

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра общей и неорганической химии**

ОСНОВЫ ХИМИИ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Теоретические основы и методики выполнения анализа

Методические указания для студентов очной формы обучения
по направлению подготовки:
18.03.10 — Химическая технология

Составитель:
А.Р. Иванов

Санкт-Петербург
2021

Утверждено
на заседании кафедры ОиНХ
26.04.2021 г., протокол № 5

Рецензент О.В. Федорова

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Основы химии твердых веществ» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.10 «Химическая технология». В указаниях представлен порядок проведения курсовой работы. Также приведен обзор лабораторных методик, связанных с синтезом силикатных сорбентов и подготовкой их к анализу, определение некоторых физико-химических параметров этих твердых веществ, отражающих свойства поверхности, с целью применения в конкретных условиях эксперимента и в химической технологии.

Методические указания предназначены для бакалавров очной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве методических указаний.

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.

- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 31.05.2021 г. Рег.№ 24/21

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| Этапы выполнения курсовой работы..... | 5 |
| 1. Подготовительный этап. Теоретические основы химии твердых веществ..... | 5 |
| 2. Первый этап. Химические технологии синтеза сорбентов: обзор современных методов на примере силикагеля..... | 5 |
| 2.1. Золь-гель метод..... | 6 |
| 2.2. Синтез высокоупорядоченных силикагелей | 8 |
| 2.3. Пример метода синтеза силикатного сорбента (темплатным способом)..... | 9 |
| 3. Второй этап. Основные закономерности поведения поверхности твердого тела | 10 |
| 3.1. Определение кислотно-основных свойств поверхности сорбентов фотометрическим методом с применением индикаторов..... | 12 |
| 4. Третий этап. Моделирование химических технологий на основе сорбционных процессов с применением внешних физических или химических факторов..... | 16 |
| 4.1. Примерный план исследовательской работы «Применение магнитного поля в процессе синтеза силикагеля» | 17 |
| Техника безопасности и основные правила работы в химической лаборатории | 18 |
| 5. Приложение. Пример оформления курсовой работы..... | 23 |

ВВЕДЕНИЕ

Технологии синтеза твердых веществ и сорбентов в различных химических отраслях занимают важное место, обеспечивая необходимый уровень автоматизации, качества продукции, эффективности процесса в целом.

В курсе «Основы химии твердых веществ» предусматривается исключительно интерактивная форма учебно-воспитательного процесса, связанного с выполнением индивидуальной курсовой работы. В связи с большим разнообразием химических процессов в химической технологии перечень тематик курсовых работ представляется с ограничением по доступному оборудованию.

Темы работ могут быть расширены и конкретизированы с учетом предпочтений студентов и выпускающей кафедры.

Интерактивная форма проведения занятий в лаборатории с профессиональной эксплуатацией существующего современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки формирует соответствующие компетенции (ПК-1, ПК-4, ПК-9, ПК-16) общепрофессионального, производственно-технологического и научно-исследовательского направлений деятельности при высоком общекультурном статусе (ОК-2).

Выполнение курсовой работы студентом способствует развитию творческой мысли с мотивацией профессионального роста и умением грамотно выражать свои мысли устно и письменно.

Методические указания предназначены для студентов ВШТЭ СПбГУПТД., занимающихся по направлению 18.03.01. «Химическая технология».

Этапы выполнения курсовой работы

1. Подготовительный этап. Теоретические основы химии твердых веществ

На данном этапе студент посредством теоретических занятий, изучения предложенной преподавателем литературы, написания реферата, формирует представления об особенностях химии твердых веществ. Итогом подготовительного этапа должен быть выбор темы курсовой работы по согласованию с преподавателем и написание литературного обзора.

Реакционная способность твердых веществ, на поверхности которых наблюдаются адсорбционные эффекты, определяется ее физико-химическими свойствами. Различают два основных типа адсорбции — физическую и химическую. В курсе коллоидной химии подробно изучают физическую сорбцию (капиллярную конденсацию), а также зависимость адсорбционных эффектов от температуры и давления.

В настоящих методических указаниях рассматривается адсорбция с точки зрения химии твердого тела, в основе которой лежат представления о том, что реальная поверхность твердого вещества химически неоднородна. Обрыв периодичности кристаллической решетки приводит к активации координационной сферы поверхностных атомов и регибридизации связей, к изменению эффективных зарядов, межатомных углов и расстояний, порядка расположения атомов на поверхности. Неоднородность поверхности определяет ее химические свойства, конкретизируя при этом спектр активных поверхностных центров, в качестве которых могут выступать как поверхностные атомы решетки с более или менее связанным электроном, так и поверхностные функциональные группы, образовавшиеся при взаимодействии с молекулами из окружающей среды. Состав и реакционная способность поверхности твердого вещества зависят от природы вещества, способа его получения, от содержания примесей, от условий хранения, степени гидратации и т.п.

2. Первый этап. Химические технологии синтеза сорбентов: обзор современных методов на примере силикагеля

В качестве объекта исследования на данном этапе студентам предлагается силикагель, как наиболее доступный и распространенный сорбент.

В итоге под руководством преподавателя студент предлагает и апробирует метод синтеза сорбента для дальнейшего его изучения.

Силикагели — адсорбенты, обладающие развитой пористой структурой, широко применяются в промышленности и вызывают большой интерес у исследователей в связи с возможностью контролировать их структуру во время синтеза в зависимости от условий его проведения. Силикагели обладают высокой адсорбционной способностью, избирательностью адсорбционного действия, способностью подвергаться многократной регенерации без потери адсорбционной активности.

Технология получения силикагеля — это золь-гель процесс, включающий следующие стадии: получение золя кремниевой кислоты, гелеобразование и сушку. Причем условия проведения каждой из стадий процесса оказывают влияние на пористую структуру конечного продукта

Промышленное производство силикагеля основано на осаждении аморфного кремнезема из силикатов щелочных металлов минеральными кислотами (H_2SO_4 , HCl). Силикагели также выделяют из концентрированных золь коллоидного кремнезема взаимодействием щелочного силиката с солью аммония. Наиболее чистый силикагель может быть получен гидролизом соединений кремния ($SiCl_4$, алкоксидов кремния).

2.1. Золь-гель метод

Золь-гель метод (гидролитическая поликонденсация) — это метод получения материалов, включающий получение золя с последующим переводом его в гель, т. е. в коллоидную систему. Основное преимущество золь-гель метода заключается в высокой степени гомогенизации компонентов реакции, что достигается благодаря растворению исходных веществ в растворе.

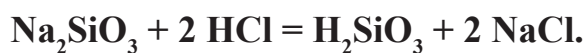
Сущность метода заключается в следующем. Гель, отмытый от солей дистиллированной или подкисленной водой, сушат определенное время при комнатной температуре или при $100\text{ }^\circ\text{C}$. Студни, приготовленные выпариванием водных золь, сушат при температуре $80\text{ — }100\text{ }^\circ\text{C}$ и затем $180\text{ — }200\text{ }^\circ\text{C}$. На рис. 1 представлена основа золь-гель метода— схема перехода истинного раствора в золь и далее в гель.



Рис.1. Основа золь-гель метода — схема перехода истинного раствора в золь и далее в гель

Стадии синтеза силикагеля.

На первой стадии получается золь из раствора силиката натрия под действием сильной, например, соляной кислоты, осаждается гидроксид кремния и образуется золь кремниевой кислоты:



Вторая стадия — это превращение золя H_2SiO_3 в гель в результате формирования пространственной сетки.

Получаемые таким образом сорбенты микропоры, переходные по размеру поры (мезопоры) и макропоры. В соответствии с классификацией IUPAC мезопористыми называют материалы с диаметром пор от 2,0 до 50,0 нм.

Данный метод позволяет достичь высокой степени чистоты материалов на всех стадиях синтеза при минимуме затрат. Становится возможным получение сорбентов, которые характеризуются: монофазной кристаллической структурой, обладающей высокой степенью совершенства; строго стехиометрическим составом; отсутствием посторонних фаз.

Дополнительные возможности этого метода заключаются в его модификации — замещении воды органической жидкостью с учетом рН геля и его возраста. Указанный метод дает возможность получать адсорбенты, обладающие наряду с большой адсорбционной ёмкостью высокоразвитой удельной поверхностью.

2.2. Синтез высокоупорядоченных силикагелей

Молекулярный импринтинг (англ. *molecular imprinting*) — это метод получения «молекулярных отпечатков», основанный на полимеризации функциональных мономеров в присутствии специально введенных целевых молекул-шаблонов (темплатов). Он используется для получения высокоселективных сорбентов и катализаторов, структурно настраиваемых на целевой сорбат или реагент на наноуровне. При этом распознавание становится возможным благодаря присутствию в таких материалах участков, способных к специфическому (комплементарному) взаимодействию с молекулами-матрицами или близкими к ним по структуре соединениями по принципу ключ-замок. В понятие комплементарности входит соответствие участка молекулы-матрицы как по размеру и форме, так и по наличию в отпечатке дополняющих функциональных групп, способных к взаимодействию с функциональными группами молекулы-шаблона. Метод получения твердых материалов с молекулярными отпечатками включает три этапа. На первом этапе смесь функциональных мономеров и молекулярной матрицы смешивают в подходящем растворителе до начала реакции. При этом происходит образование устойчивого комплекса молекул мономеров и вещества-матрицы, благодаря которому молекулы мономеров определенным образом располагаются и фиксируются вокруг молекулы матрицы. На втором этапе происходит реакция, и в результате полимеризации или поликонденсации предполимеризационных комплексов образуется сильно сшитый полимер с жесткой структурой, содержащий молекулу-матрицу. На третьем этапе удаляют молекулярную матрицу из полимерной сетки. Для этого полученный полимер обрабатывают растворителем, сушат, измельчают, просеивают до нужного размера частиц, и в результате в материале образуются поры — трехмерные отпечатки, которые в идеале способны к специфическим взаимодействиям с молекулами-матрицами или близкими к ним по структуре соединениями. В зависимости от типа связи (ковалентная или нековалентная) между молекулами исходного реагента и матрицы различают ковалентный и нековалентный импринтинг.

Границы изменения пористости в этом случае зависят от природы промышленного органического растворителя, предыстории геля и его возраста.

Получение мезопористых силикатов с упорядоченным распределением пор методом темплатного синтеза возможно также с использованием поверхностно активных веществ (ПАВ). При высоких концентрациях ПАВ в водных растворах образуются трубчатые поры разнообразных размеров.

Полимеризация полисиликатов на поверхности мицелл ПАВ приводит к формированию жесткой силикатной структуры. Удаление органических темплатов (ПАВ) достигается предварительной экстракцией их этанолом с последующим прокаливанием при температурах 540 — 550 °С.

2.3. Пример метода синтеза силикатного сорбента (темплатным способом)

Силикатные сорбенты готовят в тефлоновых сосудах осаждением гелей поликремневой кислоты из водных коллоидных растворов Na_2SiO_3 и K_2SiO_3 ($\text{pH} > 10$). Коагуляция достигается сначала высаливанием в результате смешивания с равным объемом этанола (70%-й раствор в H_2O). Оптически активные матричные вещества (левомецитин, аскорбиновая кислота) вводятся в коллоидную систему в виде 0,1 — 0,25%-х растворов в $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ из расчета около 10 мкг хирального агента на 1 г силикатного материала вместе с высаливающей жидкостью. На следующем этапе обработку осадка проводят 5%-м раствором HCl . После этого осадок промывают дистиллированной водой до $\text{pH} \sim 8$, а затем таким же объемом этанола для удаления темплатного агента. Полученное твердое вещество сушат в эксикаторе с силикагелем при $t = 20$ °С, 30 ч. После растирания в фарфоровой ступке для опытов отсеивают фракцию с размером зерна менее 0,016 мм.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность золь-гель метода?
2. Какие материалы называют мезопористыми?
3. В чем заключается принцип темплатного метода синтеза силикагелей и каковы пути его совершенствования?

4. Как изменится неупорядоченность (энтропия) твердого тела, если при его синтезе использовать молекулярную матрицу, внешнее силовое поле или эти два фактора вместе. Ответ обоснуйте.

5. В каких случаях в природе возможно протекание темплатного синтеза твердых веществ. Приведите примеры.

Библиографический список

1. Карпов С.И. и др. Перспективы синтеза и использования упорядоченных мезопористых материалов при сорбционно-хроматографическом анализе, разделении и концентрировании физиологически активных веществ (обзор) <http://www.sorpchrom.vsu.ru/articles/20130201>.

2. Конькова Т. В. и др. Синтез силикагелей с контролируемой пористой структурой // Журнал неорганической химии, 2014. Т.59. №11. — С. 1457-1461.

3. <http://naukarus.com/sintez-silikageley-s-kontroliruemoj-poristoy-strukturoy>

3. Второй этап. Основные закономерности поведения поверхности твердого тела

На данном этапе студенту предстоит познакомиться с современными представлениями о поверхности твердого тела, а также овладеть фотометрическим методом изучения свойств поверхности сорбентов. В результате студент выбирает краситель (адсорбат), для его использования в качестве тестового реагента.

Поверхность твердых веществ представляет собой обрыв кристаллической решетки, нарушение целостности структуры твердого тела, т.е. его дефект. Она представляет собой совокупность центров Льюиса и Бренстеда как основного, так и кислотного типов. Принадлежность центров к льюисовскому (апротонному) типу определяются наличием акцепторного, или донорного, поверхностного состояния, локализованного на неполностью координированных атомах вещества на его поверхности. Кислоты и основания Бренстеда образуются в результате адсорбции молекул воды или ее фрагментов на соответствующих центрах Льюиса. В случае акцепторного состояния Э^+ образуется кислота, а в случае донорного состояния ЭО: — основание (рис.2). Сила кислотных центров поверхности твер-

дого тела определяется способностью поверхностных групп переводить адсорбированные молекулы основания из нейтральной в сопряженную кислотную форму. При протекании реакции с переносом протона от поверхности к адсорбату кислотная сила выражается функцией кислотности Гаммета H_0 :

$$H_0 = pK_a + \lg\left(\frac{[B]}{[BH^+]}\right),$$

где pK_a характеризует активность протона, это отрицательный логарифм константы кислотности адсорбата; $[B]$ и $[BH^+]$ — соответственно, концентрации нейтрального основания и сопряженной кислоты. Перенос электронной пары от адсорбата к поверхности, отображаемый функцией кислотности, H_0 определяется уравнением:

$$H_0 = -\lg\alpha_A,$$

где α_A — активность кислоты Льюиса или акцептора электронной пары.

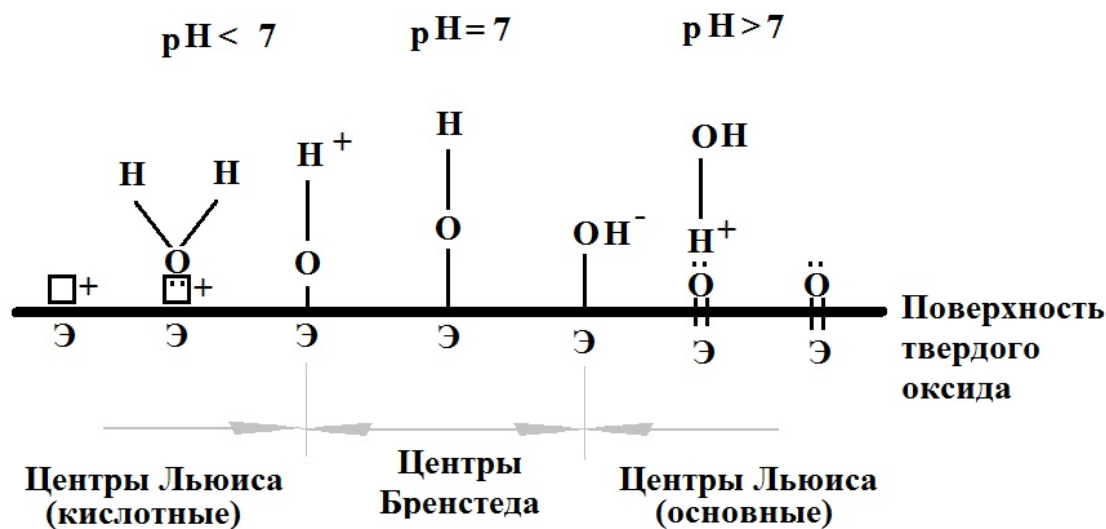


Рис 2. Распределение активных центров на поверхности твёрдого оксида по силе ионизации и кислотно-основным свойствам.

Силу кислотных центров поверхности твёрдых веществ оценивают визуально по изменению окраски адсорбированного индикатора. В случае идентичности окраски кислотной формы индикатора с адсорбированной формой, функция H_0 равна или ниже значений pK_a данного индикатора. Меньшие значения соответствуют большей кислотности твёрдого вещества. Аналогично при адсорбции на твёрдом основании кислотной формы индикатора появляется окраска,

характерная для его сопряженной основной формы. Это указывает на то, что на поверхности имеются центры основной силы. Изменением цвета индикаторов на поверхности твердого тела в определенном интервале значений pK_a оценивается сила кислотности вещества. Промежуточная окраска адсорбированного индикатора на твердой поверхности вещества соответствует равному содержанию его кислотной и основной форм, что указывает на присутствие на поверхности кислотных и основных центров данной силы $H_0 = pK_a$.

Константа диссоциации индикатора K_a является мерой энергии химической связи между реагирующими компонентами, в качестве которых выступают центр адсорбции и молекула индикатора. Таким образом, подбирая и применяя большое количество индикаторов с различными значениями pK_a , можно визуально оценить силу кислотно-основных центров, присутствующих на поверхности (таблица). Существует ряд других способов оценки кислотно-основных характеристик центров твердых веществ с применением инструментальных методов анализа. Концентрацию кислотных центров, например, ммоль/г или ммоль/м², измеряют после определения их силы методом аминного титрования в органических растворителях, а также фотометрическим и потенциометрическим методами в водных растворах.

Свойства твердого тела зависят от его предыстории, т. е. от методов его получения и обработки. Влияние внешних электрических и магнитных полей может быть охарактеризовано, прежде всего, двумя составляющими: поляризацией (наведение или усиление электрических зарядов) внутри частиц вещества и ориентацией (расположение в пространстве частиц определенным образом, соответственно направлениям силовых линий полей). Таким образом экспериментатор может влиять на формирование внутренней структуры сорбента, а также его поверхности, если на определенном этапе реакцию смесь, предназначенную для этого синтеза подвергать действию внешних электрических и магнитных полей.

3.1. Определение кислотно-основных свойств поверхности сорбентов фотометрическим методом с применением индикаторов

Для исследования поверхности сорбентов с целью определения количества функциональных групп и их идентификации используется индикаторный метод,

который основан на том, что индикатор, адсорбируясь на поверхности, меняет свою окраску, которая является мерой кислотности (основности) поверхности, содержащей активные центры Льюиса и Бренстеда. Распределение активных центров на поверхности твердого вещества по кислотной силе является одним из основных параметров, по которому можно контролировать поверхность и изменения ее в различных процессах. Для этой цели используют набор индикаторов Гаммета с различными значениями pK_a .

Выполнение анализа по данной методике состоит в следующем. В мерных колбах вместительностью 100 см^3 готовят стандартные водные растворы красителей концентрации $C_{\text{ind}} \cong 10^{-4}$ моль/л. В первую серию калиброванных пробирок емкостью 5 см^3 из мерных колб вносят определенные объемы растворов красителей V_K , разбавляют до 5 см^3 дистиллированной водой, перемешивают и через 10 мин фотометрируют на фотоколориметре или на спектрофотометре в кюветах с длиной оптического пути 10 мм относительно растворителя — дистиллированной воды при длине волны, соответствующей максимальному поглощению каждого красителя в пределах абсорбционности (A) 0,12-1,4. Измеряют значения абсорбционности A_0 растворов красителей до сорбции на образце. После фотометрирования содержимое кювет переливают обратно в пробирку и добавляют навески образца $m_1 \cong 0,010$ г. После установления адсорбционного равновесия в течение 2 ч измеряют значения величины абсорбционности A_1 . Параллельно проводится холостой опыт, для чего во вторую серию калиброванных пробирок емкостью 5 см^3 помещают навески образца $m_2 \cong m_1$, добавляют объем дистиллированной воды $V_{H_2O} = 5 \text{ см}^3 - V_K$ и выдерживают в течение 2 ч. Затем раствор декантируют в другую пробирку, добавляют определенный объем красителя V_K , доводят до 5 см^3 дистиллированной водой, выдерживают в течение 30 мин и измеряют значение абсорбционности A_2 .

При измерениях возможны следующие случаи:

1) если при сорбции индикатора на образце значение pH раствора не изменяется, тогда абсорбционность раствора индикатора до сорбции должна быть больше, чем после сорбции, т.е. $A_0 > A_1$;

2) если взаимодействие индикатора с поверхностью образца не происходит вообще, то все три значения абсорбционности равны между собой:

$$A_0 \equiv A_1 \equiv A_2;$$

3) если взаимодействие индикатора с поверхностью образца приводит к изменению значений pH среды, но сорбции не происходит, то абсорбционность раствора в «холостом» опыте равна абсорбционности раствора индикатора A_1

$$A_2 \equiv A_1;$$

4) в случае адсорбции индикатора на поверхности образца с изменением значения pH среды величина абсорбционности A_2 может быть как больше, так и меньше A_0 . Абсорбционность раствора индикатора после сорбции A_1 может быть больше абсорбционности раствора до сорбции A_0 в случае, если величина A_2 больше A_0 .

Изменение абсорбционности в результате адсорбции на поверхности образца ΔA находят по разности A_1 и A_2 :

$$\Delta A = |A_0 - A_1| \pm |A_0 - A_2|.$$

Количество индикатора с соответствующей K_a , адсорбированного на поверхности, эквивалентное количеству адсорбционных центров, кислотно-основные свойства которых не ниже этих свойств индикатора, рассчитывают по формуле:

$$g_{ind} = \frac{C_{ind} \times V_{ind}}{A_0} \times \left(\left| \frac{|A_0 - A_1|}{m_1} \pm \frac{|A_0 - A_2|}{m_2} \right| \right),$$

где g_{ind} — количество индикатора, адсорбированного на поверхности образца, моль/г;

C_{ind} — концентрация раствора индикатора, моль/мл;

V_{ind} — объём стандартного раствора индикатора, см³;

A_0, A_1, A_2 — абсорбционности растворов соответственно окислению;

m_1, m_2 — навески образца, г.

Знак «-» соответствует однонаправленному изменению A_1 и A_2 относительно A_0 , т.е. A_1 и A_2 меньше A_0 или A_1 и A_2 больше A_0 .

Знак «+» соответствует разнонаправленному изменению A_1 и A_2 относительно A_0 .

Кривые распределения центров адсорбции строят в координатах

$$g_{\text{ind}} = f(\text{pK}_a).$$

Поверхность объекта исследований анализируют по порядку распределения кислотно-основных центров с использованием набора индикаторов с $\text{pK}_a = -4,4 \div +17,12$ (см. таблица).

Если известны параметры посадочной площадки красителя при адсорбции на сорбенте, рассчитывается удельная поверхность образца:

$$S = \omega \times N \times E, \text{ м}^2 / \text{г},$$

где ω — посадочная площадка красителя, м^2 ;

N —число Авогадро, моль^{-1} ;

E — сорбционная емкость, моль/г .

Кислотно-основные индикаторы

| Индикатор | pK_a | Индикатор | pK_a |
|----------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| 2,4-Динитроанилин | -4,4 | 2,4,6-Трихлорфенол | +6,0 |
| 2,4-Дихлор-6-нитроанилин | -3,22 | Бромкрезоловый пурпурный | +6,4 |
| 2-Нитродифениламин | -2,1 | о-Нитрофенол | +6,9 |
| 4-Хлор-2-нитроанилин | -0,91 | п-Нитрофенол | +7,1 |
| о-Нитроанилин | -0,29 | Бромтимоловый синий | +7,3 |
| Пикриновая кислота | +0,71 | Феноловый красный | +8,0 |
| Кристаллический фиолетовый | +0,8 | м-Нитрофенол | +8,4 |
| м-Нитроанилин | +1,1 | м-Хлорфенол | +9,02 |
| Бриллиантовый зелёный | +1,3 | п-Хлорфенол | +9,38 |
| Фуксин(основание) | +2,1 | Пирокатехин | +9,45 |
| п-Нитроанилин | +2,5 | Фенол | +10,0 |
| о-Хлорнитроанилин | +2,64 | Нильский голубой А | +10,5 |
| м-Хлорнитроанилин | +3,34 | Тропеолин О | +11,8 |
| Метилловый оранжевый | +3,46 | Индигокармин | +12,9 |
| п-Хлорнитроанилин | +3,98 | Гликоль | +14,18 |
| Бромфеноловый синий | +4,1 | 2,4,6-Тринитро-м-ксилол | +16,50 |
| Метилловый красный | +5,0 | м-Динитробензол | +16,8 |
| Хризоидин | +5,5 | 2,4-Динитротолуол | +17,12 |

Контрольные вопросы

1. Чем определяются кислотно-основные свойства поверхностей твердых оксидов?
2. Дайте определение функции Гаммета.
3. Какую информацию можно получить с помощью индикаторного метода анализа поверхности твердого оксида?
4. Какую химическую природу могут иметь центры Бренстеда и центры Льюиса на поверхности ZnO, Al₂O₃, TiO₂, MgO, BeO, целлюлозы?
5. На поверхности какого вещества (см. вопрос 4) имеются наиболее кислотные центры?

Библиографический список

1. Комиссаренков А.А. и др. Сорбционные технологии / СПбГТУРП. — СПб. — 2015.
2. Нечипоренко А.П. Кислотно-основные свойства поверхности твердых веществ: метод. указ. — Л. : ЛТИ. им. Ленсовета. — 1989.
3. Нечипоренко А.П. Донорно-акцепторные свойства поверхности твердофазных систем. Индикаторный метод: учеб. пособие — СПб.: Лань, 2017. — 281 с.

4. Третий этап. Моделирование химических технологий на основе сорбционных процессов с применением внешних физических или химических факторов

Цель данного этапа – выяснить, существует ли влияние какого-либо внешнего физического или химического фактора в процессе коагуляции силикатов на адсорбцию кислотно-основных индикаторов получаемыми сорбентами.

Возможно также изучение влияния внешних физических факторов на процесс адсорбции.

В результате выполнения данного этапа студент получает графически выраженную зависимость влияния изучаемого фактора на процесс адсорбции. Также результатом может быть построение изотермы адсорбции в тестовых и модифицированных условиях. По результатам анализа полученных кривых студент делает вывод о характере влияния изучаемых факторов

на адсорбцию. Таким образом, завершается выполнение курсовой работы, итогом которой должны стать выводы.

4.1. Примерный план исследовательской работы «Применение магнитного поля в процессе синтеза силикагеля»

1. Пользуясь указаниями пункта № 2, проведите синтез образца силикатного сорбента.

2. Проведите аналогичный синтез образца силикатного сорбента, используя для его модификации магнитное поле. Коагуляцию в магнитном поле осуществляют под действием постоянного магнита. Магнитный поток в сосудах на магнитной мешалке типа ММ-5, измеренный в динамических условиях с помощью измерителя ИМП-05 с последующим пересчетом на статические условия опыта, не превышает $\Phi \leq 0,1$ Вб.

3. Проведите холостой опыт — осуществите синтез образцов следующим образом:

- в первом случае проведите синтез под действием внешнего магнита, но без введения хиральной органической матрицы;
- во втором случае проведите синтез без магнитного поля и без введения матрицы.

4. Синтезировав таким образом четыре образца и следуя инструкциям из пункта № 3, получите для каждого из них спектр распределения кислотно-основных центров адсорбции органических индикаторов и сравните их. Какие выводы можно сделать?

Библиографический список

1. Дмитриевич И.Н. и др. Физико-химические методы анализа. Ч.1. Электрохимические методы анализа: учебное пособие для студентов заочной формы обучения / СПбГТУРП. — СПб., 2014.

2. ГОСТ 16187-70-ГОСТ 16190-70. Сорбенты. Методы испытаний.

3. ГОСТ 12597-67 Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе.

4. Иванов А.Р., Прилепский Э.Б. Попытка получения сорбента, селективного по отношению к биологически активным компонентам эфирного масла *Eucalyptus Dives*.// Вестник СПбГУ, 2005. Сер.4. Вып. 3. — С.45 — 47.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Общие правила работы в лаборатории

1. До начала работы, используя учебное пособие (практикум), учебник и конспект лекций, подготовьтесь к ней.

2. В химической лаборатории работайте в халате. В лаборатории запрещается снимать и развешивать верхнюю одежду, громко разговаривать, принимать пищу, курить.

3. Звуковые сигналы мобильных телефонов во время занятий должны быть отключены.

4. Запрещается покидать помещение лаборатории без разрешения преподавателя.

5. Запрещается без разрешения преподавателя включать и выключать электричество на рабочих столах, водяные краны, приборы.

6. Рабочее место содержите в чистоте, не загромождайте его лишними предметами. На рабочем столе должно находиться только то, что нужно для выполнения текущей работы.

7. Храните портфели, сумки и другие вещи в специально отведенных местах.

8. Реактивы, предназначенные для общего пользования, находятся в специально отведенных для них местах (под тягой, на полках рабочих мест или на специальных столах), нельзя перемещать их оттуда. После взятия требуемого количества реактива немедленно возвращайте на место пробки или пипетки от них, чтобы не спутать пробки от разных реактивов. Если к бутылке с раствором не прилагается пипетка, используйте чистую пипетку, которую после этого промойте. Твердые реактивы берите из тары шпателем или фарфоровой ложкой.

9. Если реактив взят в избытке и не израсходован полностью, нельзя возвращать его обратно в тару (склянку или банку).

10. По окончании работы уберите свое рабочее место, выключите приборы, которые Вы использовали, закройте краны с водой. Сдайте свои рабочие места лаборанту.

11. Запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без разрешения преподавателя.

12. При создании нестандартной ситуации в лаборатории немедленно сообщите преподавателю и выйдите из лаборатории.

Техника безопасности и меры предосторожности

1. Все опыты, связанные с применением или образованием ядовитых веществ, а также вредных паров и газов, проводите только в вытяжном шкафу, дверцы которого должны быть опущены на треть.

2. В случае прекращения работы вентиляционных установок все опыты в вытяжных шкафах должны быть прекращены.

3. Запрещается проводить любые опыты с взрывчатыми и огнеопасными смесями.

4. Опыты с легковоспламеняющимися веществами проводите в малых количествах (не более 2 мл) и вдали от открытого огня.

5. При нагревании растворов и веществ в пробирке используйте держатель. Не обращайтесь отверстие пробирки в сторону работающих.

6. Не наклоняйтесь над сосудом, в котором происходит нагревание или кипячение жидкости, во избежание попадания брызг в лицо.

7. При необходимости определить запах паров (выделяющегося газа) легким движением ладони направьте струю газа от горла сосуда к себе и осторожно вдохните.

8. При разбавлении концентрированных кислот и щелочей небольшими порциями вливайте кислоту (или концентрированный раствор щелочи) в воду, непрерывно помешивая образующийся раствор.

9. Если склянка с легко воспламеняющейся жидкостью опрокинулась или

разбилась, немедленно выключите все находящиеся вблизи источники открытого огня, засыпьте разлитую жидкость песком, соберите его и перенесите в предназначенный для этого железный ящик.

10. При попадании концентрированного раствора кислоты на кожу промойте место ожога струей воды в течение нескольких минут. После этого можно либо промыть обожженное место 2–3%-м раствором соды, либо вымыть с мылом.

11. При ожоге концентрированными растворами щелочей промойте обожженное место струей воды до тех пор, пока кожа не будет казаться скользкой, после чего промойте 1%-м раствором уксусной кислоты и снова водой.

12. При термическом ожоге охладите пораженное место, для чего поместите его под струю холодной воды. После охлаждения смажьте мазью от ожогов.

13. При сильных ожогах после оказания первой помощи обратитесь к врачу.

14. При попадании раствора любого реактива в глаз немедленно промойте его большим количеством воды, после чего сразу же обратитесь к врачу.

15. При отравлении газообразными веществами (сероводородом, хлором, парами брома) выйдите (выведите пострадавшего) на свежий воздух, а затем обратитесь к врачу.

Требования пожарной безопасности во время работы в кабинете химии

1. Подготовить к работе необходимое оборудование и приборы, проверить их исправность.

2. Убедиться в наличии и исправности первичных средств пожаротушения, а также укомплектованности медицинской аптечки необходимыми медикаментами.

3. Кабинет химии запрещается использовать в качестве классной комнаты для занятий по другим предметам и для проведения сборов.

4. Пребывание учащихся в лаборантской и в помещении кабинета химии разрешается только в присутствии учителя (преподавателя) физики.

5. Студенты не допускаются к выполнению обязанностей лаборанта кабинета химии.

6. Лабораторные работы, лабораторный практикум учащимися проводятся

только в присутствии учителя (преподавателя) химии или лаборанта.

7. Запрещается пользоваться разбитой или треснутой стеклянной посудой, применять приборы и устройства, не соответствующие требованиям безопасности труда, а также самодельные приборы. Не применять оборудование, приборы, провода и кабели с открытыми токоведущими частями.

8. Не оставлять без присмотра работающие электронагревательные приборы; не пользоваться приборами с открытой спиралью.

9. Все электрические приборы должны иметь указатели напряжения, на которое они рассчитаны и полярность.

10. Категорически запрещается применять бензин в качестве топлива в спиртовках.

Правила работы с химическими реактивами

Сыпучие реактивы из банки (тары) отбирают шпателем или фарфоровой ложкой, растворы (жидкости) наливают из склянок либо отбирают прилагаемыми (вставленными в пробку) пипетками. Просыпанный (пролитый) реактив или реактив, по ошибке взятый в избытке, нельзя возвращать обратно в тару. Его следует утилизировать. Утилизация отходов (остатков) реактивов и нейтрализация полученных в результате экспериментов смесей производится следующим образом: водные растворы неопасных веществ (кислот и оснований малой концентрации) выливают в раковину. Отходы органических растворителей, солей серебра и ртути собирают в вытяжном шкафу в отдельные склянки с соответствующими надписями. Растворы, содержащие аммиак, сероводород, хлор и другие опасные летучие вещества, следует выливать в раковину под тягой. После этого сосуд ополаскивают водой и эту воду тоже выливают в раковину под тягой. Только после этого сосуд можно окончательно вымыть в обычной раковине.

Мытье посуды

Стеклянную посуду считают чистой, если вода не образует отдельных капель на стенках, а стекает равномерной пленкой. Удалять загрязнения со стенок посуды можно различными методами: механическими, химическими или комбинируя их.

К механическим способам можно отнести мытье посуды теплой водой с помощью щеток (ершей) или мытье паром. Физико-химические методы заключаются в удалении загрязнений с помощью органических растворителей (бензин, ацетон, спирты и др.), поверхностноактивных моющих средств или фосфата натрия. Химические методы — мытье посуды хромовой смесью, раствором перманганата калия, смесью соляной кислоты и пероксида водорода, концентрированным раствором щелочи или серной кислотой.

Библиографический список

1. <https://kopilkaurokov.ru/himiya/prochee/laboratornairabotapokhimiitiekhnikiabiezopasnostiosnovnyiepravilarabotyvkhimichieskoilaboratorii>
2. <https://40420s024.edusite.ru/p25aa1.html>

5.ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Институт технологии

Кафедра «Общей и неорганической химии»

КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине «Основы химии твёрдого тела в производстве полимеров»

На тему:

Адсорбция красителя бромтимолового синего (БТС)
на катионите КУ-2

Выполнил

студент I группы

Петров П.П.

Руководитель

Иванов И.И.

Санкт-Петербург

2020

Оглавление:

| | |
|---|----|
| Введение | 25 |
| Описание катионной смолы КУ-2 | 25 |
| Основные характеристики, физические и химические свойства катионной смолы КУ-2 | 26 |
| Цели применения катионной смолы КУ-2..... | 26 |
| Бромтимоловый синий, его строение и свойства..... | 27 |
| Изменения в рН бромтимолового синего | 28 |
| Области применения бромтимолового синего | 29 |
| Действие магнитного поля..... | 29 |
| Постановка задач | 30 |
| Практическая часть..... | 31 |
| Качественная сорбция красителей | 31 |
| Построение калибровочного графика | 33 |
| Определение адсорбционных эффектов | 35 |
| Воздействие магнитного поля..... | 31 |
| Воздействие магнитного поля при различных концентрациях раствора | 41 |
| Выводы..... | 44 |
| Библиографический список | 45 |

Введение

Химия твёрдого тела (химия твердого состояния) — раздел химии, изучающий разные аспекты твердофазных веществ, в частности, их синтез, структуру, свойства, применение. Её объектами исследования являются кристаллические и аморфные, неорганические и органические вещества.

Представления, развиваемые этой наукой, находят применение в микроэлектронике, синтезе новых материалов (керметов, сверхпроводников). Один из ярких примеров — самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Объектами исследования в химии твердого тела являются кристаллические и аморфные неорганические, органические соединения, гетерофазные системы и материалы, включая наноструктурирование.

Особенности строения твердых веществ проявляются, прежде всего, в наличии у них ближнего (аморфные вещества) и дальнего (кристаллы) порядков.

Адсорбцией называется сгущение газообразного или растворённого вещества на поверхности раздела фаз. Газ или растворённое вещество принято называть в этом случае адсорбтивом, а жидкость или твердое тело, адсорбировавшее их, — адсорбентом.

Различают физическую или ван-дер-ваальсову адсорбцию и химическую адсорбцию, или хемосорбцию. Физическая адсорбция всегда обратима, а хемосорбция, наоборот, обычно необратима.

Физическая адсорбция протекает самопроизвольно. Адсорбтив стремится занять всю поверхность адсорбента, но этому препятствует процесс, противоположный адсорбции — десорбция, вызванная стремлением к равномерному распределению вещества вследствие теплового движения.

Описание катионной смолы КУ-2

Катиониты КУ-2-8 — разновидность ионообменной смолы. Ионообменные смолы — высокомолекулярные вещества синтетического происхождения. Делятся на катионообменные, анионообменные и биполярные (амфотерные). В свою очередь, анионообменные смолы делятся на сильноосновные и сла-

боосновные, а катионнообменные на сильнокислотные и слабокислотные. В промышленной отрасли наиболее широкое применение нашли ионообменные смолы на основе сополимеров дивинилбензола и стирола. К таким смолам и относятся катиониты КУ-2-8. Катионит КУ-2-8 — это многофункциональная сильнокислотная смола.

Основные характеристики, физические и химические свойства катионной смолы КУ-2

Основной характеристикой катионитов является присутствие в составе кислотных групп, водород которых может обмениваться на ионы металлов, имеющих в растворе. Катионит КУ-2-8 — негорючий, неплавкий материал, нерастворимый и не ядовитый. В физическом виде катионит КУ-2-8 представляет собой зерна, сферической формы, способные к набуханию и нерастворимые в воде. Имеет цвет от жёлтого до коричневого. По основным характеристикам отличается стабильностью к изменению осмотического давления, высокой стойкостью против химического и физического воздействия, высокой степенью стойкости к истиранию гранул, к воздействию окислителей, щелочи, к термическому воздействию. Гранулы катионита КУ-2-8 не вымываются и не растворяются в растворах и воде. При взаимодействии с водой — набухают. Процесс умягчения и очистки воды осуществляется путем пропускания ее через фильтр с помещенным внутрь катионитом. При фильтрации происходит химическая реакция, в результате которой ионы жесткой воды заменяются на ионы натрия (при Na-катионировании). После этого катиониты в фильтре регенерируют, и через некоторое время процесс может быть повторен.

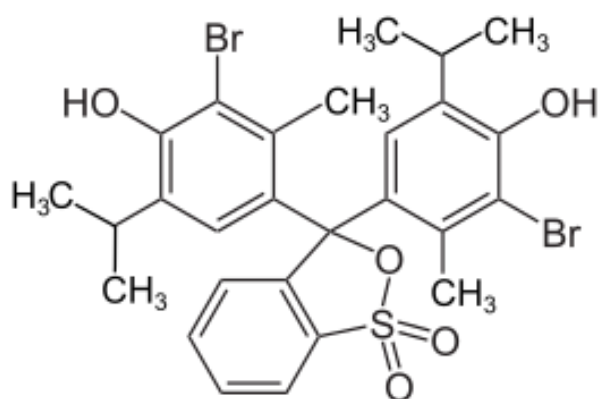
Цели применения катионной смолы КУ-2

Цели, для которых применяют катионит КУ-2-8:

- обессоливание и умягчение воды при водоподготовке;
- в качестве катализатора химических реакций;
- очистка воды от продуктов неорганического и органического синтеза;

- для обменных реакций;
- для извлечения из растворов электролита катионов металла;
- для очистки сточных вод и/или растворов;
- для разделения и извлечения редких элементов;
- очистки сточных вод в промышленных масштабах.

Бромтимоловый синий, его строение и свойства.



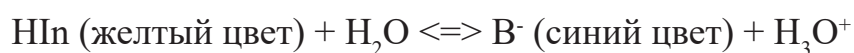
Бромтимоловый синий (3,3'-дибромтимолсульфонафталин) — это краситель, чувствительный к рН окружающей среды, который используется в качестве индикатора во многих лабораторных реакциях. Индикатор представляет собой органический краситель, цвет которого зависит от концентрации иона H_3O^+ или рН среды. Благодаря отображаемому цвету индикатор может указывать кислотность или основность раствора.

Бромтимоловый синий имеет шкалу активного показания между рН 6,0 и 7,6. При рН среды менее 6,5 он проявляет желтую окраску. Когда рН среды изменяется от 6,5 до 7,6, она приобретает зеленую окраску. При рН выше 7,6 его цвет синий.

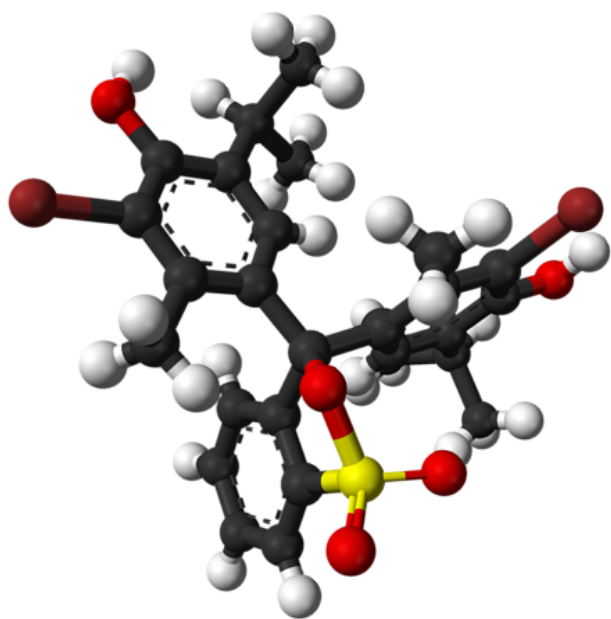
Бромтимоловый синий имеет шкалу активного показания между рН 6,0 и 7,6. При рН среды менее 6,5 он проявляет желтую окраску. Когда рН среды изменяется от 6,5 до 7,6, она приобретает зеленую окраску. При рН выше 7,6 его цвет синий.

Эта особенность делает этот индикатор очень полезным, поскольку его можно использовать в шкале рН, близкой к нейтральной; именно там, где происходят физиологические процессы.

Ионизация бромтимолового синего в водном растворе может быть схематизирована следующим образом:



Когда индикатор протонирован (HIn), он приобретает желтую окраску, если индикатор не протонирован (B⁻), окраска индикатора становится синей.



На изображении структура бромтимолового синего представлена моделью в виде столбика и сферы при рН ниже 7.1. Коричневые столбцы соответствуют атомам брома, всего два. Сульфонатная группа, $R-SO_3$, показана в нижней части, с красными и желтыми сферами. Эта группа может быть связана через атом кислорода с центральным углеродом, который соединяет три ароматических кольца.

Изменения в рН бромтимолового синего.

Хотя эта молекулярная структура радикально не изменяется при кислотном или щелочном рН, ее электронные состояния изменяются, что отражается в изменении цвета растворов.

Ниже рН 7 индикатор желтый и принимает структуру изображения; но если рН становится основным, группы $-OH$ депротонируются и может образовываться двойная связь $C = O$.

В результате этого сопряженная система молекулы (системы всех ее резонансных двойных связей) изменяется настолько, что электроны больше не поглощают одни и те же фотоны, и раствор превращается из желтого в голубоватый.

Если, с другой стороны, рН значительно ниже 7, цвет индикатора меняется с желтого на красный. Здесь изменение в сопряженной системе обусловлено протонированием групп от $-OH^-$ до $-OH_2^+$.

Как в кислых, так и в основных средах молекула теряет стабильность, поглощая фотоны с меньшей энергией, что позволяет электронным переходам отвечать за цвета, воспринимаемые органом зрения.

При приближении к рН до 7.1 небольшая часть молекул теряет протоны, выделяя синий цвет, который при смешивании с желтым дает зеленый цвет.

Области применения бромтимолового синего.

— Метаболические исследования

Бромтимоловый синий используется во многих процессах, в которых образуется углекислый газ (CO_2), с последующим образованием углекислоты (H_2CO_3), который подкисляет среду, о чем свидетельствует изменение цвета бромтимолового синего.

Если человек выполняет физические упражнения и подключен к трубке, которая, в свою очередь, связана с контейнером с раствором бромтимолового синего, будет наблюдаться следующее явление: вследствие увеличения физической активности и метаболизма, будет увеличение производства CO_2 .

CO_2 будет реагировать с водой, образуя углекислоту H_2CO_3 , которая позже диссоциирует с выделением иона H^+ , и подкисление среды. Это приводит к тому, что бромтимоловый синий приобретает желтую окраску, свидетельствуя о кислотности среды.

— Медицина

— Оптические датчики

— Системы обнаружения сгорания газа

— В производстве красок, игрушек, чистящих средств, моющих средств и текстиля

— Датчики свежести пищи

— Как идентификатор свежего и несвежего риса

— В обнаружении микроорганизмов

— Для анализа психоактивных препаратов

Действие магнитного поля

Проблема действия магнитных полей на вещество интересовала многих исследователей. Магнитное поле влияет не только на структуру среды, но и на химические реакции в таких системах. Прямое влияние магнитного поля на химические превращения очень сильное и немонотонное. Из классической физики магнитных взаимодействий следует, что молекулы диамагнетика, помещенные

в однородное постоянное магнитное поле, стремятся к ориентации в направлении перпендикулярном силовым линиям, если эти молекулы обладают диамагнитной анизотропией. В случае же неоднородного постоянного МП появляется ещё трансляционная составляющая, усиливающая ориентирующее действие поля. Все крупные молекулы органических соединений, особенно полимеры, как правило, обладают такой анизотропией. Это относится к полимерным макромолекулам. Поэтому влияние постоянного магнитного поля на физико-химические процессы с участием таких анизотропных молекул вполне обосновано и ожидаемо. И прежде всего это влияние может проявиться в процессах фазообразования. Существуют две возможности преобразования энергии магнитного поля в энергию орбитальных степеней свободы частиц, которые в конечном счете контролируют биохимические процессы. Прямое преобразование допускает классическую аналогию в виде силы Лоренца, действующей на частицу. Магнитное поле влияет на строение жидкости, на молекулярные процессы, а не только на протекание химических реакций.

Согласно исследованию [9], при воздействии магнитного поля адсорбция уменьшается, возможной причиной такого поведения явилось частичное разрушение структуры, что ведёт к уменьшению количества активных центров и, как следствие, снижению адсорбционной емкости. При воздействии магнитных импульсов происходит ориентация диполей функциональных групп таким образом, что их новое положение неблагоприятно влияет на адсорбцию и активность адсорбционных центров снижается.

Постановка задач

Целью данной курсовой работы является изучение сорбционных свойств катионной смолы КУ-2 неизвестного происхождения. Для этого необходимо провести следующие измерения и опыты:

1. Определение качественной сорбции различных красителей катионной смолой КУ-2;
2. Установление качественной сорбции красителя катионной смолой КУ-2;

3. Влияние магнитного поля на катионную смолу КУ-2 и последующая проверка её сорбционных свойств;
4. Осуществление расчётов;
5. По результатам опытов, а также на основе литературного обзора, сделать вывод о сорбционных свойствах катионной смолы КУ-2;
6. Предположить, где и как можно его использовать в качестве сорбента.

Практическая часть

Для выполнения курсовой работы использовались следующие приборы и реактивы: красители, конические колбы на 100 см³, бумажные фильтры «Синяя лента», сорбенты, магнитная мешалка, спектрофотометр типа КФК, стеклянные палочки, мерные цилиндры на 1000 см³, аналитические весы, воронки.

Качественная сорбция красителей

В мерных колбах на 250 см³ готовим растворы 11 различных красителей:

- органические
 - акридиновый жёлтый,
 - кристаллический фиолетовый,
 - ализарин,
 - малахитовый зелёный,
 - ализариновый красный,
 - метиловый оранжевый,
 - индигокармин,
 - бромтимоловый синий,
- неорганические
 - хром серноокислый,
 - кобальт хлористый,
 - кобальт серноокислый.

При помощи спектрофотометра (КФК-3 и КФК-2) определяем такую длину волны (λ_{\max}), при которой будет достигаться максимально возможная оптическая плотность для конкретного раствора красителя.

Таблица 1. Длины волн поглощения (λ_{\max}) красителей.

| № п/п | Вещество | λ_{\max} | Прибор |
|-------|----------------------------|------------------|--------|
| 1 | Малахитовый зелёный | 540 | КФК-2 |
| 2 | Кобальт хлористый | 490 | КФК-3 |
| 3 | Кристаллический фиолетовый | 540 | КФК-2 |
| 4 | Хром серноокислый | 590 | КФК-3 |
| 5 | Акридиновый жёлтый | 540 | КФК-2 |
| 6 | Ализарин | 540 | КФК-2 |
| 7 | Ализариновый красный | 400 | КФК-2 |
| 8 | Кобальт серноокислый | 540 | КФК-3 |
| 9 | Метиловый оранжевый | 440 | КФК-3 |
| 10 | Индигокармин | 590 | КФК-3 |
| 11 | Бромтимоловый синий | 440 | КФК-3 |

Для эксперимента взяты 11 мерных колб на 100 см³ и 11 приблизительно одинаковых навесок исследуемого вещества. Навески помещают в колбы и заливают их красителями, оставляют на 15 мин.

Также для учёта возможной сорбции красителя бумажным фильтром, фильтруем растворы красителей, и снова определяем оптическую плотность. По истечении 15 мин отфильтровываем растворы от сорбента (катионной смолы КУ-2-8), и замеряем оптическую плотность фильтрата.

По изменению оптической плотности растворов красителей до и после проведения сорбции делаем вывод о способности исследуемого вещества адсорбировать те или иные красители.

Таблица 2. Тестовая сорбция красителей (скрининг).

| Сорбент | Адсорбат | | | | | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------|--------------|---|--------------|-----------|-------------------|-----------------|-----|
| | Малах. зелёный | CoCl ₂ | Крист. фиол. | Cr ₂ (SO ₄) ₃ | Акрид. желт. | Али-зарин | CoSO ₄ | Инди-го-кар-мин | БТС |
| Катионит КУ 2-8 | + | + | - | + | - | + | + | + | + |
| ПП ПТР 25 | + | - | - | + | + | + | + | + | + |

| | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| РЕТ | + | - | + | + | + | + | + | + | + |
| ПВД 158 | + | + | + | - | + | + | + | + | + |
| Sabic | + | - | + | + | + | - | - | + | + |
| ПВХ | + | + | + | - | - | + | + | + | - |

По результатам, приведённым в табл. 2, можно понять, взаимодействие каких веществ приводит к сорбции.

Далее необходимо выбрать краситель и проводить дальнейшие исследования. В работе рассматривается взаимодействие катионной смолы КУ-2-8 с бромтимоловым синим.

Построение калибровочного графика

Для данного опыта берём навеску, равную 10 мг, бромтимолового синего и растворяем её дистиллированной водой в мерном цилиндре, измеряем оптическую плотность (D_1) при длине волны 440 нм. После чего разбавляем полученный раствор для получения различных концентраций следующим образом: $C_2=0,5C_1$; $C_3=0,5C_2$; $C_4=0,5C_3$. Далее определяем оптические плотности для этих концентраций, получая, тем самым, значения D_2 , D_3 , D_4 .

Начальная концентрация, в свою очередь, рассчитывается следующим образом:

$$C_1 = \frac{m(Br^-)}{V} \left[\frac{\text{МГ}}{\text{МЛ}} \right]$$

Таким образом, получаем таблицу данных, по которым строим калибровочный график $C=f(D)$.

Таблица 3. Результаты эксперимента:

| C | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-------|-------|-------|-------|
| | 2,56 | 1,28 | 0,64 | 0,32 |
| D | 0,594 | 0,310 | 0,154 | 0,140 |

Калибровочный график $C=f(D)$

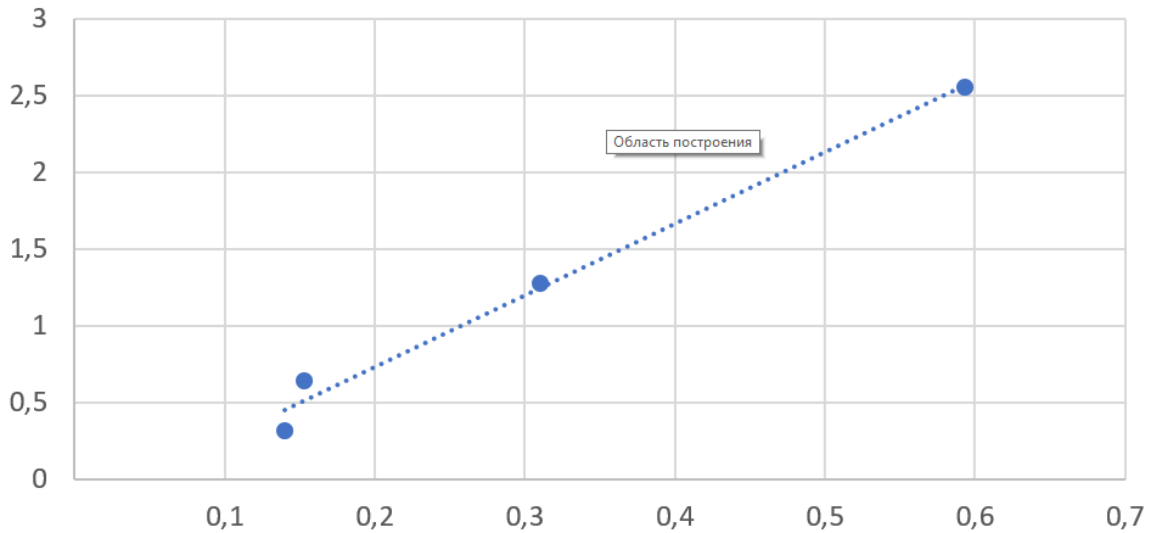


Рис. 1. Калибровочный график

Расчёт коэффициента корреляции для калибровочного фотометрического графика.

Коэффициент корреляции Пирсона характеризует существование линейной зависимости между двумя величинами:

$$r = \frac{\sum(x_i - x_{\text{ср}}) \sum(y_i - y_{\text{ср}})}{\sqrt{\sum(x_i - x_{\text{ср}})^2 \sum(y_i - y_{\text{ср}})^2}} .$$

Для исследуемого вещества (бромтимолового синего) коэффициент корреляции будет равен $r = 0,9943$.

Рассчитать концентрацию вещества через оптическую плотность можно следующим образом: $C = kD + b$,

где k и b — коэффициенты, которые необходимо узнать.

Для этого берём две условные точки (M и N) на калибровочном графике, составляем систему уравнений и решаем.

$$\begin{cases} C_M = kD_M + b, \\ C_N = kD_N + b. \end{cases}$$

Таблица 4. Коэффициенты корреляции

| Название в калибр. графиках | Коэффициент корреляции r | Уравнение для расчета концентрации |
|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ | 0,9691 | $C=0,507D-0,00481$ |
| Индиго-кармин | 0,999 | $C=0,075D+0,033$ |
| CoSO_4 | 0,979 | $C=3,5D-0,0313$ |
| Бромтимоловый синий | 0,9943 | $C=0,214D+1,2228$ |
| CuSO_4 | 0,981 | $C=350D+0,4$ |
| Акрид. жёлтый | 0,966 | $C=0,065D+0,00525$ |
| Малахит. зелёный | 0,919 | $C=0,01D-0,00025$ |

Определение адсорбционных эффектов

Отмеряем три навески сорбента (катионной смолы КУ-2-8) массой 1 г, добавляем навеску в 3 мерные колбы. Заливаем эти навески 100 мл раствора бромтимолового синего и оставляем на 15 минут. Затем отфильтровываем сорбент на бумажном фильтре и измеряем оптическую плотность фильтрата (D'). По данным этого этапа считаем разность оптических плотностей ($D^0 - D'$). По калибровочному графику находим соответствующие им концентрации — ΔC . Из концентраций находим массу, адсорбированную катионной смолой КУ-2-8, и считаем адсорбцию:

$$\frac{\Delta m_{\text{к-ля}}}{m_{\text{сорбента}}} = a_i$$

Изменение оптической плотности после сорбции:

$$\Delta D_1' = D^0 - D_1' = 0,590 - 0,530 = 0,040$$

$$\Delta D_2' = D^0 - D_2' = 0,590 - 0,579 = 0,011$$

$$\Delta D_3' = D^0 - D_3' = 0,590 - 0,588 = 0,002$$

Изменение концентрации раствора бромтимолового синего, найденное по калибровочному графику:

$$\Delta C_1' = C^0 - C_1' = 2,54 - 0,125 = 2,415 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_2' = C^0 - C_2' = 2,54 - 0,005 = 2,535 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_3' = C^0 - C_3' = 2,54 - 0,001 = 2,539 \text{ мг/дм}^3$$

Изменение массы бромтимолового синего:

$$\Delta m_1' = \Delta C_1' \cdot V = 241,5 \text{ мг}$$

$$\Delta m_2' = \Delta C_2' \cdot V = 253,5 \text{ мг}$$

$$\Delta m_3' = \Delta C_3' \cdot V = 253,9 \text{ мг}$$

Адсорбция вещества по истечению времени и после фильтрации:

$$a_{i1} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{241,5}{1,009} = 239,34 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i2} = \frac{\Delta m'_2}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{253,5}{1,008} = 251,49 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i3} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{253,9}{1,010} = 251,39 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

Занесём полученные данные в таблицу:

Таблица 5. Адсорбция веществ

| № п/п | Оптическая плотность исходных растворов, D^0 | Оптическая плотность растворов после сорбции, D' | Изменение оптической плотности $\Delta D'$ | Изменение концентрации раствора $\Delta C'$, мг/дм ³ | Изменение массы $\Delta m'$, мг | Адсорбция, a_i , мг/г |
|-------|--|--|--|--|----------------------------------|-------------------------|
| 1 | 0,590 | 0,530 | 0,040 | 2,415 | 241,5 | 239,34 |
| 2 | 0,590 | 0,579 | 0,011 | 2,535 | 253,5 | 251,49 |
| 3 | 0,590 | 0,588 | 0,002 | 2,539 | 253,9 | 251,39 |

Таблица 6. Статистическая обработка результатов определения адсорбционных эффектов

| № п/п | a_i , мг/г | $a_{\text{ср}}$, мг/г | $ a_{\text{ср}} - a_i $, мг/г | $ a_{\text{ср}} - a_i ^2$, мг/г |
|-------|--------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 239,34 | 247,41 | 8,07 | 65,12 |
| 2 | 251,49 | | 4,08 | 16,32 |
| 3 | 251,39 | | 3,98 | 15,84 |

Расчёт среднеквадратичного отклонения от среднего значения (дисперсии):

$$S^2 = \frac{\sum |a_{cp} - a_i|^2}{n-1} = \frac{97,28}{2} = 48,64,$$

где n — число измерений, $n=3$.

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{48,64} = 6,97.$$

Расчёт среднеквадратической погрешности результата измерений среднего арифметического:

$$S_c = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{6,97}{\sqrt{3}} = 4,02.$$

Абсолютная погрешность адсорбции будет составлять:

$$\Delta a = \frac{S}{\sqrt{n}} \cdot t = S_c \cdot t = 4,02 \cdot 4,303 = 17,30 \text{ мг/г}$$

где t — коэффициент Стьюдента, $t=4,303$.

Доверительный интервал для адсорбционного эффекта:

$$a = a_{cp} \pm \Delta a,$$

$$a = 247,41 \pm 17,30 \text{ мг/г}.$$

Относительная погрешность адсорбционного эффекта:

$$\omega = \frac{\Delta a}{a_{cp}} \cdot 100 \% = \frac{17,30}{247,41} \cdot 100 \% = 6,99 \%$$

Воздействие магнитного поля

Для дальнейшего исследования свойств проведем сорбцию под действием магнитного поля. Берём навеску бромтимолового синего, равную примерно 10 мг, растворяем дистиллированной воды до тех пор, пока оптическая плотность раствора, измеряемая при 440 нм на КФК-3, не будет попадать в интервал значений калибровочного графика. Далее отмеряем 6 одинаковых навесок сорбента (катионной смолы КУ-2-8) массой 1 г. Первые три навески заливаем 100 мл раствора бромтимолового синего, оставляем на 15 мин, затем фильтруем на бумажном фильтре и определяем оптическую плотность. Вторые три навески также заливаем 100 мл раствора адсорбата и оставляем на 15 мин, но при этом воздействуем магнитным полем, а именно: ставим растворы на магнитную мешалку

и включаем её, после истечения заданного времени, аналогично отфильтровываем и замеряем оптическую плотность фильтрата. По полученными результатами делаем соответствующие выводы.

Таблица 7. Результаты эксперимента

| № п/п | Оптическая плотность раствора бромтимолового синего D ⁰ | Оптическая плотность раствора после сорбции D' | Оптическая плотность раствора под воздействием магнитного поля D'' |
|-------|--|--|--|
| 1 | 0,537 | 0,517 | 0,487 |
| 2 | 0,537 | 0,507 | 0,502 |
| 3 | 0,537 | 0,532 | 0,524 |

Изменение оптической плотности после сорбции:

$$\Delta D_1' = D^0 - D_1' = 0,537 - 0,517 = 0,020$$

$$\Delta D_2' = D^0 - D_2' = 0,537 - 0,507 = 0,030$$

$$\Delta D_3' = D^0 - D_3' = 0,537 - 0,532 = 0,005$$

$$\Delta D_1'' = D^0 - D_1'' = 0,537 - 0,487 = 0,050$$

$$\Delta D_2'' = D^0 - D_2'' = 0,537 - 0,502 = 0,035$$

$$\Delta D_3'' = D^0 - D_3'' = 0,537 - 0,524 = 0,013$$

Изменение концентрации раствора бромтимолового синего, найденное по калибровочному графику:

$$\Delta C_1' = C^0 - C_1' = 2,32 - 0,0325 = 2,2875 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_2' = C^0 - C_2' = 2,32 - 0,065 = 2,255 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_3' = C^0 - C_3' = 2,32 - 0,002 = 2,318 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_1'' = C^0 - C_1'' = 2,32 - 0,169 = 2,151 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_2'' = C^0 - C_2'' = 2,32 - 0,091 = 2,229 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_3'' = C^0 - C_3'' = 2,32 - 0,006 = 2,314 \text{ мг/дм}^3$$

Изменение массы бромтимолового синего:

$$\Delta m_1' = \Delta C_1' \cdot V = 228,75 \text{ мг}$$

$$\Delta m_2' = \Delta C_2' \cdot V = 225,5 \text{ мг}$$

$$\Delta m_3' = \Delta C_3' \cdot V = 231,8 \text{ мг}$$

$$\Delta m_1'' = \Delta C_1'' \cdot V = 215,1 \text{ мг}$$

$$\Delta m_2'' = \Delta C_2'' \cdot V = 222,9 \text{ мг}$$

$$\Delta m_3'' = \Delta C_3'' \cdot V = 231,4 \text{ мг}$$

Адсорбция вещества по истечению времени и после фильтрации:

$$a_{i1'} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{228,75}{1,011} = 226,26 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i2'} = \frac{\Delta m'_2}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{225,5}{1,008} = 223,71 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i3'} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{231,8}{1,010} = 229,50 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i1''} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{215,1}{1,000} = 215,1 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i2''} = \frac{\Delta m'_2}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{222,9}{1,002} = 222,45 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i3''} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{231,4}{1,016} = 227,75 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

Таблица 8. Адсорбция веществ

| № п/п | Оптическая плотность исходных растворов, D^0 | Оптическая плотность растворов после сорбции, D' и D'' | Изменение оптической плотности, $\Delta D'$ | Изменение концентрации раствора $\Delta C'$, мг/дм ³ | Изменение массы, $\Delta m'$, мг | Адсорбция, a , мг/г |
|-------|--|--|---|--|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,537 | 0,517 | 0,020 | 2,2875 | 228,75 | 226,26 |
| 2 | 0,537 | 0,507 | 0,030 | 2,255 | 225,5 | 223,71 |
| 3 | 0,537 | 0,532 | 0,005 | 2,318 | 231,8 | 229,50 |
| 4 | 0,537 | 0,487 | 0,050 | 2,151 | 215,1 | 215,1 |
| 5 | 0,537 | 0,502 | 0,035 | 2,229 | 222,9 | 222,45 |
| 6 | 0,537 | 0,524 | 0,013 | 2,314 | 231,4 | 227,75 |

Таблица 9. Статистическая обработка результатов определения адсорбционных эффектов без воздействия магнитного поля

| № п/п | a_i , мг/г | a_{cp} , мг/г | $ a_{cp} - a_i $, мг/г | $ a_{cp} - a_i ^2$, мг/г |
|-------|--------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 226,26 | 226,49 | 0,23 | 0,0529 |
| 2 | 223,71 | | 2,78 | 7,73 |
| 3 | 229,50 | | 3,01 | 9,06 |

Расчёт среднеквадратичного отклонения от среднего значения (дисперсии):

$$S^2 = \frac{\sum |a_{cp} - a_i|^2}{n-1} = \frac{16,8429}{2} = 8,42,$$

где n — число измерений, n=3.

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{8,42} = 2,90.$$

Расчёт среднеквадратической погрешности результата измерений среднего арифметического:

$$S_c = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{2,90}{\sqrt{3}} = 1,67$$

Абсолютная погрешность адсорбции будет составлять:

$$\Delta a = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t = S_c \cdot t = 1,67 \cdot 4,303 = 7,186 \text{ мг/г},$$

где t — коэффициент Стьюдента, t=4,303.

Доверительный интервал для адсорбционного эффекта:

$$a = a_{cp} \pm \Delta a$$

$$a = 226,49 \pm 7,186 \text{ мг/г}$$

Относительная погрешность адсорбционного эффекта:

$$\omega = \frac{\Delta a}{a_{cp}} \cdot 100 \% = \frac{7,186}{226,49} \cdot 100 \% = 3,17 \%$$

Таблица 10. Статистическая обработка результатов определения адсорбционных эффектов с учётом воздействия магнитного поля

| № п/п | a_i , мг/г | a_{cp} , мг/г | $ a_{cp} - a_i $, мг/г | $ a_{cp} - a_i ^2$, мг/г |
|-------|--------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 215,1 | 221,76 | 6,66 | 44,35 |
| 2 | 222,45 | | 0,69 | 0,47 |
| 3 | 227,75 | | 5,99 | 35,88 |

Расчёт среднеквадратичного отклонения от среднего значения (дисперсии):

$$S^2 = \frac{\sum |a_{\text{cp}} - a_i|^2}{n-1} = \frac{80,7}{2} = 40,35,$$

где n — число измерений, n=3.

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{40,35} = 6,35.$$

Расчёт среднеквадратической погрешности результата измерений среднего арифметического:

$$S_c = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{6,25}{\sqrt{3}} = 3,66.$$

Абсолютная погрешность адсорбции будет составлять:

$$\Delta a = \frac{S}{\sqrt{n}} \cdot t = S_c \cdot t = 3,66 \cdot 4,303 = 15,75 \text{ мг/г},$$

где t — коэффициент Стьюдента, t=4,303.

Доверительный интервал для адсорбционного эффекта:

$$a = a_{\text{cp}} \pm \Delta a,$$

$$a = 221,76 \pm 15,75 \text{ мг/г}.$$

Относительная погрешность адсорбционного эффекта:

$$\omega = \frac{\Delta a}{a_{\text{cp}}} \cdot 100 \% = \frac{15,75}{221,76} \cdot 100 \% = 7,10 \%,$$

$$\omega = \frac{\Delta a}{a_{\text{cp}}} \cdot 100 \% = \frac{7,186}{226,49} \cdot 100 \% = 3,17 \%.$$

Воздействие магнитного поля при различных концентрациях раствора

Для данного опыта приготовим 10 растворов бромтимолового синего с различными концентрациями (по 2 колбы одной концентрации). Предварительно измерим оптическую плотность растворов при указанных концентрациях. Отмеряем пять навесок сорбента (катионной смолы КУ-2-8) массой 1 г, добавляем навеску в 5 мерных колб. Заливаем эти навески 100 мл раствора бромтимолового синего и оставляем на 15 мин. Затем отфильтровываем сорбент на бумажном фильтре и замеряем оптическую плотность фильтрата (D'). Параллельно с этим отмеряем ещё 5 навесок сорбента массой 1 г, добавляем в 5 мерных колб и заливаем 100 мл раствора бромтимолового синего при тех же концентрациях, что предыдущие 5 навесок. Оставляем на 15 минут на магнитной мешалке. После этого также отфильтровываем и определяем оптические плотности фильтратов (D'').

Таблица 11. Результаты эксперимента

| № п/п | Концентрация раствора бромтимолового синего, С, мг/дм ³ | Исходная оптическая плотность, D ⁰ | Оптическая плотность растворов после сорбции, D' | Оптическая плотность растворов после сорбции, D'' | Адсорбция без воздействия маг. поля, a ₁ , мг/г | Адсорбция с воздействием маг. поля, a ₁ , мг/г |
|-------|--|---|--|---|--|---|
| 1 | 0,624 | 0,16 | 0,185 | 0,189 | 64,06 | 66,83 |
| 2 | 1,534 | 0,36 | 0,166 | 0,183 | 69,99 | 81,37 |
| 3 | 1,976 | 0,459 | 0,452 | 0,437 | 195,73 | 191,96 |
| 4 | 2,067 | 0,479 | 0,469 | 0,440 | 203,15 | 190,99 |
| 5 | 2,366 | 0,548 | 0,541 | 0,528 | 235,59 | 231,54 |

Изменение оптической плотности после сорбции:

$$\Delta D_1' = D^0 - D_1' = 0,160 - 0,185 = -0,025$$

$$\Delta D_2' = D^0 - D_2' = 0,360 - 0,166 = 0,194$$

$$\Delta D_3' = D^0 - D_3' = 0,459 - 0,452 = 0,007$$

$$\Delta D_4' = D^0 - D_4' = 0,479 - 0,469 = 0,010$$

$$\Delta D_5' = D^0 - D_5' = 0,548 - 0,541 = 0,007$$

$$\Delta D_1'' = D^0 - D_1'' = 0,160 - 0,189 = -0,029$$

$$\Delta D_2'' = D^0 - D_2'' = 0,360 - 0,183 = 0,177$$

$$\Delta D_3'' = D^0 - D_3'' = 0,459 - 0,437 = 0,022$$

$$\Delta D_4'' = D^0 - D_4'' = 0,479 - 0,440 = 0,039$$

$$\Delta D_5'' = D^0 - D_5'' = 0,548 - 0,528 = 0,020$$

Изменение концентрации раствора бромтимолового синего, найденное по калибровочному графику:

$$\Delta C_1' = C^0 - C_1' = 0,597 - (-0,052) = 0,649 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_2' = C^0 - C_2' = 1,534 - 0,832 = 0,702 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_3' = C^0 - C_3' = 1,976 - 0,003 = 1,973 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_4' = C^0 - C_4' = 2,067 - 0,005 = 2,062 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_5' = C^0 - C_5' = 2,366 - 0,003 = 2,363 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_1'' = C^0 - C_1'' = 0,597 - (-0,057) = 0,681 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_2'' = C^0 - C_2'' = 1,534 - 0,717 = 0,817 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_3'' = C^0 - C_3'' = 1,976 - 0,041 = 1,935 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_4'' = C^0 - C_4'' = 2,067 - 0,117 = 1,95 \text{ мг/дм}^3$$

$$\Delta C_5'' = C^0 - C_5'' = 2,366 - 0,039 = 2,327 \text{ мг/дм}^3$$

Изменение массы бромтимолового синего:

$$\Delta m_1' = \Delta C_1' \cdot V = 64,9 \text{ мг}$$

$$\Delta m_2' = \Delta C_2' \cdot V = 70,2 \text{ мг}$$

$$\Delta m_3' = \Delta C_3' \cdot V = 197,3 \text{ мг}$$

$$\Delta m_4' = \Delta C_4' \cdot V = 206,2 \text{ мг}$$

$$\Delta m_5' = \Delta C_5' \cdot V = 236,3 \text{ мг}$$

$$\Delta m_1'' = \Delta C_1'' \cdot V = 68,1 \text{ мг}$$

$$\Delta m_2'' = \Delta C_2'' \cdot V = 81,7 \text{ мг}$$

$$\Delta m_3'' = \Delta C_3'' \cdot V = 193,5 \text{ мг}$$

$$\Delta m_4'' = \Delta C_4'' \cdot V = 195 \text{ мг}$$

$$\Delta m_5'' = \Delta C_5'' \cdot V = 232,7 \text{ мг}$$

Адсорбция вещества по истечении времени и после фильтрации:

$$a_{i1'} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{64,9}{1,013} = 64,06 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i2'} = \frac{\Delta m'_2}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{70,2}{1,003} = 69,99 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i3'} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{197,3}{1,008} = 195,73 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i4'} = \frac{\Delta m'_4}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{206,2}{1,015} = 203,15 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i5'} = \frac{\Delta m'_5}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{236,3}{1,003} = 235,59 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i1''} = \frac{\Delta m''_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{68,1}{1,019} = 66,83 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i2''} = \frac{\Delta m'_2}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{81,7}{1,004} = 81,37 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i3''} = \frac{\Delta m'_1}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{193,5}{1,008} = 191,96 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i4''} = \frac{\Delta m'_4}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{195}{1,021} = 190,99 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

$$a_{i5''} = \frac{\Delta m'_5}{m_{\text{сорбента}}} = \frac{232,7}{1,005} = 231,54 \frac{\text{мг}}{\text{г}}$$

По полученным данным построим изотермы адсорбции без влияния магнитного поля и при влиянии магнитного поля $a_i = f(C_i)$.

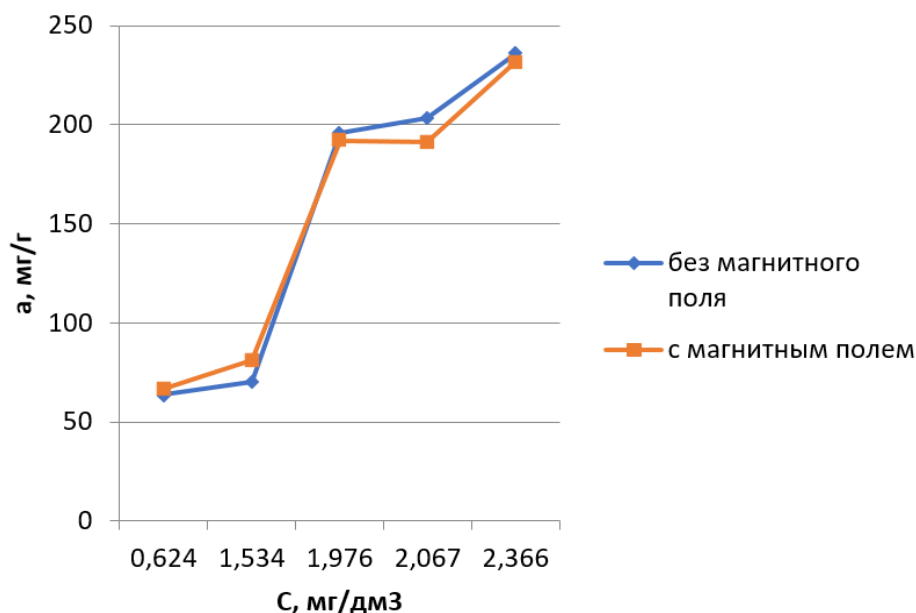


Рис. 2. Изотермы адсорбции БТС без влияния магнитного поля и при влиянии магнитного поля на катионите КУ-2

Выводы

1. В ходе опыта по установлению качественной адсорбции катионной смолы КУ-2 адсорбировала 7 из 9 красителей. Исключениями стали: акридиновый жёлтый и кристаллический фиолетовый. Возможно, молекулы данных красителей слишком большие для того, чтобы задержаться (зацепиться), на поверхности катионной смолы КУ-2.

По результатам опыта был выбран бромтимоловый синий в качестве сорбата для следующего эксперимента.

2. На одном из этапов работы определялось, будет ли зависеть сорбция на поверхности катионной смолы КУ-2, если на неё подействовать магнитным полем. Наблюдался положительный эффект, при незначительном воздействии магнитным полем сорбция уменьшилась.

3. Также при проведении финального опыта, при обработке экспериментальных данных было замечено, что при увеличении концентрации на катионной смоле наблюдается рост адсорбируемого красителя. Следовательно, на данном исследуемом веществе проходит полимолекулярная адсорбция. Это означает, что молекулы красителя на поверхности адсорбируются в два слоя, можно сделать вывод о значительной сорбционной ёмкости катионной смолы.

4. Поскольку адсорбция имеет полимолекулярный вид, предположим, что она обусловлена физическим взаимодействием между веществами, поэтому из-за разрушения структуры бромтимолового синего под действием магнитного поля адсорбция уменьшается.

5. Основываясь на результатах экспериментов, можно сделать вывод, что катионная смола КУ-2 может быть использована во всех традиционных ионообменных процессах: умягчение и обессоливание воды на тепловых и атомных электростанциях, котельных; очистка технологических растворов и сточных вод; разделение и выделение цветных металлов; в качестве катализатора.

Библиографический список

1. Берёзкин В.И. Введение в физическую адсорбцию и технологию углеродных адсорбентов. — СПб.: Виктория плюс, 2013. — 409 с.

2. Долгоносов А.М., Сенявин М.М., Волощик И.Н. Ионный обмен и ионная хроматография — М.: Наука, 1993. — 222 с.

3. Сусак И.П. Влияние магнитных полей на физико-химические свойства молекулярных жидкостей и биологических систем: автореф. дис. ... канд физ.-мат. наук. Томск, 2003. — 123 с.

4. Спектрофотометрическое определение рК показателя бромтимолового синего, интернет-ресурс fch.upol.cz, 2018.

5. Бельчинская Л.И. Ходосова Н.А., Козлов А.Т. Влияние температуры обработки и импульсного магнитного поля на адсорбцию клиноптилолитом паров формальдегида. — Воронеж, 2008. — 6 с.