

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

# **СОРБЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ ВНУТРИВУЗОВСКОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
(САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 27-28 АПРЕЛЯ 2017 ГОДА)**

**Санкт-Петербург  
2018**

УДК 543  
ББК 24.4  
С 650

Сорбционные технологии в аналитической химии: сборник тезисов докладов внутривузовской студенческой научной конференции (Санкт-Петербург, 27-28 апреля 2017 года) /сост.: И.Н. Дмитриевич, А.Р. Иванов, О.В. Фёдорова, Р.А. Смит; ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2018. - 58 с.

В настоящем сборнике помещены тезисы докладов внутривузовской научно-практической конференции, проводимой на кафедре общей и неорганической химии в весеннем семестре 2016/2017 учебного года.

Участники конференции – студенты III курса института технологии. При выполнении курсовой работы в рамках дисциплины «Сорбционные технологии», студенты получили первичные навыки научно-исследовательской работы, что, безусловно, важно для их дальнейшего развития как молодых исследователей.

Сборник предназначен для тех, кто интересуется прикладным применением сорбционных процессов в различных жизненных аспектах.

Подготовлен и рекомендован к печати кафедрой общей и неорганической химии ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 5 от 14 мая 2018 г).

Утвержден методической комиссией Института технологии ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 5 от 29 мая 2018 г).

© Высшая школа технологии и энергетики  
СПбГУПТД, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

| Секция 1   |  | стр. |
|--|--|------|
| Изучение свойств сорбционных материалов на основе целлюлозы  |  |      |
| Кондратова А.С., Шитикова К.С., гр. 146<br><i>преподаватель</i> О.В. Федорова.                     |  |      |
| Изучение сорбционных характеристик органических сорбентов на примере сульфатной целлюлозы.....     |  | 7    |
| Карташова О.В., Харламова А.Н., гр. 146<br><i>преподаватель</i> О.В. Федорова.                     |  |      |
| Адсорбция ионов свинца и никеля на древесных опилках .....   |  | 9    |
| Субботина К.О., Шорникова С.О., гр. 146<br><i>преподаватель</i> О.В. Фёдорова.                     |  |      |
| Исследование кинетики сорбции органическими сорбентами на основе целлюлозы (сорбция Си и Рb) ..... |  | 11   |
| Розанова А. Р., Иванов М. А., гр. 146<br><i>преподаватель</i> О. В. Федорова.                      |  |      |
| Сорбционные свойства сульфитной целлюлозы по отношению к металлам Ni, Ca и Zn.....                 |  | 13   |
| Зверева В.А., Волчок В.И., гр. 146<br><i>преподаватель</i> О. В. Федорова.                         |  |      |
| Свойства и применение сорбционных материалов из сульфатной целлюлозы.....                          |  | 16   |
| Белокопытов И. В., Григорьев М. Р., Жилинский И. М., гр.146  |  |      |

*преподаватель* О. В. Федорова.

Сорбционная способность хвойной целлюлозы по отношению к ионам металлов меди и свинца..... 18

## Секция 2

### Изучение свойств кремнезема

Касьянов В.Е., гр. 145

*преподаватель* А.Р. Иванов.

Факторный анализ экспериментальных данных процесса адсорбции органических веществ из водных растворов на поверхности кремнезема..... 20

Кирюшкина Ю.В., гр. 145

*преподаватель* А.Р. Иванов.

Изучение свойств кремнезема, полученного осаждением из раствора силиката (жидкого стекла) в присутствии уксусной кислоты..... 21

Иванова Е.А., Серова Е.С., Подольная Л.Н., Порохина А.И.,

гр. 145

*преподаватель* А.Р. Иванов.

Изучение свойств кремнезема, полученного осаждением из раствора силиката (жидкого стекла) в присутствии азотной кислоты..... 23

Цырюльникова А.С., Иванова В.А., гр. 145

*преподаватель* А.Р. Иванов.

Изучение свойств кремнезема, полученного осаждением из раствора силиката (жидкого стекла) в присутствии соляной

|  |    |
|--|----|
| кислоты.....   | 24 |
| Гукосян В.В., Захарова Е., Зверева К., гр. 145<br><i>преподаватель А.Р. Иванов.</i><br>Изучение свойств кремнезема, полученного осаждением из раствора силиката (жидкого стекла) в присутствии серной кислоты.....                                 | 25 |
| Орлова А.Б., гр. 142<br><i>преподаватель А.Р. Иванов.</i><br>Изучение свойств кремнезема, полученного осаждением из раствора силиката (жидкого стекла) в присутствии аскорбиновой кислоты.....   | 27 |
| Лоцман К., Ликвиненко Е., гр. 145<br><i>преподаватель А.Р. Иванов.</i><br>Физические методы изучения свойств кремнезёмов, полученных золь-гель методом из раствора силикатов (жидкого стекла) в присутствии органических и минеральных кислот..... | 28 |
| Цандыкова К., Рякина О., Кернер Е., гр. 145<br><i>преподаватель А.Р. Иванов.</i><br>Сорбционные свойства кремнезёмов, полученных золь-гель методом из раствора силикатов (жидкого стекла) в присутствии органических и минеральных кислот.....     | 30 |
| Султанова Ф., гр. 145<br><i>преподаватель А.Р. Иванов.</i><br>Применение золь-гель метода для получения силикатных сорбентов из раствора силикатов (жидкого стекла).....   | 31 |

Суетина Н., гр. 145

*преподаватель* А.Р. Иванов.

Химические свойства кремнеземов, полученных методом золь - геля из раствора силикатов (жидкого стекла) в присутствии органических и минеральных кислот..... 33

### Секция 3

#### Изучение сорбции тяжелых металлов органическими сорбентами

Форат Н.И., Селиванец А.И., гр. 142

*преподаватель* И.Н. Дмитриевич.

Изучение кинетики сорбции тяжелых металлов сильнокислотным катионитом амберлит ИР-120..... 35

Фомичева В.А., Мармулева И.А, гр. 142

*преподаватель* И.Н. Дмитриевич.

Сравнительный анализ кинетических и сорбционных свойств катионита КУ-2-8 и амберлита ИР-120 по результатам изучения сорбции тяжелых металлов..... 41

Чебакова И.А., Пономаренко М.А, гр. 142

*преподаватель* И.Н. Дмитриевич.

Изучение влияния размера гранул катионита КРС -2п на скорость и эффективность обмена ионами свинца и меди..... 47

Суслов Г.А., гр. 142

*преподаватель* И.Н. Дмитриевич.

Исследование влияния степени сшивки катионита КРС на скорость и эффективность обмена ионами свинца и меди..... 53

# **Секция 1**

## **Изучение свойств сорбционных материалов на основе целлюлозы**

Кондратова А.С., Шитикова К.С., гр. 146

*преподаватель О.В. Федорова*

### **ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНИЧЕСКИХ СОРБЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Природные сорбенты - это уникальные материалы, которые позволяют очищать различные среды от токсичных веществ, в том числе от тяжелых металлов. Органические сорбенты природного происхождения представлены в основном в виде древесной щепы и опилок, модифицированного торфа, высушенных зернопродуктов, шерсти, макулатуры и т.п. Преимуществом таких сорбентов является возможность их утилизации путем сжигания. Не менее интересным сорбентом является целлюлоза – продукт переработки древесины. Благодаря наличию нуклеофильных групп и развитой удельной поверхности, она способна как к химической, так и физической сорбции. Перспективно рассматривать целлюлозу для сорбции солей металлов, которые поступают в поверхностные и подземные воды в результате производственной деятельности. Большие объёмы образующихся вод и трудность их очистки до нормативных показателей делают актуальной разработку способов избирательного извлечения металлов. Повышение требований к качеству технической воды, использование её в системах замкнутого оборотного

водоснабжения требует в ряде случаев более полного удаления загрязняющих веществ и проведения качественного анализа компонентов. Целью данной работы является исследование сорбционной способности сульфатной хвойной небеленой целлюлозы по отношению к ионам  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$ . Для этого при помощи стандартных гостированных методик были определены следующие показатели.

| Сульфатная хвойная небеленая целлюлоза                       | Единица измерения | Значения  |
|--|-------------------|---|
| Определение функциональных групп                             | ммоль/г           | $E_{\text{COOH}} = 0.042$<br>$E_{\text{OH}} = 0.68$ |
| Динамическая обменная ёмкость (по отношению к ионам никеля)  | ммоль/г           | 5280  |
| Кинетика сорбции (по отношению к ионам кальция)              | мин               | 60  |
| Статическая обменная ёмкость (по отношению к ионам кобальта) | ммоль/г           | 1.65  |

Полученные результаты показали, что:

- функциональных групп достаточно для сорбции;
- динамической обменной ёмкости является адекватным;
- время достижения равновесия сорбции составляет 60 минут, что является немаловажным прикладным фактором;
- статическая обменная ёмкость ионов кобальта является удовлетворительной.

Совокупность полученных данных свидетельствует о приоритете применения сульфатной хвойной небеленой целлюлозы в качестве эффективного сорбента, однако рекомендуется проведение дальнейших исследований сорбционной способности целлюлозных полуфабрикатов.



## **АДСОРБЦИЯ ИОНОВ СВИНЦА И НИКЕЛЯ НА ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛКАХ**

Одной из самых актуальных задач на сегодняшний день является охрана окружающей среды от различного рода загрязнений (твердых, жидких, газообразных). Кардинальное решение данной проблемы состоит в разработке и внедрении экологически безопасных и малоотходных технологических процессов, и производств.

Из числа опасных загрязнителей широко распространены тяжелые металлы (медь, железо, никель, кобальт, цинк), образующиеся на предприятиях черной и цветной металлургии и машиностроении.

Целью данной работы является исследование сорбционной способности еловых опилок по отношению к ионам свинца и никеля. В качестве объекта исследования использовали опилки еловой древесины.

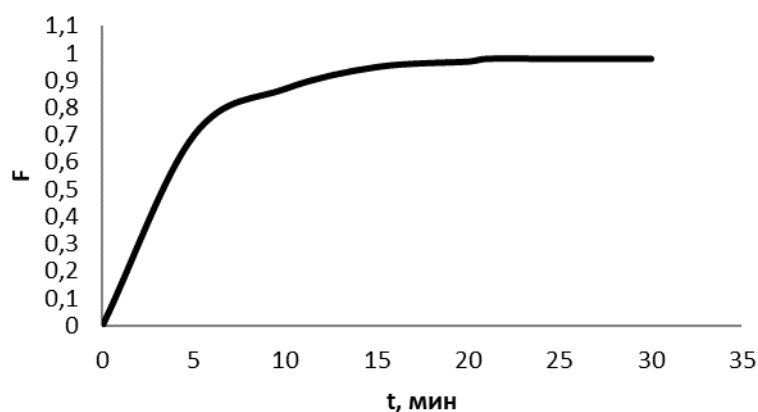
В работе были определены физико-химические характеристики еловых опилок и исследован процесс кинетики ионного обмена, который позволяет получить сведения о механизме сорбции, охарактеризовать ионообменное равновесие, определить время достижения равновесия и рассчитать константу скорости реакций ионного обмена.

В ходе работы были определены следующие параметры:

1. Содержание карбоксильных групп (0,072 моль/г) и фенольных групп (0,146 моль/г).
2. Динамическая обменная емкость по отношению к ионам свинца, равная 7062,5 мгэкв/л.
3. Для ионов кальция по кинетической кривой (рис.) определено время достижения равновесия ( $t = 21$  мин), рассчитаны степень

достижения равновесия ( $F=0,987$ ) и константа скорости ( $K_c = 0,217$ ). Полученные результаты не позволяют однозначно выявить лимитирующую стадию обмена для изучаемого катионита. Для определения скорости лимитирующей стадии процесса необходимо использовать другие методы.

4. У еловых опилок была определена статическая обменная емкость по отношению к ионам никеля  $2,04$  ммоль/г.



Зависимость степени сорбции ионов Са от времени

Полученные результаты позволяют судить о качестве сорбента. Относительно невысокое значение ДОЕ говорит о том, что сорбент, вероятно, долго находился в легкодоступном для кислорода месте и потому окислился, и адсорбировал воду и углекислый газ. Так как для достижения «проскока» потребовалось незначительное количество раствора, можно заключить, что материал долго служить не будет. Аналогичный вывод можно сделать на основании определения времени достижения равновесия. Сорбент не выдерживает долгой работы и быстро заполняется ионами металла из раствора.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ (СОРБЦИЯ Cu И Pb)**

Сорбенты и их свойства представляют широкий вопрос для изучения. Много было исследовано и до сих пор исследуются, так как различные сорбенты отличаются и по своей структуре, и по своим свойствам. Каждый сорбент требует к себе индивидуального подхода. В данной работе исследуется целлюлозный ионообменный сорбент (катионит) в протонированной форме. Лабораторное название — ЗАН (третий в А партии, протонированный), полученный из еловых опилок при температуре 100<sup>°C</sup>, концентрация реакционной кислоты 26%, время обработки 3 часа.

Была исследована возможность применения этого сорбента не только в лабораторных, но и в промышленных условиях.

Одной из важных характеристик кинетики сорбции является скорость ионного обмена в статических условиях по отношению к ионам кальция. Исследование кинетики ионного обмена позволяет получить сведения о механизме сорбции, охарактеризовать ионнообменное равновесие, определить время достижения равновесия и рассчитать константу скорости реакции ионного обмена. При концентрации сорбируемого иона  $\leq 10^{-3}$  М определяющей стадией ионного обмена является диффузия через плёнку.

После определения концентрации иона металла в ионнообменнике ( $c$ ) и степени достижения равновесия ( $F$ ) в момент времени  $t$  были построены графики функции  $F-t$  (рис. 1) и  $C-t$  (рис. 2).

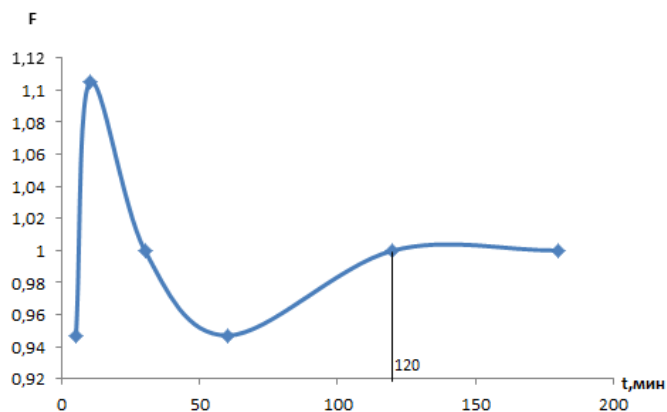


Рис.1. Зависимость степени достижения равновесия от времени реакции

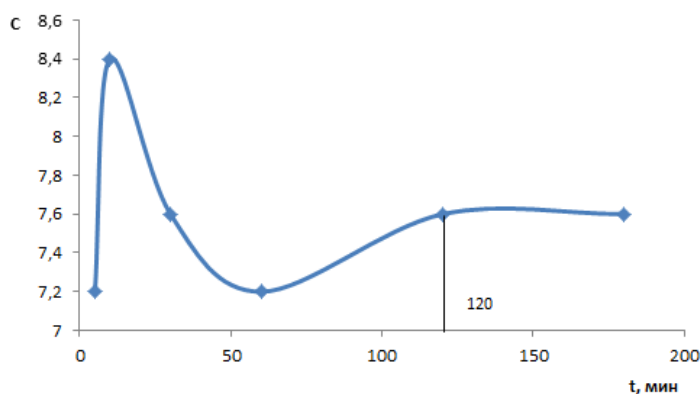


Рис.2. Зависимость концентрации иона кальция в ионнообменнике от времени

Достижение равновесия произошло за 2 часа. Это позволяет сделать вывод, что чем дольше достигается равновесие, тем дольше сорбент может поглощать загрязняющие ионы.

Данная работа подтверждает возможность применения изучаемого сорбента. В ходе работы мы определили следующие параметры:

- влажность катионита ( $W = 97.2\%$ );
- коэффициент сухости ( $K_{\text{сух}} = 0,031$ );
- содержание функциональных групп: карбоксильных групп ( $E_{\text{с.л}} = 0,4436$  ммоль/г), фенольных групп ( $E_{\text{ОН}} = 0,5580$  ммоль/г);
- динамическая ёмкость ( $\text{ДОЕ} = 4600$  ммоль/дм<sup>3</sup>);
- скорость ионного обмена статическим методом:  
равновесие установилось достаточно быстро, за 2 часа;
- сорбционная ёмкость ( $\text{СОЭ} = 2,7$  ммоль/г).

На основании полученных данных можно сделать общий вывод, что все показатели достаточно удовлетворительные для лабораторного применения. Для промышленности сорбент не пригоден.

Розанова А. Р., Иванов М. А., гр. 146

*преподаватель О. В. Федорова*

## **СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К МЕТАЛЛАМ Ni, Ca и Zn**

Сорбенты применяются практически во всех областях промышленности, в сельском хозяйстве и в медицине. Применение сорбентов в первую очередь обусловлено очисткой от различных загрязняющих веществ и тесно связано с охраной экологии. Сорбционные технологии являются прогрессивным масштабным направлением, требующим больших затрат на изучение, весьма перспективным в жизни людей.

В данной работе исследуется сорбционная способность сульфитной целлюлозы по отношению к ионам Ni, Ca и Zn. Исследования проводились в четыре этапа.

Первым этапом проведения исследования являлось установление влажности целлюлозы и определение содержания слабокислотных групп динамическим методом. Влажность необходима для определения абсолютно сухой массы, которая в дальнейшем используется в расчетах. Следующим шагом, после определения влажности целлюлозы, была подготовка целлюлозы для определения содержания слабокислотных групп. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что необработанная целлюлоза обладает небольшим количеством функциональных групп, определяющих эффективность сорбционного процесса. Данный результат является удовлетворительным относительно известных сорбентов. Вторым этапом проведения исследования являлось определение динамической обменной емкости (ДОЕ) сульфитной целлюлозы для сорбата Ni (рис. 1).

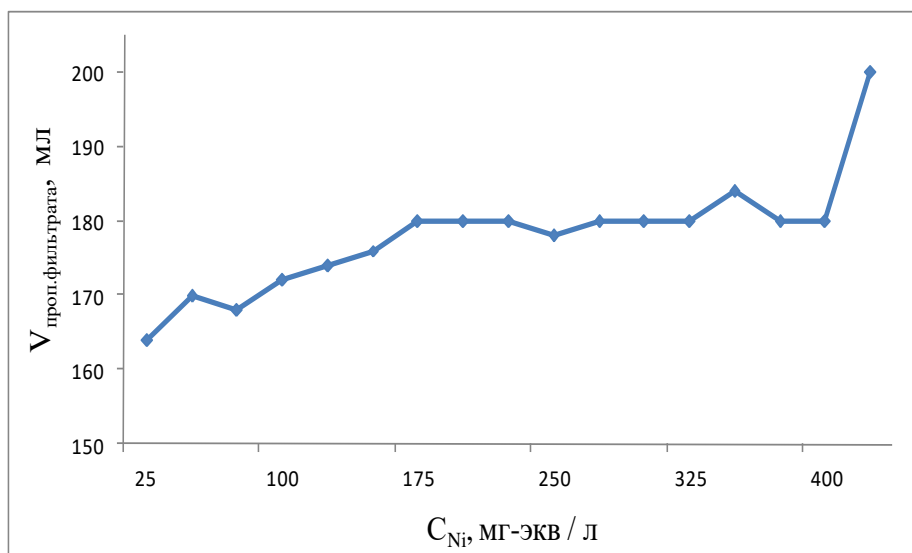


Рис.1. График зависимости концентраций металла (Ni) сорбированных сульфатной целлюлозой от объема пропускаемого фильтрата

Полученные результаты показали, что для достижения проскока необходимо пропустить через ионообменник значительный объем сорбата, что свидетельствует о высокой обменной активности функциональных групп и позволяет рассматривать данный материал как эффективный сорбент для поглощения загрязняющих ионов.

Третьим этапом являлось определение скорости ионного обмена статическим методом для сорбата Са (рис. 2).

Исследование кинетики ионного обмена позволяет получить сведения о механизме сорбции, охарактеризовать ионнообменное равновесие, определить время достижения равновесия и рассчитать константу скорости реакции ионного обмена. При концентрации сорбируемого иона  $\leq 10^{-3}$  М определяющей стадией скорости процесса является диффузия через пленку.

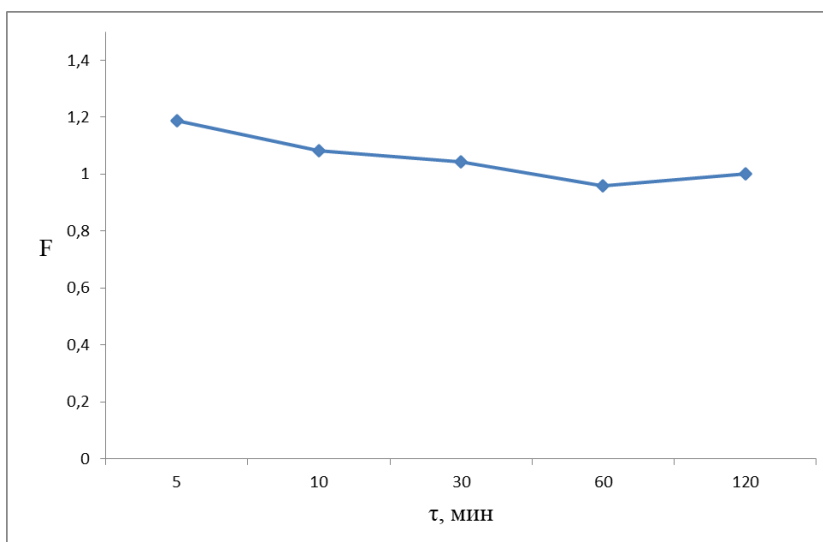


Рис. 2. Кинетическая кривая ионного обмена кальция

Исходя из времени достижения равновесия, можно сделать вывод, что сорбент (как и при определении ДОЕ) не выдерживает долгой работы и быстро заполняется ионами металла из раствора. Четвёртым этапом являлось определение сорбционной ёмкости. Установлено, что сорбционная

емкость сорбента в статических условиях высокая, что хорошо характеризует его как ионообменник.

Зверева В.А., Волчок В.И., гр. 146

*преподаватель О. В. Федорова*

## **СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

В связи с экологической напряженностью проблема получения и поиска новых сорбентов, так же как и разработка новых сорбционных технологий, является актуальной. Особый интерес представляют многотоннажные производства, такие как, например, лесоперерабатывающая и лесохимическая промышленности.

В данной работе исследуется сорбционная способность сульфатной целлюлозы по отношению к металлам  $Cd^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ .

Определена влажность сульфатной хвойной небеленой целлюлозы (23,7%). Так же были рассчитаны коэффициент сухости (0,762) и масса абсолютно сухой целлюлозы (1,537 г). Рассчитано содержание слабокислотных групп (карбоксильных и фенольных) в 1г сульфатной хвойной небеленой целлюлозы. Функциональных групп в данном сорбенте достаточно для сорбции. Определена динамическая обменная емкость по отношению к ионам меди (10743,75 ммоль/г).

Определена скорость ионного обмена статическим методом по отношению к ионам кальция. После проведения опытов были построены кинетические кривые в координатах  $F - t$  (рис.1) и  $-\ln(1-F) - t$  (рис.2). Для оценки прямолинейной зависимости применяют метод наименьших квадратов. Поскольку один из коэффициентов регрессии имеет физический смысл константы скорости реакции ионного обмена, то по тангенсу угла



наклона прямой  $-\ln(1-F) = K_c t$  находят дисперсию и доверительный интервал этого коэффициента.

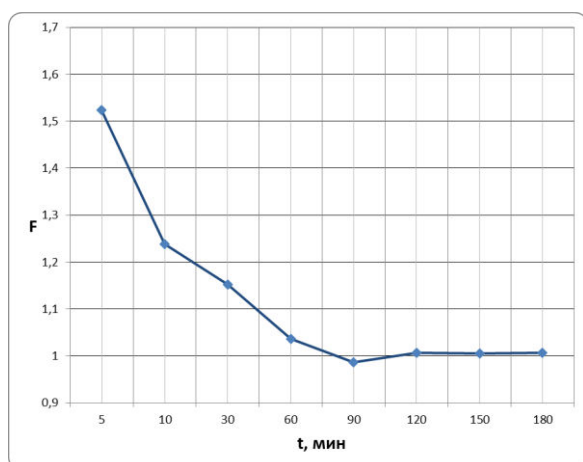


Рис.1. Зависимость степени достижения равновесия от времени реакции

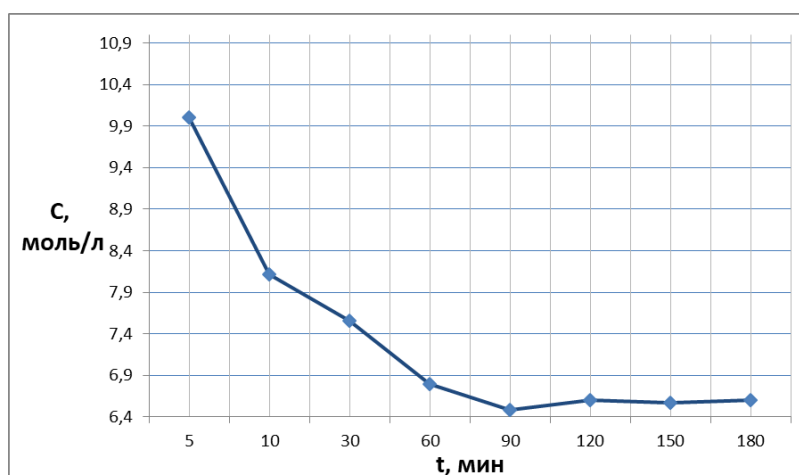


Рис.2. Зависимость концентрации кальция в ионообменнике от времени

Достижение равновесия произошло за 120 минут. Были рассчитаны степень достижения равновесия ( $F=0,986$ ) и константа скорости ( $K_c=0,048$ ). Была определена статическая обменная емкость у сульфатной небеленой целлюлозы по отношению к ионам кадмия, которая составила 1,05 ммоль/г.

Рекомендуется дальнейшее изучение сорбционной способности сульфатной хвойной небеленой целлюлозы.

Белокопытов И.В., Григорьев М.Р., Жилинский И.М., гр.146

*преподаватель О. В. Федорова*

## **СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ХВОЙНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ МЕТАЛЛОВ МЕДИ И СВИНЦА**

Свойства сорбентов представляют широкий спектр для изучения. Сейчас известно множество сорбентов, отличающихся и по своей структуре, и по своим свойствам. Много было исследовано и до сих пор исследуются, так как каждый сорбент требует к себе индивидуального подхода. В данной работе исследуется сорбционная способность сульфатной хвойной небеленой целлюлозы к ионам Cu и Pb.

Для того чтобы сделать вывод о сорбционных способностях исследуемого сорбента необходимо провести определение его физико-химических характеристик. Данные исследования представлены в таблице.

Физико-химические характеристики исследуемой целлюлозы

| Физико-химическая характеристика | Единицы измерения | Значение измеряемой величины                          |
|----------------------------------|-------------------|---|
| Влажность целлюлозы              | %                 | 12,7  |
| Функциональные группы            | ммоль/г           | $E_{\text{COOH}} = 0,0769$<br>$E_{\text{OH}} = 0,245$ |
| ДОЕ (для ионов Cu)               | ммоль/г           | 4437  |

Окончание табл.

| Физико-химическая характеристика      | Единицы измерения | Значение измеряемой величины |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Кинетика сорбции<br>(ионов Са)        | мин               | 30                           |
| Сорбционная ёмкость<br>(для ионов Рb) | ммоль/г           | 0,45                         |

В ходе данной работы была рассчитана концентрация ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , которая составила 142 мг-экв /л, а так же значение динамической обменной емкости, равное 437 ммоль/г. Так как было пропущено через сорбент 125 мл раствора, то значение ДОЕ является приемлемым. Достижение равновесия не произошло, значит катионит не подходит для промышленного использования в очистных установках. Чем дольше он достигает равновесия, тем дольше он может поглощать загрязняющие ионы.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что данный образец не подходит для промышленного использования в очистных установках.

## **Секция 2**

# **Изучение свойств кремнезема**

Касьянов В.Е., гр. 145

*преподаватель А.Р. Иванов*

### **ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНЕЗЕМА**

Проведен факторный анализ массива данных, полученных в результате исследования более 18 силикатных образцов (сорбентов), синтезированных в различных условиях.

Цель данного исследования - проверка наличия взаимосвязи между адсорбционной активностью образцов и их физическо-химическими свойствами.

В качестве параметра адсорбционной активности была выбрана эффективная удельная поверхность, измеренная в результате адсорбции красителя эриохрома черного из водного раствора и рассчитанная на основе измерений с использованием стандартного образца кремнезема с известной поверхностью. Химические свойства образцов были охарактеризованы величиной водородного показателя водных вытяжек с их поверхностей. Физические свойства изученных порошкообразных объектов контролировали с помощью измерения их насыпного веса (плотности).

В результате проведенных исследований установлено:

— не существует непосредственной взаимосвязи между величиной удельной поверхности исследованных объектов и их химическими и физическими свойствами, так как вычисленные коэффициенты корреляции не превысили по модулю  $10^{-3}$ ;

— наблюдается значительное колебание величины удельной поверхности (в пределах от 20 до 800 м<sup>2</sup>/г) в диапазоне рН от 3 до 9.

В качестве вывода можно привести соображения о том, что адсорбция эриохрома черного на поверхности кремнезема не определяется только кислотно-основными свойствами этого рода сорбентов или кажущейся плотностью (насыпным весом). Очевидно, она является многофакторным процессом, обусловленным с одной стороны наличием различных функциональных групп в молекуле изученного красителя, с другой стороны присутствием на поверхности кремнезема разнообразных по природе активных центров. Вероятно, в результате этого проявляется неоднозначное влияние кислотности на изученный процесс адсорбции.

Кирюшкина Ю.В., гр. 145

*преподаватель А.Р. Иванов*

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНЕЗЕМА, ПОЛУЧЕННОГО ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТА (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В ПРИСУТСТВИИ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ**

Получение кремнезема проводили осаждением из раствора силикатов натрия и калия (жидкое стекло) обработкой уксусной кислотой различной концентрации. Полученную суспензию отстаивали, а затем декантировали маточный раствор. Осадок твердого силикагеля переносили на бумажный фильтр, промывали до постоянного значения рН промывной воды. Потом

осадок отжимали для удаления излишков воды. Полученный силикагель сушили в эксикаторе над хлористым кальцием.

Кроме рН водной вытяжки были определены: насыпной вес полученного сорбента, влажность после установления равновесия, а так же удельная поверхность. Последний параметр определяли фотометрическим методом, сравнением с образцом с известной удельной поверхностью (силахром С-80,  $S_{уд} = 80 \text{ м}^2 / \text{г}$ ). Адсорбцию красителей - эриохрома черного, N,N – диметил – *n* – фенилдиамина сернокислого и сульфата меди (II) проводили из водных растворов при температуре 20 °С и атмосферном давлении. Результаты исследований приведены в таблице.

Физико-химические характеристики кремнезема в зависимости от концентрации уксусной кислоты

| Концентрация уксусной кислоты, % | рН промывной воды | Удельная поверхность, $S_{уд} \text{ м}^2 / \text{г}$ | Насыпной вес, $\text{г} / \text{см}^3$ | Влажность, % |
|----------------------------------|-------------------|---|--|--------------|
| 5                                | 9,9               | 280,4   | -                                      | 61,3         |
| 10                               | 9,8               | 16,2  | 1,49                                   | 40,9         |
| 20                               | 9,55              | 560,0   | 0,577                                  | 8,1          |
| 30                               | 7,0               | 64,0  | 0,846                                  | 10,6         |

Иванова Е.А., Серова Е.С., Подольная Л.Н., Порохина А.И.,  
гр.145

*преподаватель А.Р. Иванов*

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНЕЗЕМА, ПОЛУЧЕННОГО ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТА (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В ПРИСУТСТВИИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ**

Получение кремнезема проводили осаждением из раствора силикатов натрия и калия (жидкое стекло) обработкой уксусной кислотой различной концентрации. Полученную суспензию отстаивали, а затем декантировали маточный раствор. Осадок твердого силикагеля переносили на бумажный фильтр, промывали до постоянного значения рН промывной воды. Потом осадок отжимали для удаления излишков воды. Полученный силикагель сушили в эксикаторе над хлористым кальцием.

Кроме рН водной вытяжки были определены: насыпной вес полученного сорбента, влажность после установления равновесия, а так же удельная поверхность. Последний параметр определяли фотометрическим методом, сравнением с образцом с известной удельной поверхностью (силахром С-80,  $S_{уд} = 80 \text{ м}^2 / \text{г}$ ). красителей - эриохрома черного, N,N – диметил – *n* – фенилдиамина сернокислого и сульфата меди (II) проводили из водных растворов при температуре  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении. Результаты исследований приведены в таблице.

Физико-химические характеристики кремнезема в зависимости от концентрации азотной кислоты

| Концентрация кислоты, % | pH промывной воды | Удельная поверхность, Суд м <sup>2</sup> /г | Насыпной вес, г /см <sup>3</sup> | Влажность, % |
|-------------------------|-------------------|---|----------------------------------|--------------|
| 5                       | 9.1               | 135,4                                       | 1.22                             | 57,8         |
| 10                      | 9,55              | 560,0                                       | 0,577                            | 8,06         |
| 30                      | 4,04              | 57,2  | 1,28                             | 26,7         |

Цырюльникова А.С. Иванова В.А., гр. 145

*преподаватель А.Р. Иванов*

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНЕЗЕМА,  
ПОЛУЧЕННОГО ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ РАСТВОРА  
СИЛИКАТА (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В  
ПРИСУТСТВИИ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ**

Получение кремнезема проводили осаждением из раствора силикатов натрия и калия (жидкое стекло) обработкой уксусной кислотой различной концентрации. Полученную суспензию отстаивали, а затем декантировали маточный раствор. Осадок твердого силикагеля переносили на бумажный фильтр, промывали до постоянного значения pH промывной воды. Потом осадок отжимали для удаления излишков воды. Полученный силикагель сушили в эксикаторе над хлористым кальцием.

Кроме pH водной вытяжки были определены: насыпной вес полученного сорбента, влажность после установления равновесия, а так же



удельная поверхность. Последний параметр определяли фотометрическим методом, сравнением с образцом с известной удельной поверхностью (силахром С-80,  $S_{уд} = 80 \text{ м}^2 / \text{г}$ ). Адсорбцию красителей -эриохрома черного Т, N,N – диметил – *n* – фенилдиамина сернокислого и сульфата меди (II) проводили из водных растворов при температуре  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении. Результаты исследования приведены в таблице.

Физико-химические характеристики кремнезема в зависимости от концентрации азотной кислоты

| Концентрация кислоты, % | pH промывной воды | Удельная поверхность, $S_{уд} \text{ м}^2 / \text{г}$ | Насыпной вес, $\text{г} / \text{см}^3$ | Влажность, % |
|-------------------------|-------------------|---|--|--------------|
| 5                       | 6,5               | 62,2  | 1,134                                  | 8,27         |
| 10                      | 5,8               | 48,6  | 0,947                                  | 25           |
| 20                      | 6,54              | 49,1  | 0,955                                  | 9,3          |
| 30                      | 5,86              | 80,0  | 1,25                                   | 12,1         |

Гукосян В., Захарова Е., Зверева К., гр. 145

*преподаватель А.Р. Иванов*

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНЕЗЕМА,  
ПОЛУЧЕННОГО ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ РАСТВОРА  
СИЛИКАТА (ЖИДКОГО СТЕКЛА)  
В ПРИСУТСТВИИ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

Получение кремнезема проводили осаждением из раствора силикатов натрия и калия (жидкое стекло) обработкой уксусной кислотой различной

концентрации. Полученную суспензию отстаивали, а затем декантировали маточный раствор. Осадок твердого силикагеля переносили на бумажный фильтр, промывали до постоянного значения рН промывной воды. Потом осадок отжимали для удаления излишков воды. Полученный силикагель сушили в эксикаторе над хлористым кальцием.

Кроме рН водной вытяжки были определены: насыпной вес полученного сорбента, влажность после установления равновесия, а так же удельная поверхность. Последний параметр определяли фотометрическим методом, сравнением с образцом с известной удельной поверхностью (силахром С-80, Суд = 80 м<sup>2</sup> /г). Адсорбцию красителей – эриохрома черного, N,N – диметил – *n* – фенилдиамина сернокислого и сульфата меди (II) проводили из водных растворов при температуре 20 °С и атмосферном давлении. Результаты исследований приведены в таблице.

Физико-химические характеристики кремнезема в зависимости от концентрации азотной кислоты

| Концентрация серной кислоты, % | рН промывной воды | Удельная поверхность, Суд м <sup>2</sup> /г | Насыпной вес, г /см <sup>3</sup> | Влажность, % |
|--------------------------------|-------------------|---|----------------------------------|--------------|
| 10                             | 6,9               | 129,2                                       | 0,86                             | 28,8         |
| 20                             | 6,25              | 72,2  | 0,79                             | 20,37        |

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНЕЗЕМА, ПОЛУЧЕННОГО ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТА (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В ПРИСУТСТВИИ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ**

Получение кремнезема проводили смешиванием раствора силикатов натрия и калия (жидкое стекло) равной навеской аскорбиновой кислоты с последующим разбавлением в два раза дистиллированной водой. Полученную суспензию отстаивали, а затем декантировали маточный раствор. Осадок твердого силикагеля переносили на бумажный фильтр, промывали до постоянного значения рН промывной воды. Потом осадок отжимали для удаления излишков воды. Полученный силикагель сушили в эксикаторе над хлористым кальцием.

Кроме рН водной вытяжки были определены: насыпной вес полученного сорбента, влажность после установления равновесия, а так же удельная поверхность. Последний параметр определяли фотометрическим методом, сравнением с образцом с известной удельной поверхностью (Силохром С-80,  $S_{уд} = 80 \text{ м}^2/\text{г}$ ). Адсорбцию красителей - эриохрома черного, N,N – диметил – *n* – фенилдиамина сернокислого и сульфата меди (II) проводили из водных растворов при температуре  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении. Результаты измерений следующие: рН маточного раствора 5,6; насыпной вес  $0,65 \text{ г}/\text{см}^3$ ; удельная поверхность  $44,8 \text{ м}^2/\text{г}$ .

## **ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ КРЕМНЕЗЕМОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТОВ (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В ПРИСУТСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ**

Для изучения свойств сорбентов применяют разнообразные методы – хроматографические, фотометрические, весовые, рентгеновские, а так же в последние годы все чаще применяется электронная и атомная силовая микроскопия, которые стали мощными инструментами нанотехнологии, химии и физики твердого тела.

Однако изучение адсорбционных явлений до сих пор требует поиска надежных методов анализа свойств поверхностей твердых веществ. Воспроизводимость результатов экспериментов с такими объектами зачастую достигается путем использования длительных технологических процедур, требующих специального оборудования. Эта проблема легче разрешима, если речь идет об изучении группы твердых образцов, сходных как по составу, так и по методике их получения. Такую группу представляют собой кремнеземы или гели поликремневой кислоты, полученные путем коагуляции коллоидных растворов силикатов в кислых средах. В данном случае, если имеются эталонные образцы известного состава и с известными характеристиками, можно гарантированно использовать метод сравнения, поскольку выполняется ряд условий:

- на поверхности изучаемых образцов присутствуют активные центры адсорбции одной и той же природы;
- изучаемые образцы претерпевают сходные изменения свойств при одинаковых физических воздействиях (сушка, прокаливание, облучение и пр.);
- химический состав этих образцов близок и может быть описан общей формулой, отражающей элементный, катионный и анионный состав.

В данной работе был предложен и опробован метод с использованием фотоколориметрии для контроля адсорбции различных органических и неорганических красителей из водных растворов поверхностью кремнеземов. В качестве образца сравнения был взят силикатный сорбент «Силохром» с удельной поверхностью  $S_{уд} = 80 \text{ м}^2/\text{г}$ . Адсорбцию красителей проводили из водных растворов при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении. В результате для дальнейших исследований были выбраны адсорбаты: эриохром черный, N,N – диметил – *n* – фенилдиамин серноокислый и сульфат меди (II).

Авторы также проводили измерение насыпного веса синтезированных сорбентов. Эта величина имеет ту же размерность что и удельный вес, однако, дает возможность оценить свойства сорбента с учетом присутствующих пор различного размера, величины составляющих его частиц.

Мы предположили, что существует взаимосвязь между насыпным весом и измеренной нами удельной поверхностью кремнеземов. Однако вычисленный коэффициент корреляции оказался намного меньше по модулю величины, позволяющей сделать такой вывод.

## **СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КРЕМНЕЗЕМОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТОВ (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В ПРИСУТСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ**

Силикагель – гидратированная форма кремнезема, сорбционная активность которого определяется, во-первых его удельной поверхностью, во-вторых количеством и видами форм адсорбированной воды. Варьируя условия получения силикатных сорбентов (кремнеземов) можно добиваться изменения их сорбционных свойств, влияя на качественный и количественный состав активных центров. Исходя из представлений о химической связи, строения поверхности твердого тела и качественного состава кремнеземов, можно выделить следующие типы водосодержащих поверхностных функциональных групп на его поверхности (центры Бренстеда):

— структурная вода – гидроксильные группы, связанные с атомами кремния;

— координационно связанная вода – молекулы воды, связанные донорно-акцепторными связями и ван-дер-ваальсовыми силами с другими активными центрами, в том числе дефектами кристаллической решетки (вакансиями, межузельными включениями и пр.)

При высокотемпературной обработке на поверхности кремнезема могут возникнуть безводные активные центры: мостиковый кислород

(донорный центр Льюиса) и высокоактивный акцепторный центр Льюиса, представляющий собой атом кремния со свободной орбиталью и не скомпенсированным положительным зарядом.

Благодаря такому специфическому набору адсорбционных центров, должна наблюдаться различная адсорбционная активность кремнеземов по отношению к различным веществам. Действительно, среди изученных нами адсорбатов, лучше всего поглощались поверхностью силикагелей: эриохром черный, N,N – диметил – *n* – фенилдиамин сернокислый, органические вещества, содержащие разнообразные радикалы и функциональные группы, что дает им возможность взаимодействовать с поверхностью кремнеземов, полученных в широком диапазоне pH маточных растворов.

Султанова Ф., гр. 145

*преподаватель А.Р. Иванов*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТОВ (ЖИДКОГО СТЕКЛА)**

В отличие от других солей калия и натрия их силикаты не образуют истинных растворов. Это связано с тем, что кремниевая кислота одна из самых слабых в природе, и подвергается гидролизу чрезвычайно легко. С другой стороны продукты гидролиза силикатов практически не летучи и склонны к поликонденсации, что приводит к образованию в вышеупомянутых растворах солей мицелл, состав которых зависит от pH. Устойчивость этих коллоидных систем снижается с уменьшением значения водородного показателя. Таким образом, воздействуя на эти золи,

обладающие щелочной реакцией реагентами, имеющими кислую реакцию, можно перевести их в гель. Гель – это студнеобразное состояние, близкое по свойствам к твердым телам, чем к жидкостям. Эта твердая часть геля может быть отделена от раствора. Подвергая ее различной обработке, которая определяет количество остаточной воды, можно получить порошкообразный силикагель переменного состава  $n\text{H}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ . Сорбционные и другие свойства силикагеля определяются предысторией, то есть условиями его получения. Основное преимущество золь-гель метода применительно к сорбционным технологиям в том, что, не прибегая к сложным технологическим приемам, а лишь варьируя pH маточного раствора, параметры последующей обработки (температура, длительность и т.д.) можно значительно влиять на свойства конечного продукта. В то же время это может быть и недостатком – плохая воспроизводимость свойств силикагелей при проведении их синтеза. В данной работе были изучены условия (pH, природа маточного раствора), оптимальные с точки зрения получения заданной величины удельной поверхности этих объектов.



## **ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНЕЗЕМОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ИЗ РАСТВОРА СИЛИКАТОВ (ЖИДКОГО СТЕКЛА) В ПРИСУТСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ**

Силикагель был запатентован профессором химии Walter A. Patrick из Балтиморского университета и John Hopkins в 1919 году. Эта субстанция представляет собой высушенный гель, образующийся из пересыщенных растворов кремниевых кислот ( $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ). Характерен большой диапазон величин поверхности этих веществ (5-800 м<sup>2</sup>/г), который определяется, по-видимому, условиями синтеза и последующей обработкой. Силикагель способен поглощать до 40 % воды по массе, при этом полная десорбция воды происходит при нагревании до 150-200 °С. При более высоких температурах диоксид кремния сначала переходит в коэзит (синтезирован Л. Коэсом в 1953 году), а затем в стишовит (получен С.М. Стишовым в 1961 году). Кроме кристаллических кварцеподобных модификаций диоксид кремния может существовать в виде аморфной модификации – кварцевого стекла.

Можно сказать, что силикагель – соединение переменного состава, т.е. относится к классу бертоллидов, веществ, чьи химические свойства зависят от их предыстории. С одной стороны это создает определенные сложности при его изучении, а с другой открывает широкие возможности в

управлении и задании различных характеристик этих веществ при незначительном отклонении от первоначального состава.

Важнейшей характеристикой химической активности поверхности твердых веществ является рН водной вытяжки, измеренное методом потенциометрии. Автор данной работы поставила перед собой цель сопоставить этот показатель с такими параметрами, как удельная поверхность, влажность после сушки в равновесных условиях, влияние на рН водной вытяжки механического воздействия – истирания в фаянсовой ступке.

Таким образом, в данной работе применялись хорошо известные методы синтеза и контроля свойств кремнеземов. Тем не менее, можно сделать некоторые, на наш взгляд, интересные выводы:

- во первых, рН водной вытяжки меняется после перетирания, хотя о наличии определенной закономерности говорить нельзя;
- во вторых, среди полученных после перетирания фракций наиболее близкой к рН исходной водной вытяжки имеет фракция с наиболее крупным зерном.

Не существует однозначной связи между рН водной вытяжки и удельной поверхностью, однако можно сказать, что регулируя рН маточного раствора, можно создать некоторые оптимальные условия получения, когда будет синтезирован сорбент, содержащий наименьшее количество воды при наибольшей удельной поверхности. Данная проблема, на наш взгляд, требует углубленного изучения.

# **Секция 3**

## **Изучение сорбции тяжелых металлов органическими сорбентами**

Форат Н.И., Селиванец А.И., гр. 142

*Преподаватель И.Н. Дмитриевич*

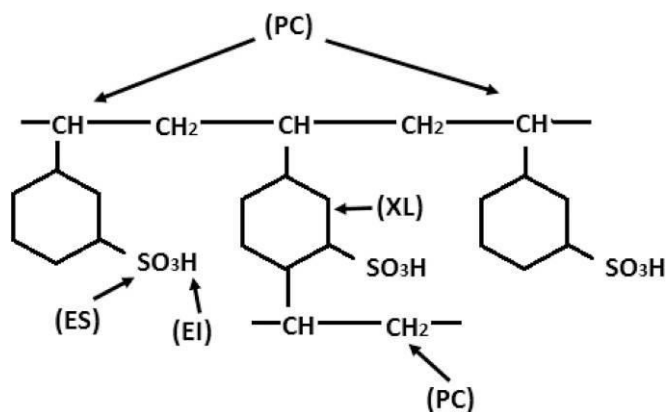
### **ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ СИЛЬНОКИСЛОТНЫМ КАТИОНИТОМ АМБЕРЛИТ ИР -120**

Тяжелые металлы в микродозах являются важными компонентами основных биохимических процессах, протекающих в живых организмах. Однако их избыток оказывает отрицательное влияние на состояние биосферы: замедляет развитие микроорганизмов и растений, нарушает обменные процессы в организмах теплокровных животных. Накапливаясь в организме человека, тяжелые металлы вызывают нарушение иммунной, костной и репродуктивной систем.

Потенциальным антропогенным источником тяжелых металлов являются сточные воды горно-металлургического, гальванического производства, радиоэлектронной и автомобильной промышленности. Высокие темпы развития этих отраслей делают актуальным проблему очистки промышленных стоков от солей тяжелых металлов. Одним из основных направлений решения этой задачи является поиск легкодоступных сорбционных материалов, с высокой эффективностью поглощения токсичных металлов.

Задачей данной работы является изучение кинетики сорбции тяжелых металлов ионитом амберлит ИР-120 с целью оценки целесообразности использования данного препарата в качестве сорбента на стадии ионообменной очистки промышленных стоков.

Амберлит ИР-120 - сильнокислотная катионообменная смола гелевого типа на основе сульфонированного полистирола, которая используется в промышленных масштабах для умягчения и обессоливания воды. Препарат имеет высокие показатели ионообменной кинетики и обменной ёмкости, характеризуется физической, химической и термической стабильностью [1]. Химический состав смолы может быть представлен следующей формулой:



- где
- PC - полимерная цепь
  - XL - межмолекулярная связь
  - ES - центр обмена
  - EI - обменный ион

Первым этапом наших исследований было определение показателей набухания, насыпного веса и влажности сорбента. Результаты проведенных измерений представлены в таблице.

## Физико-химические характеристики амберлита ИР-120

| Измеряемый показатель | Величина               |
|-----------------------|------------------------|
| Насыпной вес          | 0,87 г/см <sup>3</sup> |
| Коэффициент набухания | 1,57                   |
| Степень набухания     | 57,1 %                 |
| Влажность             | 14,2 %                 |

Кинетика сорбции тяжелых металлов на амберлите ИР-120 изучалась в статических условиях с использованием модельных растворов солей кадмия, свинца, никеля и меди по следующей методике: 1г сорбента помещали в колбу вместимостью 100 мл и заливали 20 мл раствора соли металла известной концентрацией. Компоненты системы при периодическом перемешивании выдерживали в контакте заданный промежуток времени. После отделения раствора от сорбента в фильтрате определяли концентрацию ионов Cd<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> методом комплексонометрического титрования с индикатором мурексид. Анализ ионов Pb<sup>2+</sup> проводили тем же методом в кислой среде с индикатором ксиленоловый оранжевый. Для измерения концентрации ионов Си<sup>2+</sup> использовался метод йодометрии.

По значениям концентраций ионов металлов в исходном растворе и в фильтрате рассчитывается величина и эффективность сорбции по формулам (1) и (2):

$$\Gamma = \frac{(C_{исх} - C_{фил.}) \cdot V}{m \cdot (1 - B)}, \text{ ммоль}_Э/\text{Г}, \quad (1)$$

где  $\Gamma$  – величина сорбции, ммоль<sub>Э</sub>/Г;

$C_{исх}$  – начальная концентрация раствора соли, моль<sub>Э</sub>/л;

$C_{фил}$  – концентрация соли металла в фильтрате, моль<sub>Э</sub>/л;

$V$  – объём раствора соли металла, мл;

М – масса сорбента, г;

В – влагосодержание сорбента, в долях ед.

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{фил}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность сорбции, % ;

$C_{\text{исх}}$  – начальная концентрация раствора соли, моль<sub>э</sub>/л;

$C_{\text{фил}}$  – концентрация металла в фильтрате, моль<sub>э</sub>/л.

Графики зависимости сорбции от времени контакта растворов с сорбентом (рис.1), позволяют выявить закономерности кинетики сорбции. Для всех ионов время достижения кинетического равновесия составляет от 15 до 30 минут. Это указывает на высокие кинетические свойства сорбента по отношению к изучаемым ионам. За указанное время сорбируется более 60 % ионов, содержащихся в исходном растворе.

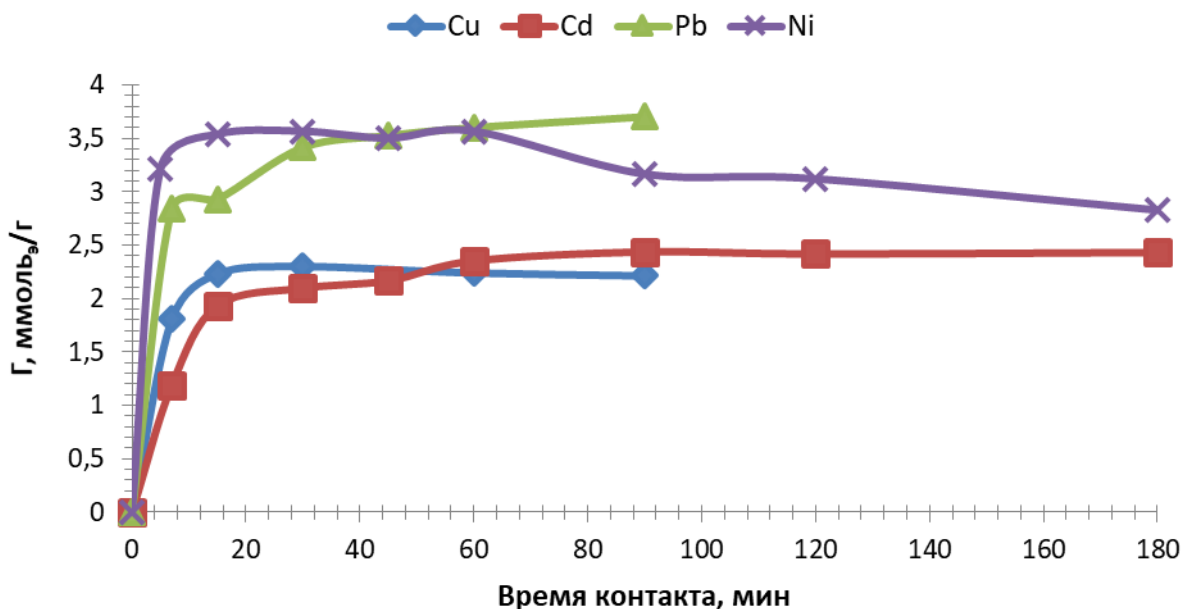


Рис.1. Зависимость величины сорбции ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , и  $Cu^{2+}$  от времени контакта с амберлитом ИР-120.

Кинетическое равновесие для ионов  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  характеризуется высокой стабильностью, в то время как для никеля с увеличением продолжительности процесса величина сорбции несколько уменьшается. Данное явление, по-видимому, объясняется смещением динамического равновесия в направлении десорбции за счет снижения pH раствора при ионном обмене с катионитом.

Величина сорбции ионов  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  на момент достижения кинетического равновесия значительно превышает этот показатель для катионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ . Выявленная закономерность соответствует ряду увеличения ионных радиусов исследуемых катионов, что подтверждает влияние размера катиона на эффективность ионного обмена. Аналогичные результаты были получены в работе [2], с.192 на катионите КУ-2.

Определение статической обменной емкости (СОЕ) амберлита проводилось на основе результатов изучения сорбции свинца от его равновесной концентрации (рис.2). Согласно классификации Джайлса данная изотерма относится к L-типу [3]. При малых концентрациях ионов свинца величина сорбции практически пропорциональна равновесной концентрации (прямолинейный участок Генри). Выпуклый участок кривой может быть описан уравнением сорбции Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{K \cdot C}{1 + K \cdot C}, \text{ ммоль}_{\text{Э}}/\text{г}, \quad (3)$$

где  $\Gamma$ - величина сорбции, ммоль<sub>Э</sub>/г;

$\Gamma_{\infty}$ - предельная величина сорбции, (СОЕ), ммоль<sub>Э</sub>/г;

$C$  – равновесная концентрация иона в растворе, моль<sub>Э</sub>/л;

$K$  – константа сорбционного равновесия.

На основании линейной формы уравнения Ленгмюра ( $\frac{C}{\Gamma} = \frac{C}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{K \cdot \Gamma_{\infty}}$ ) графически были рассчитаны значения  $K=36,4$  и статической обменной емкости ионита,  $COE = 9,14$  ммоль<sub>э</sub>/г, что подтверждает высокие сорбционную активность амберлита к ионам свинца.

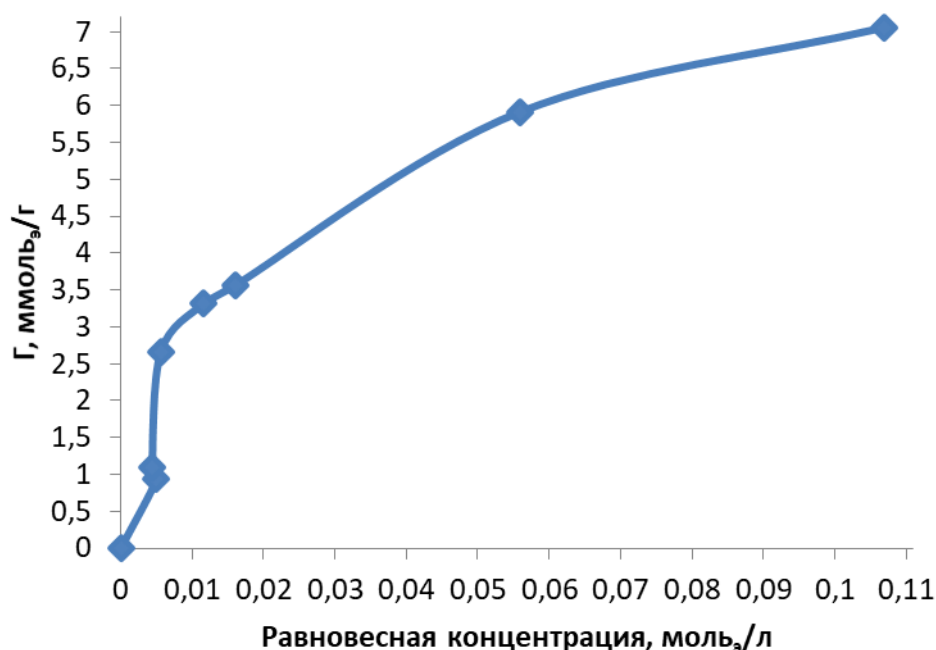


Рис.2. Изотерма сорбции ионов свинца на амберлите ИР-120

Результаты изучения кинетических закономерностей сорбционных процессов на амберлите ИР-120 позволяют рассматривать данный препарат как перспективный сорбент для очистки промышленных стоков от ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , и  $Si^{2+}$ . Высокий показатель COE амберлита ИР-120 к ионам свинца также подтверждает данный вывод.

#### *Библиографический список*

1. Сайт компании ООО «ОЕК-Холдинг»: [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://mosvtorplast.ru/amberlayt> (дата обращения 03.05.2017).



2. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. /под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. - М.: Производственно-издательское предприятие "Глобус", 1998. - 302 с.

3. Джайлс Ч. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел.- М.: Мир, 1986.- 488 с.

Фомичева В.А., Мармулева И.А., гр. 142

*Преподаватель И.Н. Дмитриевич*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КИНЕТИЧЕСКИХ И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАТИОНИТА КУ-2-8 И АМБЕРЛИТА ИР-120 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ СОРБЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

Катионит КУ-2-8 – один из основных отечественных препаратов катионообменного типа, применяемый для умягчения и обессоливания воды в системе водоподготовки и на стадии очистки сточных вод.

Однако исследования, позволяющие оценить эффективность катионита КУ-2-8 как сорбента тяжелых металлов, ограничены и не дают целостного представления о механизме и закономерностях ионообменного процесса с участием различных металлов [1,2].

Задачей данной работы является изучение кинетики и определение эффективности сорбции ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Si^{2+}$  катионитом КУ-2-8 с целью сопоставления полученных результатов с исследованиями, проведенными в тех же условиях на импортном аналоге амберлит ИР-120.

Изучение кинетики сорбции тяжелых металлов проводили в статических условиях на модельных растворах солей кадмия, свинца,

никеля и меди по следующей методике: 1г сорбента заливали 20 мл раствора соли металла известной концентрацией. Компоненты системы при периодическом перемешивании выдерживали в контакте заданный промежуток времени, после чего сорбент отделяли от раствора путем фильтрования. В фильтрате определяли концентрацию ионов  $Cd^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  методом комплексометрического титрования с индикатором мурексид. Контроль ионов  $Pb^{2+}$  проводили тем же методом в кислой среде с индикатором ксиленоловый оранжевый. Для измерения концентрации ионов  $Si^{2+}$  использовали метод иодометрического титрования.

Величина удельной сорбции рассчитывалась по формуле (1) как отношение количества сорбируемых ионов металлов (ммоль<sub>э</sub>) к массе абсолютно сухого сорбента (г)

$$\Gamma = \frac{(C_{исх} - C_{фил.}) \cdot V}{m \cdot (1 - B)}, \text{ ммоль}_{\text{э}}/\text{г}, \quad (1)$$

где  $\Gamma$  – величина сорбции, ммоль<sub>э</sub>/г;

$C_{исх}$  – начальная концентрация раствора соли, моль<sub>э</sub>/л;

$C_{фил}$  – концентрация соли металла в фильтрате, моль<sub>э</sub>/л;

$V$  – объём раствора соли металла, мл;

$m$  – масса сорбента, г;

$B$  – влагосодержание сорбента, в долях ед.

Величина сорбции, рассчитанная по этой формуле, позволяет сопоставлять величины сорбции для ионитов различной влажности. Эффективность процесса сорбции рассчитывали по формуле (2):

$$\text{Э} = \frac{C_{исх} - C_{фил}}{C_{исх}} \cdot 100, \% , \quad (2)$$

где  $\text{Э}$  - эффективность сорбции, % ;

$C_{исх}$  - начальная концентрация раствора соли, моль<sub>э</sub>/л;

С фил - концентрация соли металла в фильтрате, моль<sub>э</sub>/л;

Результаты изучения зависимости сорбции ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , и  $Si^{2+}$  от времени контакта раствора с катионитом КУ-2-8 представлены на рис. 1.

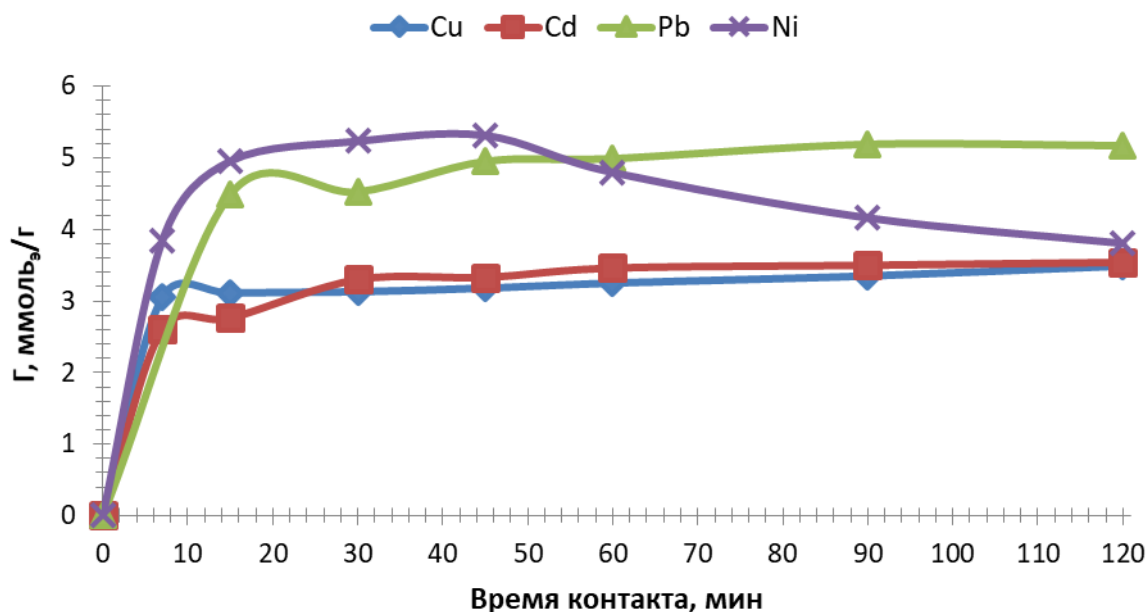


Рис.1. Зависимость величины сорбции ионов  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , и  $Si^{2+}$  от времени контакта с катионитом КУ-2-8

Характер представленных кривых подтверждает высокие кинетические свойства катионита КУ-2-8. Время достижения кинетического равновесия для всех ионов составляет от 7 до 30 минут. При этом сорбируется более 50% ионов в исходном растворе.

Кинетическое равновесие для ионов  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  и  $Si^{2+}$  характеризуется хорошей стабильностью. С увеличением продолжительности контакта раствора никеля с ионитом сорбция снижается. Согласно данным работы [3] повышение кислотности среды до  $pH=3$  смещает динамическое равновесие сорбции в обратном направлении, уменьшая суммарный

эффект. Для подтверждения влияния кислотности на кинетическое равновесие ионов никеля мы провели измерения pH исходного раствора нитрата никеля и фильтрата этого же раствора через 45 минут от момента начала сорбции. Было установлено существенное снижение показателя кислотности фильтрата (pH= 1,32) по сравнению с исходным раствором (pH =5,27).

Равновесная величина сорбции ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  более чем в 1,7 раза превышает аналогичный показатель для катионов  $Cd^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ . Данная закономерность коррелирует с последовательностью убывания ионных радиусов катионов и подтверждает влияние размера сорбируемого иона на эффективность обменного процесса. Аналогичные результаты были получены в работе [ 4 ], с.192.

В качестве тяжелого металла для определения статической обменной емкости (СОЕ) катионита КУ-2-8 был выбран свинец, показавший высокий сорбционный эффект в кинетических исследованиях. Расчет СОЕ проводился на основе изотермы сорбции, представленной на рис.2. Согласно классификации Джайлса полученная изотерма относится к L-типу [5], для которого характерны два участка — прямолинейный при малых концентрациях ионов свинца (участок Генри) и выпуклый, описываемый уравнением Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{K \cdot C}{1 + K \cdot C}, \text{ ммоль}_{\text{Э}}/\text{г} , \quad (3)$$

где  $\Gamma$  - величина сорбции, ммоль<sub>Э</sub>/г;

$\Gamma_{\infty}$ - предельная величина сорбции (СОЕ), ммоль<sub>Э</sub>/г;

$C$  – равновесная концентрация иона в растворе, моль<sub>Э</sub>/л;

$K$  – константа сорбционного равновесия.

На основании линейной формы уравнения Ленгмюра ( $\frac{c}{\Gamma} = \frac{c}{\Gamma} + \frac{1}{K \cdot J_{\infty}}$ ) графически были определены константа сорбционного равновесия ( $K=33,1$ ) и значение статической обменной емкости ионита,  $COE = 12,6$  ммоль<sub>э</sub>/г. Данный результат подтверждает высокие сорбционные свойства катионита КУ-2-8 к ионам свинца.

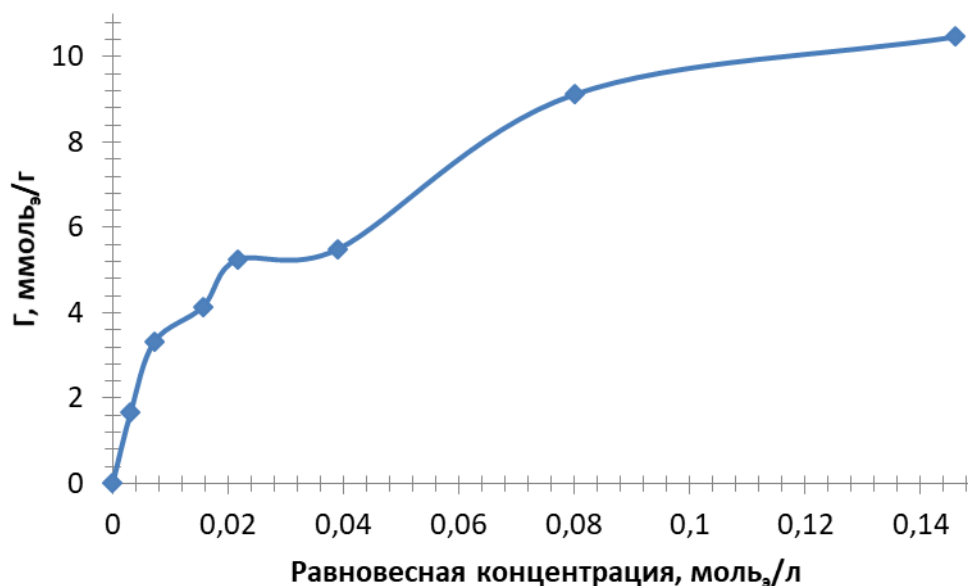


Рис.2. Зависимость сорбции ионов свинца катионитом КУ-2-8 от равновесной концентрации

Сопоставление результатов наших исследований с кинетическими и сорбционными характеристиками импортного аналога — амберлит ИР-120 (таблица), показывает строгое соответствие рядов селективности ионов для обоих катионитов. Однако время достижения кинетического равновесия для ионов кадмия и меди на катионите КУ-2-8 меньше чем на амберлите, а величина сорбции для всех ионов однозначно выше. Значение COE свинца на катионите КУ-2-8 также превышает аналогичный показатель для амберлита. Учитывая, что по составу и строению сопоставляемые

катиониты практически идентичны, превосходство катионита КУ-2-8, по-видимому, обусловлены более высокой степенью дисперсности. Эффективный размер его зерен почти в 2 раза меньше зерен амберлита, что увеличивает поверхность контакта и эффективность ионного обмена.

Результаты данной работы однозначно показывают превосходство отечественного катионного препарата катионита КУ-2-8 над импортным аналогом по кинетическим и сорбционным характеристикам. Кроме того стоимость данного препарата почти в 3 раза меньше импортного.

Сравнительная характеристика показателей сорбции ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Ni^{2+}$ , на катионите КУ 2-8 и амберлите ИР-120

| Сорбируемый ион | Показатели сорбции |  |                            |                 |  |                            |
|-----------------|--------------------|--|----------------------------|-----------------|--|----------------------------|
|                 | катионит КУ-2-8    |  |                            | амберлит ИР-120 |  |                            |
|                 | $t$ равн, мин      | $\Gamma_{\text{макс}}$ , ммоль <sub>3</sub> /л | СОЕ ммоль <sub>3</sub> /г. | $t$ равн, мин   | $\Gamma_{\text{макс}}$ , ммоль <sub>3</sub> /л | СОЕ ммоль <sub>3</sub> /г. |
| $Pb^{2+}$       | 30                 | 5,2  | 12,6                       | 30              | 3,6  | 9,14                       |
| $Cu^{2+}$       | 7                  | 3,3  | —                          | 15              | 2,25   | —                          |
| $Cd^{2+}$       | 30                 | 3,5  |                            | 60              | 2,42   |                            |
| $Ni^{2+}$       | 15                 | 5,2  |                            | 15              | 3,5  |                            |

На основании приведенных данных следует признать целесообразным использование катионита КУ-2-8 для высокоэффективной очистки сточных вод от тяжелых металлов при низких экономических затратах.

#### *Библиографический список*

1. Яковлев С.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб. для вузов, – М.: Стройиздат, 1990. – С. 192-203.

2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод: учеб. пособие – Киев: Вища школа, 1981. – 328 с.

3. В.П.Мелешко, М.В.Рожкова. Изучение кинетики ионообменных реакций на катионите КУ-2 с различным содержанием дивинил бензола: сб.: Теория ионного обмена и хроматографии. –М.: Наука,1968. С. 5-11.

4. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. - М.: Производственно-издательское предприятие "Глобус", 1998. - 302 с.

5. Джайлс Ч. и др. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / пер с англ.; под ред. Г. Парфита, К. Рочестера - М.:Мир, 1986. – 488 с.

Чебакова И.А., Пономаренко М.А., гр. 142

*преподаватель И.Н. Дмитриевич*

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ГРАНУЛ КАТИОНИТА КРС-2П НА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБМЕНА ИОНАМИ СВИНЦА И МЕДИ**

Состояние окружающей среды является важнейшим фактором, определяющим жизнедеятельность человека и общества. К числу высокотоксичных и широко распространенных химических загрязнителей относятся соединения свинца, цинка, кадмия, ртути, меди, молибдена, хрома, марганца, никеля и др., которые принято называть тяжелыми металлами.

Техногенным источником тяжелых металлов являются газовые выбросы и сточные воды металлоемких отраслей промышленности. Ежегодно в России только при промывке изделий после гальванических и химических покрытий сточные воды металлообрабатывающих заводов выносят не менее 3300 т цинка, 2400 т никеля, 460 т меди, 500 т хрома, 125 т олова, 135 т кадмия. Попадая с промышленными выбросами в экосистему, тяжелые металлы аккумулируются в организме человека, вызывая развитие ряда серьезных заболеваний иммунной, нервной, костной и репродуктивной систем. Поэтому разработка высокоэффективных методов очистки промышленных стоков от ионов тяжелых металлов является важной экологической задачей.

К числу наиболее эффективных и универсальных методов удаления металлов из сточных вод относится сорбционный метод ионного обмена, основанный на поглощении загрязняющих ионов твердыми синтетическими смолами путем обмена на эквивалентное количество однозарядных ионов в составе смолы. Смолы, в которых происходит обмен катионами, называются катионитами. Их эффективность зависит от гранулометрического состава, структуры, строения матрицы, функциональных групп смолы и от природы сорбируемого иона.

Задачей данной работы является оценка влияния размера гранул катионита КРС - 2п на скорость и эффективность сорбции ионов свинца и меди с целью определения оптимального гранулометрического состава катионита при использовании его в качестве сорбента тяжелых металлов на стадии ионообменной очистки сточных вод.

В качестве объектов исследования в работе использовались образцы катионита КРС -2п с размером зерен 0,5-1,0 и 0,25-0,5 мм. Результаты измерения отдельных физико-химических характеристик исследуемых образцов представлены в таблице.



Физико-химические характеристики катионитов КРС-2п с различной степенью дисперсности

| Наименование показателя         | Образцы КРС-2п  |                |
|---------------------------------|-----------------|----------------|
|                                 | фр. 0,25-0,5 мм | фр. 0,5-1,0 мм |
| Насыпной вес, г/см <sup>3</sup> | 0,78            | 0,76           |
| Коэффициент набухания           | 1,31            | 1,75           |
| Степень набухания, %            | 31              | 75             |
| Влажность, %                    | 76,3            | 73,4           |

Для оценки влияния гранулометрического состава сорбента на скорость сорбционного процесса были построены кинетические кривые сорбции ионов свинца и меди на обоих образцах катионита (рис. 1 и 2).

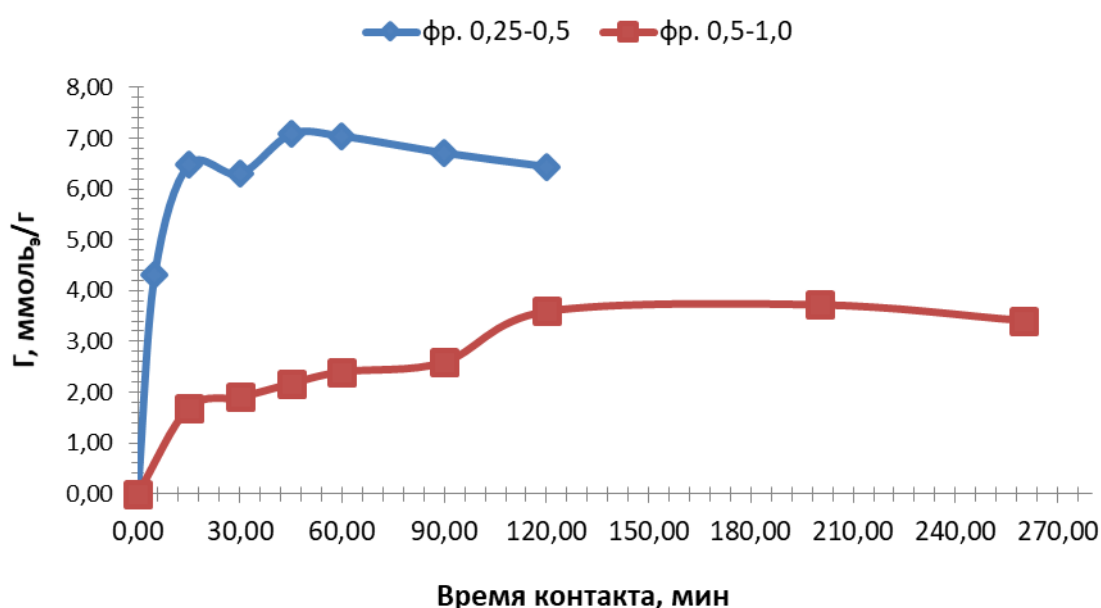


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции ионов свинца на образцах катионита КРС-2п с размером зерен 0,25-0,5мм и 0,5-1,0 мм

Условия проведения эксперимента: статический режим сорбции, Т:Ж=1:20,  $C_{нач}(Si^{2+}) = 0,167$  моль<sub>э</sub>/л,  $C_{нач}(Pb^{2+}) = 0,173$  моль<sub>э</sub>/л.

Концентрация свинца определялась комплексометрическим титрованием с ксиленоловым оранжевым ионов меди методом йодометрии. Величина сорбции рассчитывалась как отношение количества сорбируемых ионов металла (ммоль<sub>э</sub>) к массе абсолютно сухого сорбента (г), которая определялась с учетом влажности образца катионита.

Полученные данные показывают, что с увеличением степени дисперсности зерен катионита величина сорбции возрастает. При кинетическом равновесии сорбция свинца на мелкодисперсной фазе почти в 2 раза больше, чем на крупнодисперсной (рис 1). Скорость сорбции на мелких частицах выше (кинетические кривые для фракции 0,25-0,5 мм характеризуются большой крутизной), а время установления равновесия меньше. Для ионов свинца время достижения кинетического равновесия на фракции 0,25-0,5 мм составляет 30 минут, а на крупнодисперсной фракции 2 часа.

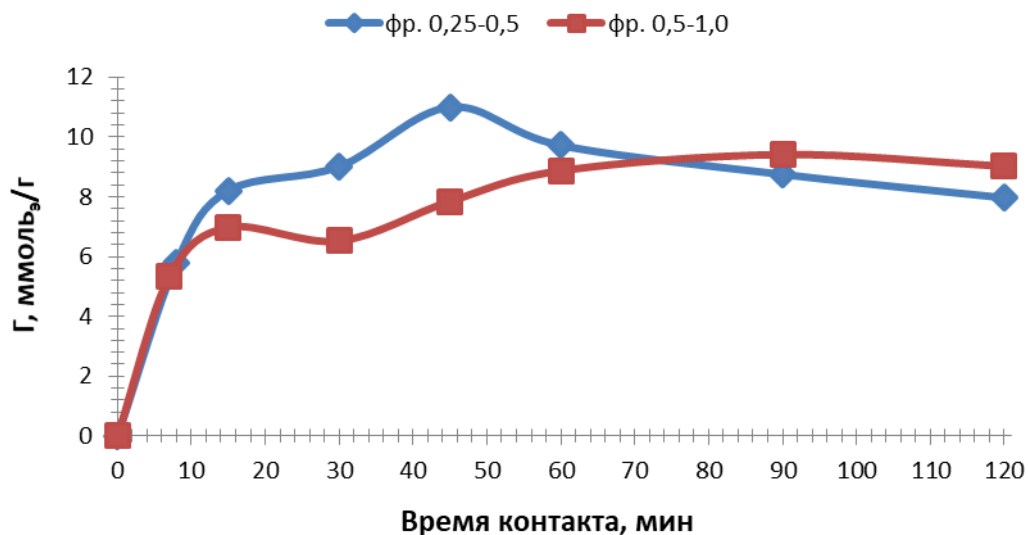


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции ионов меди на образцах катионита КРС-2п с размером зерен 0,25-0,5мм и 0,5-1,0 мм

Следует отметить, что при сохранении общей тенденции, указанные эффекты менее выражены для ионов меди, поэтому дальнейшие исследования проводились только с растворами солей свинца.

Для разработки метода регулирования скорости сорбционных процессов необходимо знать лимитирующую стадию кинетики ионного обмена. С этой целью была проведена оценка соответствия математических моделей основных стадий ионного обмена экспериментальным кинетическим кривым сорбции свинца. В результате была установлена хорошая корреляция полученных данных с моделью пленочной кинетики, для которой зависимость  $-\log(1 - F)$  от  $t$ , имеет линейную форму, где  $t$  - время сорбции,  $F$  - относительная доля величины сорбции от равновесной величины ( $F = \frac{\Gamma t}{\Gamma_{\text{равн}}}$ ) (Рис. 3).

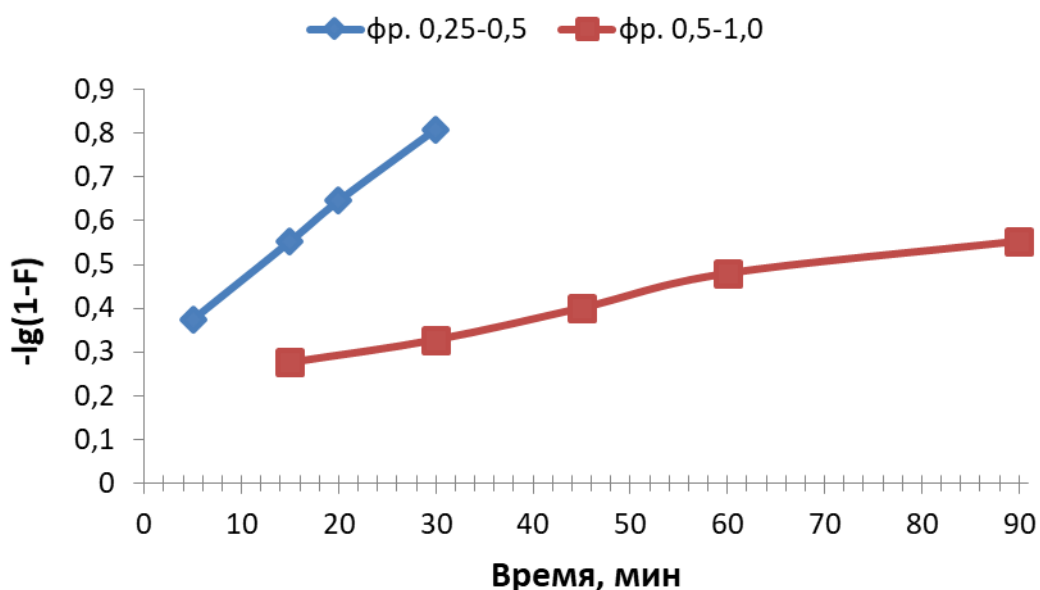


Рис. 3. Оценка лимитирующей стадии ионного обмена на основе математической модели пленочной диффузии

По результатам изучения зависимости сорбции от равновесной концентрации растворов были построены изотермы сорбции свинца на образцах катионита с различной степенью дисперсности. Полученные

изотермы относятся к изотермам L-типа. На рис. 4 приведена изотерма сорбции ионов свинца на катионите КРС-2п с размером зерен 0,25-0,5мм. Графическая обработка выпуклого участка кривой с использованием линейной формы уравнения Ленгмюра показала, что статическая обменная емкость (СОЕ) исследуемого образца составляет 9 ммоль/г, что соответствует аналогичному показателю для импортного препарата амберлит ИР-120, но меньше СОЕ катионита КУ-2-8 (12,6 ммоль /г).

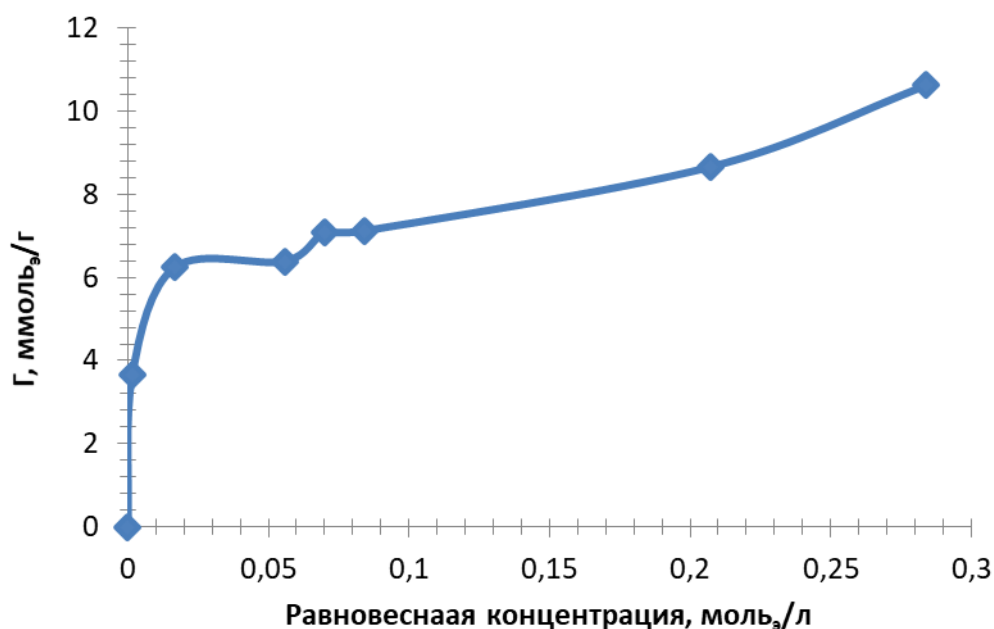


Рис.4. Изотермы сорбции ионов свинца на катионите КРС-2п с размерами зерен 0,25-0,5 мм

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. С увеличением степени дисперсности катионита КРС-2п возрастает скорость сорбции и уменьшается время достижения сорбционного равновесия, что, по-видимому, объясняется увеличением границы раздела фаз и ускорением ионного обмена. Этот эффект проявляется неоднозначно

для исследуемых ионов. Для ионов свинца он выше, чем у меди, что, по-видимому, обусловлено большим радиусом иона.

2. Установлено, что лимитирующей стадией обмена ионами свинца и катионита является пленочная диффузия. Это дает основание считать, что для регулирования скоростью рассматриваемых процессов наиболее приемлемы гидродинамические методы.

3. Показано, что СОЕ катионита КРС-2п к ионам свинца практически не зависит от размера зерен сорбента и имеет высокое значение (9 ммоль/г).

Таким образом, при ионообменной очистке сточных вод от свинца целесообразно использовать катионит КРС-2п с размером зерен 0,25-0,5мм. Процесс должен проводиться при повышенном давлении потока воды или при интенсивном перемешивании.

Суслов Г.А, гр. 142

*преподаватель И.Н. Дмитриевич*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ СШИВКИ КАТИОНИТА КРС НА СКОРОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБМЕНА ИОНАМИ СВИНЦА И МЕДИ**

Среди сорбентов, используемых в водоподготовке и в очистке промышленных выбросов, наибольшее распространение получили синтетические ионообменные смолы (иониты). Они обладают высокой способностью к ионному обмену и превосходят по активности и химической стойкости природные иониты.

Синтетические иониты состоят из сетчатого или пространственного каркаса (матрицы) гибких углеводородных цепей, скрепленных («сшитых») поперечными связями – «мостиками». Чаще всего иониты синтезируются сополимеризацией полистирола или полиакрилата с дивинилбензолом (ДВБ), где ДВБ играет роль «сшивающего» агента. При этом в матрицу вводятся функционально-активные ионогенные группы кислотного или основного характера, противоионы которых выполняют ионнообменные функции [1]. По знаку обмениваемого иона иониты делятся на катиониты, аниониты и полиамфолиты. Сорбционная активность ионитов в значительной степени зависит от строения матрицы и природы функциональных групп.

Задачей данной работы является оценка влияния степени сшивки катионита КРС на скорость и эффективность сорбции ионов свинца и меди для определения оптимального состава катионита при использовании его на стадии ионообменной очистки сточных вод.

В качестве объектов исследования использовались образцы сильнокислотного катионита КРС марок КРС-2п и КРС-5п, содержащие в 2 и 5% ДВБ от общей массы сорбента.

Для оценки влияния степени сшивки матрицы на скорость сорбционного процесса были построены кинетические кривые сорбции ионов свинца и меди на основании изучения зависимости величины сорбции от времени контакта сорбента с раствором (рис. 1 и 2). (Условия проведения эксперимента: статический режим сорбции, Т:Ж=1:20,  $C_{\text{нач}}(\text{Cu}^{2+}) = 0,167$  моль/л,  $C_{\text{нач}}(\text{Pb}^{2+}) = 0,173$  моль/л). Концентрация свинца определялась комплексометрическим титрованием с ксиленоловым оранжевым ионов меди методом йодометрии. Величина сорбции рассчитывалась, как отношение количества сорбируемых ионов металла (ммоль/г) к массе абсолютно сухого сорбента (г), которая определялась с учетом влажности образца катионита.

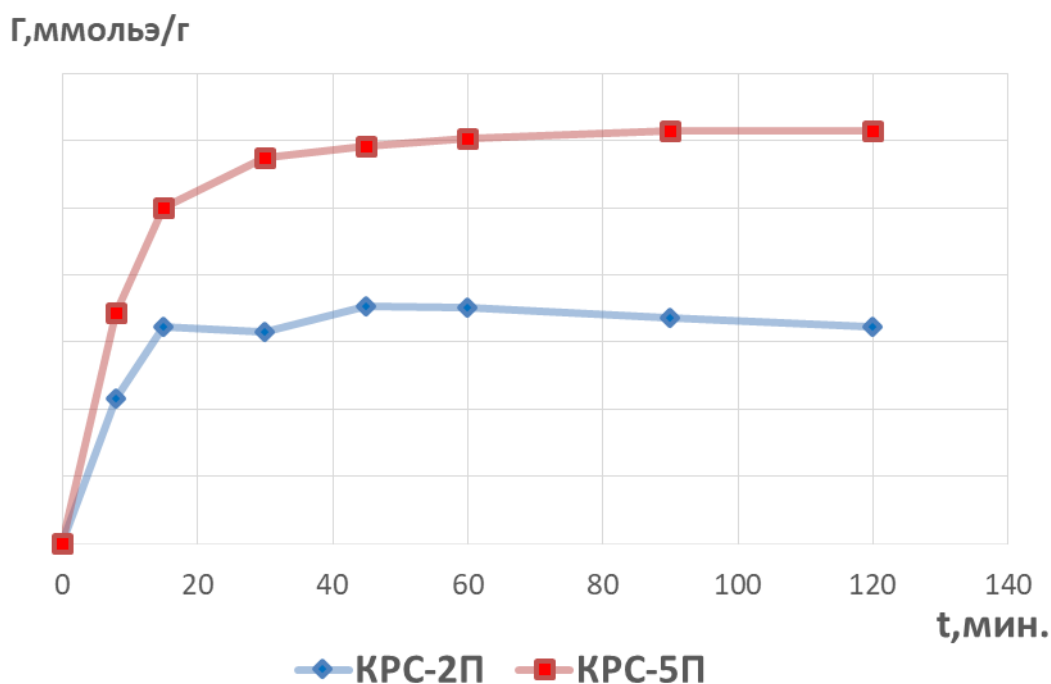


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции свинца на образцах катионита КРС-2п и КРС-5п

Анализ кинетических кривых для ионов меди (рис. 2) показывает, что скорость сорбции на катионите с меньшим процентом сшивок (КРС-2п) выше, чем на КРС-5п. Это, по-видимому, объясняется диффузией гидратированных ионов меди в менее структурированную матрицу КРС-2п. На момент достижения кинетического равновесия структура сорбента не оказывает существенного влияния на кинетические характеристики процесса. Для обоих катионитов время достижения кинетического равновесия составляет около 60 минут. Для ионов свинца по сравнению с медью наблюдается инверсия в кинетике сорбции. Ионы свинца значительно лучше и быстрее сорбируются на катионите с более плотной структурой матрицы и с большим количеством сшивок (рис. 1).

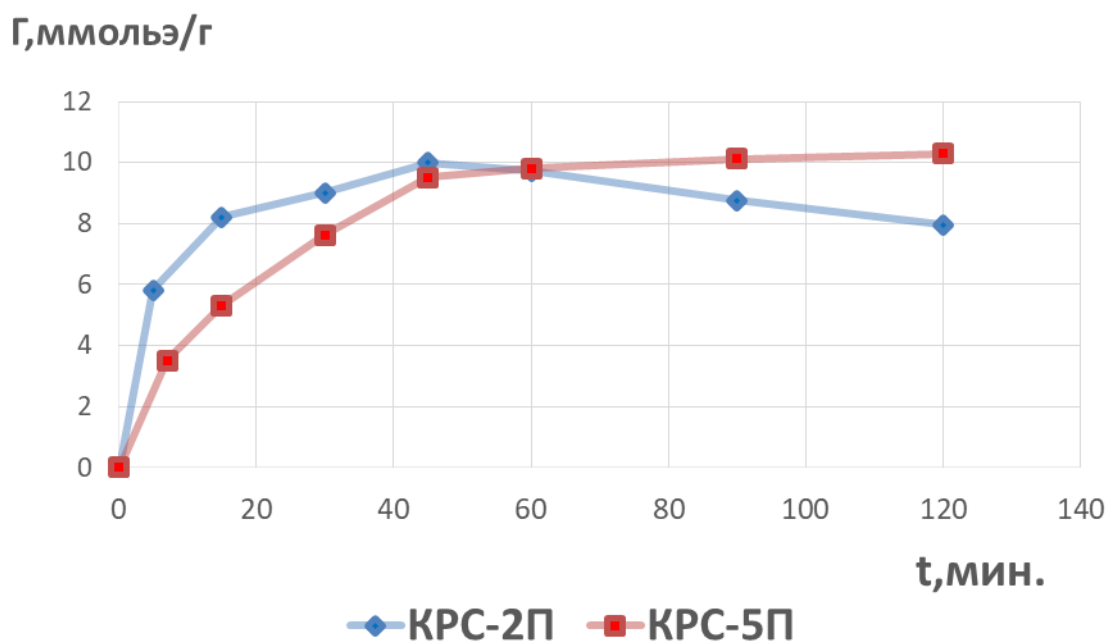


Рис.2. Кинетические кривые сорбции меди на образцах катионита КРС- 2п и КРС-5п

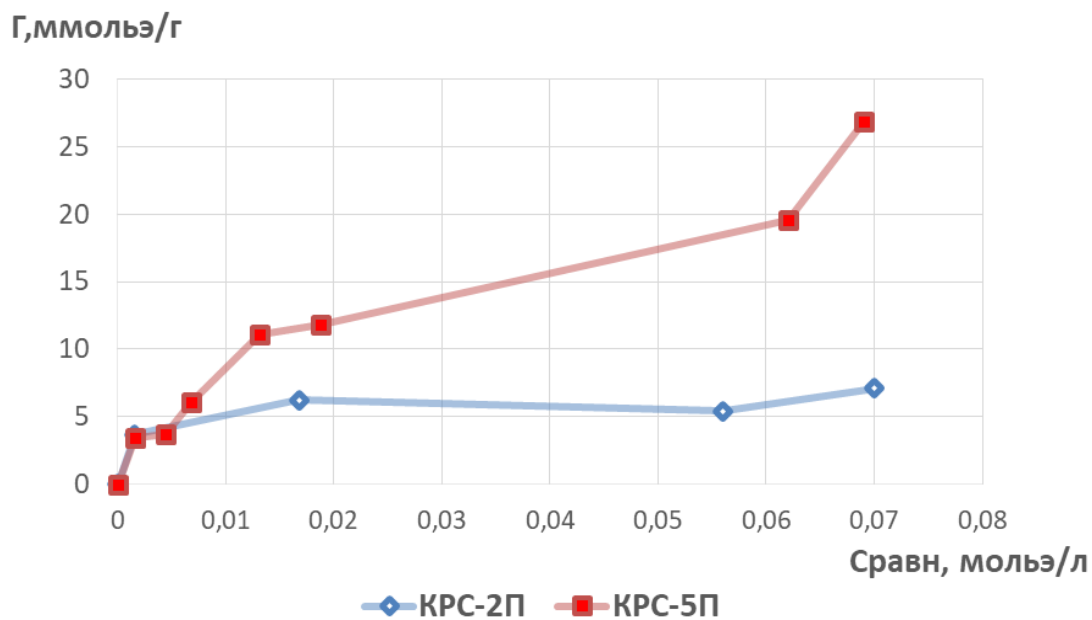


Рис. 3. Изотермы сорбции свинца на образцах катионита КРС-2п и КРС-5п



Аналогичные результаты были получены при определении СОЕ свинца по изотермам сорбции, представленным на рис.3.

Причиной высокой скорости сорбции и значительного увеличения величины СОЕ для ионов свинца на катионите КРС-5п может быть образование прочных связей за счет высокой плотности поверхностного заряда у ионов свинца и катионита КРС-5п при сближении функциональных сульфогрупп с ростом поперечных шивок матрицы.

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

При сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  количество шивок в матрице не оказывает существенного влияния на скорость и эффективность процесса. Поэтому в практике сорбционной очистки сточных вод от меди могут быть использованы оба катионита.

Для сорбции ионов  $\text{Pb}^{2+}$  наиболее перспективным следует признать применение катионита КРС-5п.

Научное издание

# СОРБЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Тезисы докладов внутривузовской  
студенческой научно-практической конференции  
(Санкт-Петербург, 27-28 апреля 2017 года)

Редактор и корректор Н.П. Новикова  
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2018, поз.

---

Подп. к печати                      Формат 60x84/16. Бумага тип №1. Печать офсетная.  
Печ.л.                      ; уч.-изд.л.                      Тираж 70 экз. Изд. №                      . Заказ

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,  
СПб, ул. Ивана Черных,4.