально отсутствующих в ней, или превышению естественного уровня их концентрации, ухудшающим качество среды.

Миллиарды тонн полезных ископаемых, отчужденных от живой природы, извлекаются ежегодно на поверхность Земли и как в обычном состоянии, так и после всевозможных превращений рассеиваются в окружающей среде.

Вредные химические элементы и вещества попадают в водоемы, ухудшая их санитарное состояние и вызывая необходимость специальной глубокой очистки воды перед использованием ее для хозяйственно-питьевых и некоторых промышленных целей

Многие примеси не извлекаются из воды механически, не нейтрализуются при биологической очистке, не удаляются такими традиционными методами водоочистки, как отстаивание, коагуляция и флотация. Это обуславливает введение в комплексную технологическую схему водоподготовки стадии сорбционной доочистки. Как правило, эта стадия является заключительным этапом в технологическом процессе очистки воды.

Сорбционный метод является хорошо управляемым процессом. Он позволяет удалять загрязнения чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости. При этом отсутствуют вторичные загрязнения. Отсюда перспективной является тенденция развития фильтрующе-сорбирующих устройств, предназначенных для локальной доочистки питьевой воды.

## **I. Литературный обзор**

### **I.1 Основные загрязнители водных сред**

Различают природную, сточную и денатурированную воду. Природная вода - это вода, которая качественно и количественно формируется под влиянием естественных

процессов при отсутствии антропогенного воздействия и качественные показатели которой находятся на естественном среднемноголетнем уровне. Сточная вода - это вода, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию, в том числе населенного пункта. Природная вода, подвергаемая антропогенному загрязнению, например, путем смешения со сточной водой, называется денатурированной или природно-антропогенной.

### **I.1.1 Органические загрязнители**

Десятки миллионов тонн органических соединений, в том числе миллионы тонн ПАВ, ежегодно поступают в атмосферу и водоемы из многочисленных и разнообразных источников (испарение, потери и неполное сгорание химического органического топлива, городские и промышленные жидкие, твердые и газообразные отходы и т.д.). В окружающей среде они подвергаются воздействию различных физико-химических и биологических агентов. Многие из них распадаются за сравнительно короткий срок (10-100 дней) с образованием промежуточных продуктов, в том числе метаболитов - продуктов обмена веществ в живых организмах, вплоть до полной минерализации. В ряде случаев промежуточные продукты разложения органических соединений оказываются более токсичными загрязнителями, чем исходные вещества, и система подвергается вторичному химическому загрязнению.

Особую опасность представляют биологически стойкие трудноокисляемые органические соединения. Они способны накапливаться в окружающей среде и в течении длительного времени оказывать токсическое воздействие на живые организмы.

### **I.1.2 Пестициды**

Ежегодно в окружающую среду вводится 2 млн. т пестицидов (хлорорганические и фосфорорганические соединения, производные карбаматов, хлорфенксикислот). Даже очень малые концентрации пестицидов токсичны и придают воде неприятные привкусы и запахи. Многие из них разрушаются очень медленно (иногда в течении нескольких лет). Часто продукты распада пестицидов достаточно стойки и также могут оказывать токсическое действие.

Поскольку значительная часть стойких загрязнителей поступает в водоемы с промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми сточными водами, то очистка и повторное использование этих вод имеют большое экологическое значение и осуществляются во многих странах. В связи с малыми концентрациями стойких органических веществ, в сточных водах наибольшее применение находят методы очистки,

основанные на сорбции на природных ионитах (глинистые минералы и цеолиты), синтетических макропористых ионитах и активных углях.

### **I.1.3 Нефтепродукты**

Особую группу химических загрязнителей составляют нефтепродукты. Степень воздействия нефтепродуктов на водную среду определяется прежде всего их составом. В высокомолекулярных фракциях нефти содержится до 5 % серы, 1% азота и кислорода, а также различные комплексообразующие металлы. В водной среде нефтепродукты образуют пленку, которая взаимодействует с естественной поверхностной пленкой, увеличивая ее толщину. Одна тонна нефти может растекаться и покрыть поверхность воды, равную 20 км<sup>2</sup>, в течение 6-7 суток. До 25 % от общей массы (легколетучие компоненты) испаряется за несколько дней. Тяжелые фракции оседают на дно водоема, изменяя биологические особенности среды обитания.

### **I.1.4 Тяжелые металлы**

К стойким химическим загрязнителям со специфическими токсическими свойствами относятся и тяжелые металлы. Тройку наиболее экологически опасных тяжелых металлов составляют свинец, ртуть и кадмий. Более 35 видов металлов извлекается в составе руд и химического топлива из недр Земли на ее поверхность.

Поступая в водную среду, тяжелые металлы вступают во взаимодействие с другими компонентами среды, образуя гидратированные ионы, оксигидраты, ионные пары, комплексные неорганические и органические соединения. Конкретная форма существования металлов зависит от их природы, природы ионов и молекул, конкурирующих за место лиганда, рН, температуры и ионности среды.

Многие тяжелые металлы образуют так называемые синергетические смеси, которые оказывают на водные организмы токсическое воздействие, значительно превышающее сумму действий отдельных компонентов.

Поведение тяжелых металлов в реальных средах сложно и малоисследовано. Вместе с тем их накопление в живой природе вызывает серьезное беспокойство во всем мире. Поэтому поступление тяжелых металлов в атмосферу, водоемы и на сельскохозяйственные поля должно быть приостановлено и взято под строгий контроль. Все источники тяжелых металлов могут быть ликвидированы путем организации на предприятиях систем очистки и повторного использования сточных вод.

### **I.1.5 Биогенные вещества**

Особую опасность представляют соединения азота и фосфора, в больших количествах попадающие в водоемы с бытовыми промышленными сточными водами, из атмосферы (оксиды азота), а также вследствие вымывания минеральных и органических удобрений из почвы. В результате смыва удобрений в водоемы мира ежегодно поступает от 3 до 6 млн. т  $P_2O_5$ .

Попадая в водоемы, биогенные элементы стимулируют развитие сине-зеленых водорослей. Происходит эвтрофикация (цветение) водоемов. Вследствие массового гниения водорослей в воде появляются сероводород, меркаптаны, фенолы и другие токсичные продукты, исчезает кислород, вода становится мертвой.

### **I.1.6 Неорганические соли**

Отдельную группу химических загрязнителей составляют неорганические соли. Несмотря на малую токсичность многих растворимых солей, все возрастающее накопление их в природных пресных водах вызывает ряд серьезных экономических и экологических проблем: увеличение затрат на водоподготовку на электростанциях и промышленных предприятиях, уменьшение запасов пресной воды, пригодной для полива сельскохозяйственных угодий, ухудшение условий нереста рыб, ухудшение качества питьевой воды и т.д. Основными источниками поступления солей в водоемы являются дренажные сельскохозяйственные воды, промышленные сточные воды, в том числе продувочные воды систем водоснабжения, регенерационные растворы и промывные воды установок водоподготовки электростанций и др.

## **I.2 Очистка сточных вод**

Современный уровень техники и технологии очистки сточных вод обеспечивает получение воды практически любой степени чистоты.

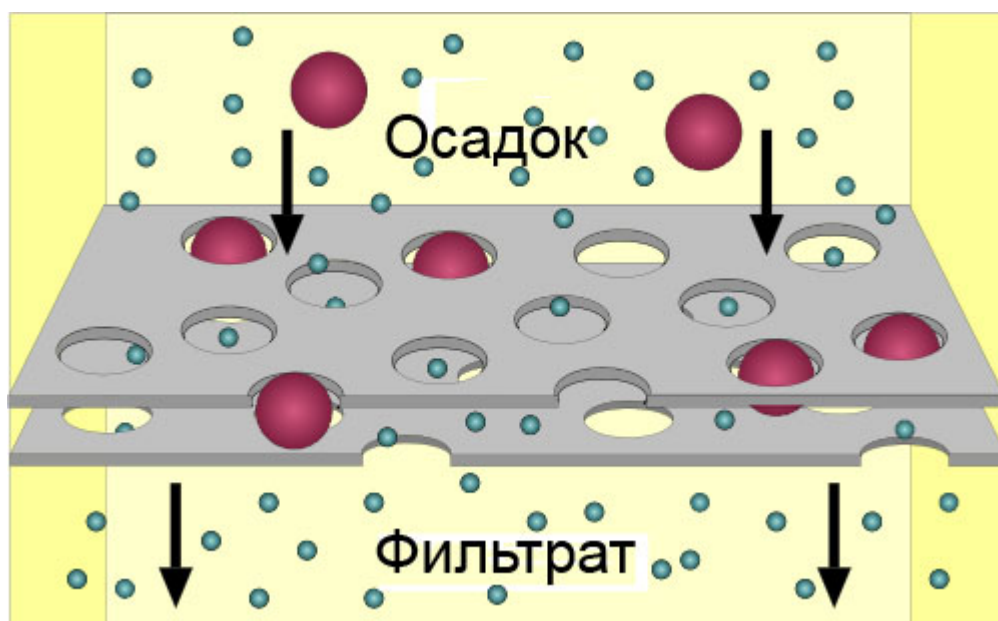
Поскольку большинство вредных веществ поступает в водные объекты со сточными водами предприятий, а также со сточными водами сельского хозяйства, то перед всеми отраслями народного хозяйства стоит сложная и важная задача: не допускать загрязнения и истощения природных водных ресурсов.

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные смеси, содержащие примеси органического и минерального происхождения, которые находятся в растворенном и нерастворенном состоянии.

### **I.3 Методы очистки сточных вод**

#### **I.3.1 Механические методы**

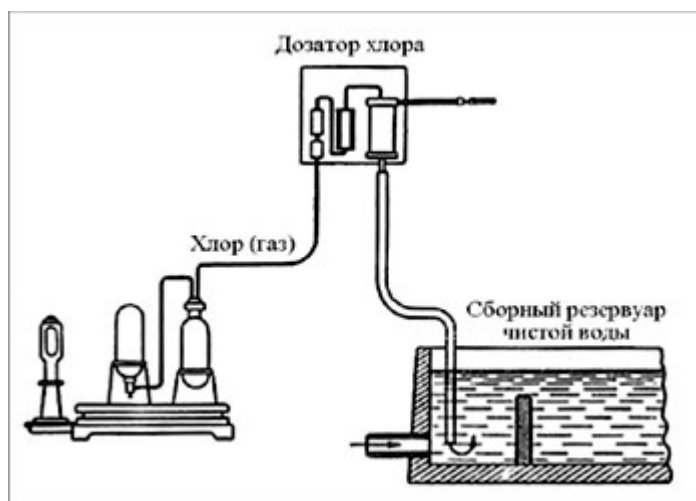
К данным методам относятся отстаивание, фильтрование, центрифугирование. Они позволяют осветлить сточные воды, удалить примеси, а также разделить неоднородные системы (жидкость - твердое тело).



(Процесс фильтрования)

#### **I.3.2 Химические методы**

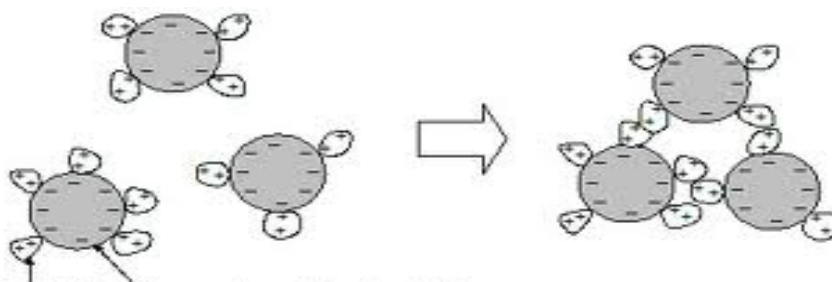
Основными методами химической очистки производственных сточных вод являются нейтрализация и окисление. Из методов нейтрализации наиболее распространен метод известкования, к методам окисления относятся, в основном, хлорирование и озонирование.



(Процесс хлорирования)

### I.3.3 Коагуляционные и флотационные методы

Очистка сточных вод от основных загрязняющих компонентов может быть осуществлена отстаиванием. Для ускорения процессов отстаивания используется метод коагуляции с применением специальных реагентов – коагуляторов, и метод флотации растворенным воздухом, диспергированным воздухом и электрофлотации.



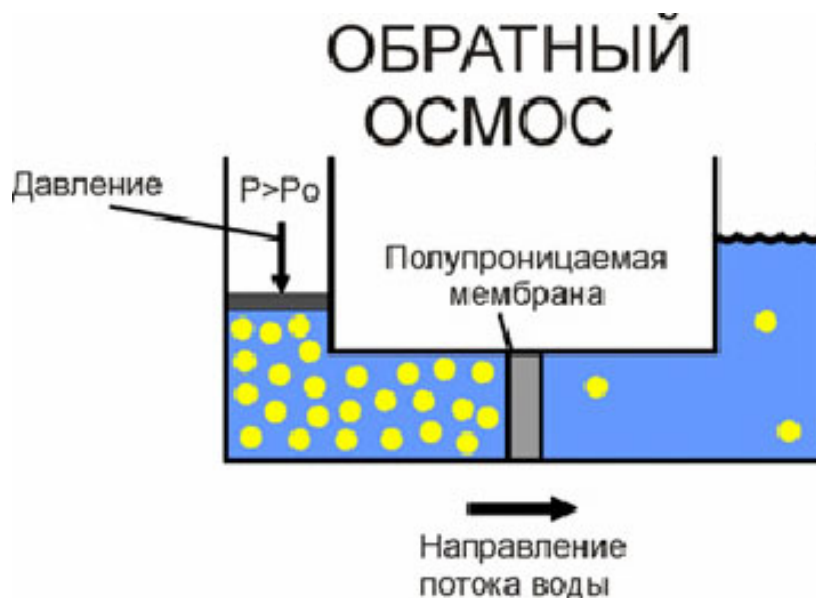
**Коагуляцией называют процесс слипания твердых частиц в момент их соприкосновения**

(Процесс коагуляции)

### I.3.4 Мембранные методы

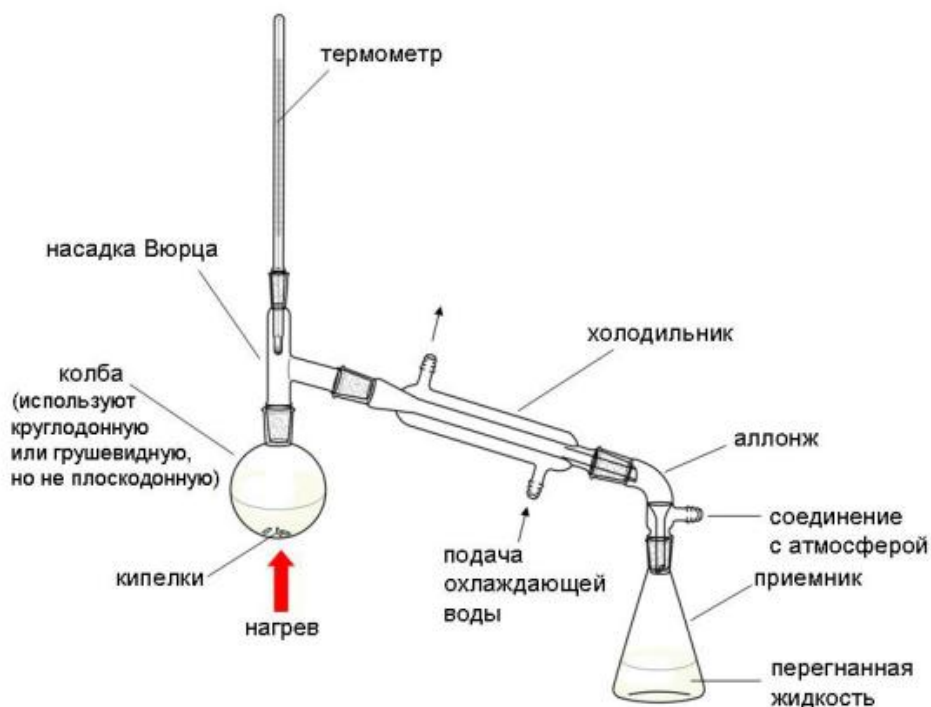
К перспективным методам очистки сточных вод относятся такие мембранные методы, как электродиализ, диализ, обратный осмос. Они являются по существу методами деминерализации, так как позволяют снизить общую засоленность и получить обогащенный раствор.





### I.3.5 Методы деминерализации сточных вод

В некоторых случаях для создания систем водооборота необходимо уменьшить в них солесодержание, т.е. вывести из системы часть солей. К методам деминерализации относятся дистилляция, вымораживание, экстракция



(Процесс дистилляции)

### I.3.6 Биологические методы

Основаны на способности микроорганизмов окислять сложные органические вещества до конечных продуктов – углекислоты и воды.



### **I.3.7 Сорбционные методы**

Для более глубокой очистки вод от ионов токсичных элементов используют сорбционные методы. В качестве сорбентов используют ионообменные смолы, угли, силикагели (высушенные гели, образующиеся из перенасыщенных растворов кремниевых кислот), цеолиты (водные алюмосиликаты кальция и натрия) и неорганические сорбенты. Практика работы систем очистки сточных вод показывает, что сорбционная обработка целесообразна как "финишная" операция, после механической и других более дешевых видов очистки.

#### **I.3.7.1 Ионообменные методы**

Этим методам уделяется в последнее время большое внимание при решении ряда задач, связанных с выделением ценных или токсичных компонентов из природных вод, с очисткой сточных вод промышленных предприятий от вредных примесей.

Ионный обмен — это обратимая химическая реакция, при которой происходит обмен ионами между твердым веществом (ионитом) и раствором электролита.

В сравнении с использованием других методов применение метода ионного обмена для очистки промышленных сточных вод имеет ряд преимуществ:

- 1) С помощью его можно достичь любой глубины очистки.
- 2) Ионный обмен принадлежит к «безреагентным» методам, т.е. в результате очистки может быть значительно снижен общий солевой состав сточных вод.
- 3) Метод обеспечивает извлечение компонентов, от которых производится очистка. В ряде случаев ценность извлекаемых компонентов, например, золота, серебра, палладия, компенсирует расходы на очистку.

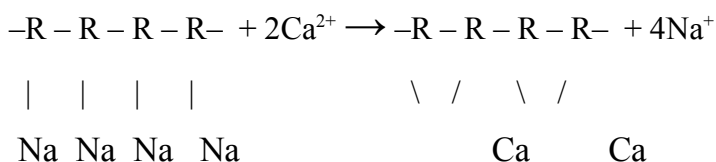
### I.3.7.2 Ионообменные смолы

Ионообменные смолы представляют собой органические вещества полимерного характера. Они состоят из молекул, у которых, например катионы являются подвижными, способными вступать в реакции обмена с другими катионами, в то время как анионы связаны между собой и образуют скелет крупной полимерной частицы, не вступающей в реакции ионного обмена. Ионообменная смола, у которой подвижными являются катионы, называется катионитом, а если смола обменивает анионы, её называют анионитом.

Ионообменные смолы могут быть использованы для выделения нежелательных ионов из раствора, который пропускают через смолу, или для удаления минералов из воды, которые могут быть позже выделены из смолы. Пример удаления нежелательных ионов - удаление тяжелых металлов из производственных сточных вод металлургической отрасли, деминерализация сыворотки на молокозаводах и удаление солей из фруктовых соков.

Также ионообменные смолы используются для устранения жёсткости воды. Для устранения жёсткости в промышленных масштабах, применяется катионный метод устранения. Этот способ основан на применении катионитов в натриевой форме. Их состав условно можно выразить общей формулой  $\text{NaR}$ , где R это неподвижный органический анион. Если пропускать воду через катиониты, то ионы  $\text{Na}^+$  будут обмениваться на ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ .

Схематически эти процессы можно выразить так:



Недостатками использования ионообменных смол являются:

1) Низкая скорость очистки. Чем медленнее водный раствор будет пропускаться через ионообменную смолу, тем больше ионов вступят в реакции обмена и тем качественней будет очистка.

2) Высокая стоимость ионообменных смол. Ионообменная смола со временем утрачивает свою ёмкость, поэтому для восстановлений её функций проводят многократную регенерацию. Однако со временем смола теряет способность к регенерации и приходится производить её замену, что в промышленных масштабах приводит к большим затратам.

3) Бактериальное загрязнение. Установки ионного обмена не работают как фильтр для удаления бактерий или других микроорганизмов. Если перед загрузкой ионообменной установки не дезинфицировать водный раствор, то количество микроорганизмов в воде

может увеличиться, т.к. органические вещества, содержащиеся в смолах, служат питанием для микробов и бактерий.

4) Органические загрязнения из смолы. Ионообменные смолы далеко не всегда химически инертны по отношению к перерабатываемому раствору. Если в растворе окажется какое-нибудь вещество, способное прореагировать с органическим скелетом смолы, то в водный раствор будут поступать вредные органические вещества, которые, впоследствии, будут оказывать негативное влияние на организм.

### **I.3.7.3 Неорганические иониты**

По сравнению с ионообменными смолами, неорганические иониты обладают более высокой избирательностью к ионам извлекаемого элемента, а также повышенной термической и радиационной устойчивостью. Кроме того, они имеют, как правило, сравнительно низкую стоимость.

Среди неорганических ионитов можно выделить следующие:

1) Гранулированные методом замораживания труднорастворимые фосфаты металлов (циркония, титана, хрома, железа, тория, сурьмы и др.), прежде всего, цирконилфосфат  $(ZrO)_m(H_2PO_4)_n$ , отличающийся высокой емкостью обмена, термической и радиационной устойчивостью и высокой селективностью к ионам цезия, рубидия, калия и аммония, а также таллия.

2) Синтетические титано- и цирканосиликаты, обладающие молекулярноситовыми свойствами цеолитового уровня, высокой обменной емкостью и селективностью к ряду катионов.

3) Труднорастворимый кристаллический оксалат циркония, селективный по отношению к катионам свинца и калия.

4) Труднорастворимые соли поли- и гетерополикислот: фосфомолибдаты, фосфорвольфраматы, вольфраматы, фосфорарсенаты, производные фосфорносурьмяной кислоты, кремнесурьмяной кислот и другие обладающие селективностью к редким щелочным, щелочноземельным и тяжелым металлам.

5) Ферроцианиды щелочных и тяжелых металлов (железа, меди, цинка, молибдена, никеля, титана, олова, ванадия, урана, вольфрама и т.п.), способные к избирательной сорбции ионов  $Pb^{+}$ , используются для поглощения Rb, Cs из растворов и  $Tl^{+}$  из водных растворов. Например, с помощью ферроцианида щелочного металла и никеля эффективно извлекается рубидий из отработанного раствора при переработке карналлитовых руд.

б) Нерастворимые сульфиды и гидроксиды металлов. Например, известно о возможности успешной очистки никелевых электролитов от примесей ионов меди, свинца, кадмия, мышьяка, сурьмы, олова, висмута с помощью нерастворимого сульфида никеля, от примесей железа (II) и кобальта (II) с помощью гидроксидов никеля на конечной стадии очистки.

## **II. Извлечение ионов металлов с помощью неорганического ионита сульфида цинка (ZnS). Методика выполнения эксперимента**

Сульфид цинка (цинк сернистый) является белым порошком. При обычном давлении не плавится, под давлением 15 МПа (150 атм.) плавится при 1850 °С. Во влажном воздухе сульфид цинка окисляется до сульфата; при нагревании на воздухе образуется ZnO и SO<sub>2</sub>. В воде нерастворим, в кислотах растворяется с образованием соответствующих солей и выделением сероводорода. В присутствии следов меди, кадмия, серебра приобретает способность к люминесценции.

Сульфид цинка способен вступать в реакции ионного обмена с растворами других металлов. При этом металл из раствора будет выпадать в осадок в виде сульфида, а ионы цинка будут переходить в раствор.

### **II.1 Получение сульфида цинка**

Для получения раствора сульфида цинка были приготовлены 0,1М растворы сульфата цинка и сульфида натрия.

#### **II.1.1 Расчёт массы навесок:**

$M_{(ZnSO_4 \cdot 7 H_2O)} = 287 \text{ г/моль}$ . 287 г – в 1000 мл – 1М

28,7 г – в 100 мл – 1М

2,87 г – в 100 мл – 0,1М

- Масса навески (ZnSO<sub>4</sub> \* 7 H<sub>2</sub>O) = 2,87 г

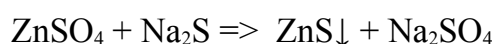
$M_{(Na_2S \cdot 9 H_2O)} = 240 \text{ г/моль}$ . 240 г – в 1000 мл – 1М

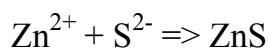
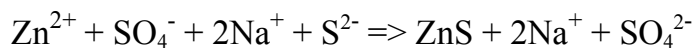
24 г – в 100 мл – 1М

2,4 г – в 100 мл – 0,1М

- Масса навески (Na<sub>2</sub>S \* 9 H<sub>2</sub>O) = 2,4 г

#### **II.1.2 Уравнение реакции получения раствора сульфида цинка и термодинамические расчёты:**





	$\Delta H_f^{298^\circ}$ кДж/моль	$\Delta S_f^{298^\circ}$ Дж/моль·К
$\text{Zn}^{2+}$	-152,42	-106,48
$\text{S}^{2-}$	41,8	-26,8
ZnS	-201,0	57,7

$$\Delta H_{\text{х.р.}} = \text{кон.пр.} \Delta H_f^{298^\circ} - \text{исх.в-во} \Delta H_f^{298^\circ}$$

- $\Delta H_{\text{х.р.}} = (-201,0) - (-152,42 + 41,8) = -90,38$  кДж/моль

- $\Delta S_{\text{х.р.}} = \text{кон.пр.} \Delta S_f^{298^\circ} - \text{исх.в-во} \Delta S_f^{298^\circ}$

- $\Delta S_{\text{х.р.}} = (57,7) - (-106,48 + (-26,8)) = 190,98$  Дж/моль·К = 0,19098 кДж/моль·К

- $\Delta G = \Delta H_{\text{х.р.}} - T_{\text{р.}} \cdot \Delta S_{\text{х.р.}}$

- $\Delta G = -90,38 - 298 \cdot 0,19098 = -147,3$  кДж/моль

- Вывод:  $\Delta G < 0$ , значит, в результате реакции энергия системы уменьшается, система переходит в более устойчивое состояние, и реакция пойдет в прямом направлении.

- 

- После получения, раствор был отфильтрован с помощью фильтровальной бумаги и сульфид цинка, уже в виде осадка, был перемещён в фарфоровую чашку для дальнейшего использования.

○

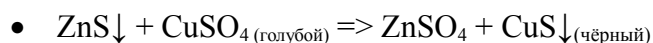
○

○

### • III. Экспериментальная часть

- Для исследования сорбционных свойств сульфида цинка были взяты растворы, содержащие ионы меди и кадмия.

#### ○ III.1 Исследование сорбционных свойств сульфида цинка на примере ионов меди



- Наблюдение: При добавлении раствора сульфата меди голубого цвета к сульфиду цинка, сульфид меди выпадает в виде чёрного осадка.

- $PP(ZnS) = 2,5 * 10^{-22}$
- $PP(CuS) = 3,2 * 10^{-38}$
- $PP(ZnS) > PP(CuS)$ , значит равновесие в системе будет смещаться в сторону образования CuS
- Концентрация ионов меди в условиях равновесия в растворе после осаждения:
- $Cu^{2+} = 3,2 * 10^{-31} \text{ моль/л} = 1,78 * 10^{-19} \text{ моль/л} = 1,13 * 10^{-17} \text{ г/л} = 1,13 * 10^{-14} \text{ мг/л}$
- $ПДК(Cu^{2+}) = 1 \text{ мг/л}$
- $Cu^{2+} < ПДК(Cu^{2+})$
- Раствор соответствует уровню ПДК
- Концентрация ионов цинка в условиях равновесия в растворе после осаждения:
- $Zn^{2+} = 2,5 * 10^{-22} \text{ моль/л} = 1,58 * 10^{-11} \text{ моль/л} = 1,02 * 10^{-9} \text{ г/л} = 1,02 * 10^{-6} \text{ мг/л}$
- $ПДК(Zn^{2+}) = 1 \text{ мг/л}$
- $Zn^{2+} < ПДК(Zn^{2+})$
- Раствор соответствует уровню ПДК

○ **III.2 Исследование сорбционных свойств сульфида цинка на примере ионов кадмия**

- $ZnS \downarrow + Cd(NO_3)_2 \Rightarrow Zn(NO_3)_2 + CdS \downarrow$
- Наблюдение: При добавлении раствора нитрата кадмия к сульфиду цинка, сульфид кадмия выпадает в виде желтоватого осадка.

- $PP(ZnS) = 2,5 * 10^{-22}$
- $PP(CdS) = 1,6 * 10^{-28}$
- $PP(ZnS) > PP(CdS)$ , значит равновесие в системе будет смещаться в сторону образования CdS
- Концентрация ионов кадмия в условиях равновесия в растворе после осаждения:
- $Cd^{2+} = 1,6 * 10^{-28} \text{ моль/л} = 1,26 * 10^{-14} \text{ моль/л} = 1,42 * 10^{-12} \text{ г/л} = 1,42 * 10^{-9} \text{ мг/л}$
- $ПДК(Cd^{2+}) = 0,001 \text{ мг/л}$
- $Cd^{2+} < ПДК(Cd^{2+})$
- Раствор соответствует уровню ПДК

- Концентрация ионов цинка в условиях равновесия в растворе после осаждения:
- $Zn^{2+} = 2.5 \cdot 10^{-22} \text{ моль/л} = 1,58 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л} = 1,02 \cdot 10^{-9} \text{ г/л} = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ мг/л}$
- $ПДК(Zn^{2+}) = 1 \text{ мг/л}$
- $Zn^{2+} < ПДК(Zn^{2+})$
- Раствор соответствует уровню ПДК

### • **Заключение**

- Было выяснено, что использование метода ионного обмена с помощью неорганических ионитов наиболее рационально для извлечения ионов металлов из водных растворов, что было подтверждено на основе эксперимента с сульфидом цинка.

- По результатам эксперимента можно сделать вывод, что ZnS в качестве сорбента значительно понизил концентрацию ионов  $Cu^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  в растворе до уровня, соответствующего ПДК. Это значит, что данное вещество может использоваться в качестве хорошего сорбента для очистки сточных вод.

- Использование сульфида цинка в качестве сорбента достаточно выгодно, так как он прост в использовании и изготовлении по сравнению с органическими ионообменными смолами.



## • Список литературы

- В.В. Вольхин, С.А. Колесова, Г.В. Леонтьева, Е.А. Шульга "Химические процессы в экологии", Пермь, 1998 (ПГТУ, кафедра химии)
- В.В. Вольхин, Т.К. Томчук, Л.Г. Черанева, М.М.Соколова "Химические процессы в экологии", Пермь, 1995 (ПГТУ, кафедра общей и неорганической химии)
- К.В. Чмутов "Сорбция", Государственное издательство технико-теоритической литературы, Москва, 1957
- Р. Кунин, Р. Майерс "Ионообменные смолы", Москва, Издательство иностранной литературы, 1952
- Р. Гриссбах "Теория и практика ионного обмена", Москва 1963
- Т.С Соколова, В.С. Колеватова, Т.Г. Мальцева, Т.А. Махнева, В.М. Косых, Л.Н. Старков, Н.Б. Ходяшев, Н.А. Макаревич, Л.В. Кукарина. "Методические указания к лабораторным работам по общей химии (I семестр) для студентов нехимических специальностей", Пермь, ПГТУ, 1994г.
- <http://www.chemicals-el.ru>
- <http://www.aquatoris.ru>
- <http://www.water.ru/>
-