

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

Методические указания к выполнению лабораторных работ

По дисциплине Б1.В.02.04 Коллоидная химия
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) Ю.П. Семушина, доцент, к.х.н.
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

**Апатиты
2019**

Пояснительная записка

1. **Методические указания составлены** на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

2. Цель и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины (модуля) «Коллоидная химия» является формирование у студентов основ мышления в области химии гетерогенных процессов химических технологий, основанных на этих процессах.

Задача дисциплины (модуля) «Коллоидная химия» - ознакомление с:

- основными представлениями о состоянии и свойствах поверхности раздела фаз;
- методами изучения адсорбционных процессов;
- способами применения этих представлений на практике, в т.ч. для получения современных функциональных материалов: катализаторов, сорбентов и наноматериалов.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) «Коллоидная химия».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

ПК-2-н. Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы

Результаты формирования компетенций и обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ПК-2-н. Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	Знать: - Знать основной круг проблем (задач), входящих в сферу коллоидной химии и основные способы (методы) их решения Уметь: - находить (выбирать) наиболее эффективные (методы) решения основных проблем (задач) коллоидной химии Владеть: - современными методами, методологией научно-исследовательской деятельности в области коллоидной химии; умением работать в локальной сети и в глобальной сети Интернет. Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части: ПК-2-н-1. Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в т.ч., с использованием патентных баз данных)

Таблица 2 – Лабораторные работы

№ п\п	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов	№ темы по табл. 4 РП
1	2	3	4

1	Определение рН точки нулевого заряда	6	2
2	Адсорбция уксусной кислоты на активированном угле	5	3
3	Кислотно-основные свойства ионообменных смол	5	3
4	Гели оксигидроксидов как сорбенты	6	3
	Итого:	22	

Рекомендации к выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1.

Тема: «*Определение рН точки нулевого заряда потенциометрическим титрованием по методу Паркса*».

Точкой нулевого заряда называется такое состояние поверхности твердого тела в контакте с раствором электролита, когда количество положительно и отрицательно заряженных центров на этой поверхности одинаково. Для оксигидроксидов такими центрами являются поверхностные группы H_3O^+ и OH^- . Для оксидной поверхности обычно можно подобрать раствор с таким значением рН, что в контакте с этим раствором, вне зависимости от концентрации электролита (соли) в растворе, число поверхностных групп H_3O^+ и OH^- будет одинаково. Такой раствор называется **нулевым**, и его рН обозначается как **рН точки нулевого заряда**, сокращенно рН_{ТНЗ}. Более точная методика определения рН_{ТНЗ}, которая и предлагается для выполнения, разработана Парксом. Она также основана на сравнении рН холостого раствора и рН суспензии оксигидроксида, но позволяет, кроме того, провести все измерения с одним и тем же образцом и раствором и рассчитать поверхностный заряд сорбента. Величина рН_{ТНЗ} является интенсивной характеристикой вещества – она не зависит от количества вещества, взятого для эксперимента.

В ходе работы, обучающиеся должны определить рН точки нулевого заряда предлагаемых образцов, рассчитать величину удельного поверхностного заряда. Для этого в реактор для титрования наливают 200 мл электролита 0,1 или 1,0 N NaCl и продувают этот раствор аргоном для удаления растворенного CO₂ до установления постоянного значения рН. Затем берут навеску образца ксерогеля оксигидроксида по 0,5 г и вносят ее в раствор электролита, измеряют и записывают рН суспензии. Для установления первоначального значения рН добавляют строго определенное и во всех случаях для данной серии образцов одинаковое количество раствора бескарбонатной щелочи (5-10 мл 0,1-0,25 N NaOH), записывают значение рН, и титруют суспензию кислотой (0,1 N), анион которой соответствует аниону электролита, с интервалом 0,2 мл/2 мин. Титрование

проводят, продувая суспензию аргоном. Каждому эксперименту по титрованию образца геля соответствует «холостой» опыт, т.е. титрование раствора электролита в тех же условиях.

По данным опытов строят два графика зависимости $pH_{\text{сусп}}$ vs $V_{\text{титранта}}$ и $pH_{\text{эл}}$ vs $V_{\text{титранта}}$. Величину $pH_{\text{ТНЗ}}$ находили графически, как точку пересечения этих двух зависимостей.

Далее рассчитывают величину удельного поверхностного заряда. В области отрицательного заряда поверхности величину удельного поверхностного заряда вычисляли по формуле:

$$q = \frac{([OH^-]_{\text{холл}} - [OH^-]_{\text{сусп}})VF}{m},$$

где q – заряд поверхности, Кл/г; $[OH^-]_{\text{сусп}}$ и $[OH^-]_{\text{холл}}$ – концентрация гидроксильных групп при титровании суспензии и электролита, соответственно, г-ион/л; V – объем суспензии, л; F – постоянная Фарадея (96490), Кл/г-экв; m – масса в пересчете на сухой вес, г.

В области положительного заряда удельный заряд поверхности находили по формуле:

$$q = \frac{([H^+]_{\text{холл}} - [H^+]_{\text{сусп}})VF}{m}, \quad (15)$$

где $[H^+]_{\text{сусп}}$ и $[H^+]_{\text{холл}}$ – концентрация протонов при титровании суспензии и электролита, соответственно, г-ион/л.

По результатам расчетов строят график зависимости величины заряда от $pH_{\text{сусп}}$.

Лабораторная работа № 2.

Тема: «Изучение адсорбции уксусной кислоты из водных растворов на активированном угле методом титрования»

В соответствии с общим определением адсорбции, здесь рассматривается перераспределение **недиссоциированных** молекул уксусной кислоты между водным раствором и поверхностью активированного угля, который представляет собой аморфный пористый элементарный углерод с отчасти окисленной поверхностью. Последнее обстоятельство ослабляет его гидрофобность и обеспечивает его смачивание водой. Однако известно, что адсорбция уксусной кислоты в этих условиях происходит в виде недиссоциированных молекул. В работе получают зависимость количества адсорбированного вещества (адсорбция, A) от равновесной концентрации адсорбата в растворе C_p . Полученная при комнатной температуре зависимость может приближенно считаться изотермой. Известно, что этот процесс представляет собой явление относительно слабой физической сорбции, и его изотерма описывается уравнением Фрейндлиха:

$$A = K c^{1/n}$$

или в логарифмической форме:

$$\ln A = \ln K + 1/n \ln c$$

где A – адсорбция, моль/г, K и n – постоянные, $c = C_p$. $A = K$ при $C_p = 1$ моль/л.

Для определения постоянных уравнения Фрейндлиха строят графическую зависимость $\ln A$ от $\ln C_p$; зависимость прямолинейна; отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен $\ln K$, а тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс равен n .

Величину адсорбции определяют по разности исходной и равновесной концентраций адсорбата и вычисляют по формуле:

$$A = \frac{(C_{исх} - C_{кон})V}{m}$$

где V – объем суспензии, m – масса угля.

Цель работы. Количественное изучение адсорбции уксусной кислоты на активированном угле расчет констант в уравнении Фрейндлиха.

Приборы и реактивы. 1. Технические весы. 2. Фарфоровая ступка. 3. Конические колбы на 100 мл – 10 шт. 4. Мерные колбы на 100 мл – 5 шт. 5. Бюретки для титрования на 10 мл. 6. Градуированные пипетки на 2, 5, 10 и 25 мл. 7. Водный раствор CH_3COOH (0,5 моль/л). 8. Водный титрованный раствор NaOH (0,1 моль/л). 9. Фенолфталеин. 10. Фильтровальная бумага. 11. Активированный уголь.

Порядок выполнения работы. Навеску около 6 г активированного угля измельчают в фарфоровой ступке так, чтобы не было зерен крупнее 1 мм, и не образовывалась излишне тонкая пыль. На технических весах берут 5 навесок угля массой 1 г каждая. Каждую навеску всыпают в отдельную коническую колбу на 100 мл. В 5 мерных колб на 100 мл вливают указанные в таблице количества уксусной кислоты $c = 0,5$ моль/л, доводят объем колб до метки дистиллированной водой и перемешивают. Затем из каждого приготовленного раствора отбирают цилиндром по 50 мл и переносят в конические колбы с навеской угля и оставляют на 30 минут, взбалтывая содержимое колб через каждые 5 минут.

Пока идет процесс сорбции, уточняют концентрацию исходных растворов уксусной кислоты. Для этого в колбу для титрования отбирают аликвотную часть исходного раствора уксусной кислоты (1-2 мл) прибавляют дистиллированной воды и титруют раствором NaOH $c = 0,1$ моль/л в присутствии фенолфталеина до слабо-розового окрашивания.

По истечении 30 минут адсорбции суспензии фильтруют. Определяют концентрацию уксусной кислоты в фильтрах после сорбции титрованием щелочью с известной концентрацией с использованием индикатора – фенолфталеина. На титрование берут объемы фильтра, указанные в таблице 1.

Обработка экспериментальных данных.

1. Рассчитывают точные концентрации исходных растворов уксусной кислоты и концентрации растворов уксусной кислоты после адсорбции:

$$C = \frac{C_{щ} V_{щ}}{V_{a.ч.}},$$

где $C_{щ}$ – концентрация щелочи; $V_{щ}$ – объем щелочи, затраченный на титрование, мл; $V_{a.ч.}$ – объем раствора уксусной кислоты, взятый на титрование, мл.

Таблица 1

Исходные данные и результаты эксперимента

Номер колбы	1	2	3	4	5
Навеска угля, г					
Объем исходного раствора CH_3COOH $c = 0,5$ моль/л, мл	4	10	20	50	100
Концентрация приготовленных растворов CH_3COOH до адсорбции C_0 , моль/л					
Объем пробы раствора на титрование после адсорбции $V_{a.ч.}$, мл					
Расход раствора щелочи на титрование после адсорбции $V_{щ}$, мл					
Концентрация CH_3COOH после адсорбции, C , моль/л					
$\lg C$					
Адсорбция A , моль/г					
$\lg A$					

Расход щелочи, затраченный на титрование, и концентрацию растворов уксусной кислоты до и после адсорбции заносят в таблицу 1.

2. Используя полученные данные о концентрации кислоты до и после адсорбции, для всех пяти проб рассчитывают значение адсорбции по формуле и значения $\ln A$ и $\ln C$. Результаты расчета также заносят в таблицу 1.

$$A = \frac{C_0 - C}{m} V,$$

где C_0 – исходная концентрация уксусной кислоты; C – равновесная концентрация уксусной кислоты; m – масса активированного угля; V – объем исходного раствора уксусной кислоты.

3. По полученным данным строят изотермы адсорбции в координатах « $A-C$ » и « $\ln A - \ln C$ ».

4. Пользуясь изотермой, построенной в координатах « $\ln A - \ln C$ », определяют графически константы уравнения Фрейндлиха.

Форма отчета. Отчет должен содержать название и описание цели работы, краткие теоретические положения, описание хода работы, таблицу экспериментальных данных, графики изотермы адсорбции, результаты расчетов, вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа № 3.

Тема: «Кислотно-основные свойства ионно-обменных смол».

Цель работы. Определить функциональную зависимость обменной емкости катионита, находящегося в Н-форме, от значения рН раствора.

Приборы и реактивы. 1. Конические колбы с притертыми пробками

емкостью 100 мл – 8 шт; 2. Бюретка для титрования, емкостью 25 мл; 3. рН-метр; 4. Титрованный раствор NaOH (0,1 N); 5. Раствор хлорида натрия, 0,2 N; 6. Катионит КУ-2; 7. Дистиллированная вода.

Порядок выполнения работы. В каждую из 8 конических колб помещают по 5 мл взвеси катионита, что соответствует навеске 2 г воздушно-сухой смолы, в расчете на которую производятся определения всех характеристик. В каждую колбу с навеской (предварительно пронумерованную) наливают по 50 мл 0,2 N. раствора NaCl и различные количества 1,0 N раствора NaOH (0; 1; 2; 3; 4 мл и т.д.). Затем добавляют воды, так чтобы общий объем жидкости в каждой склянке составил 100 мл. Благодаря этому исходная концентрация NaCl во всех склянках будет одинаковой и равной 0,1 N.

Все сосуды плотно закрывают пробками и оставляют стоять в течение 30 минут, периодически их встряхивая. Затем для каждого раствора на рН-метре измеряют рН раствора над смолой (не отфильтровывая и с мешалкой). Полученные результаты заносят в таблицу 8.

Для получения кривой в отсутствие катионита берут в восемь склянок по 50 мл 0,2 N раствора NaCl, добавляют раствор щелочи и доводят объем каждого раствора до 100 мл, для получения сравнительной кривой. Затем для каждого раствора определяют рН на рН-метре. Результаты также заносят в таблицу.

Обработка экспериментальных данных.

1. По данным опытов строят два графика, откладывая по оси абсцисс число взятых миллилитров раствора NaOH, а по оси ординат значения рН, полученные после измерения. Обе кривые наносят на один график, по которому и определяют разность абсцисс точек, соответствующих одинаковым значениям рН. По разностям ($V_1 - V_0$), пользуясь приведенной в таблице формуле, вычисляют значения А для различных величин рН и полученные результаты заносят в таблицу 1.

2. По данным этой таблицы строят третий график в координатах А от рН. По форме кривой определяют, к какому типу ионитов относится изучаемый катионит.

Форма отчета. Отчет должен содержать название и описание цели работы, краткие теоретические положения, описание хода работы, таблицу экспериментальных данных, результаты расчетов, вывод по проделанной работе.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Номер колбы	1	2	3	4	5
Объем щелочи (V_1), мл					
рН раствора с катионитом					
Объем щелочи в «холостом» эксперименте (V_0), мл					
рН раствора без катионита					
$V_1 - V_0$					
$A = C(V_1 - V_0)/m$					

Лабораторная работа № 4.

Тема: «Гели оксигидроксидов как сорбенты».

Гелеобразные оксигидроксиды металлов – это соединения типа $MO_x(OH)_y$, обладающие основными или амфотерными свойствами. Гели оксигидроксидов получают либо щелочным гидролизом растворов неорганических солей металлов, либо гидролизом алкоголятов металлов. Свежеосажденные гели представляют собой беспорядочную смесь кластеров, состоящих из металл-кислородных цепей разной длины с боковыми гидроксо- и оксо-группами. Смеси имеют губчатую текстуру и содержат обширные полости, заполненные маточным раствором, а после отмывки – водой. Гели обладают высокоразвитой поверхностью и большим запасом свободной энергии. По мере кристаллизации гелей сокращаются как запас свободной энергии, так и удельная поверхность.

Поскольку адсорбция представляет собой способ снижения запаса свободной энергии, гели оксигидроксидов обладают высокой сорбционной активностью, гораздо более высокой, чем соответствующие кристаллические соединения. Гели могут использоваться как сорбенты, особенно для извлечения из растворов ионов. Они пригодны для извлечения, как катионов, так и анионов, поскольку в зависимости от рН среды их поверхность легко перезаряжается и приобретает положительный заряд, если рН среды меньше их рН точки нулевого заряда ($pH_{ТНЗ}$), и отрицательный – если рН среды больше $pH_{ТНЗ}$.

Установлено, что сродство гелей оксигидроксидов к высокозарядным ионам значительно выше, чем к однозарядным. Это позволяет использовать их для разделения ионов с различными зарядами, или для очистки растворов электролитов от мешающих высокозарядных ионов. Так, можно разделять галогенид- и фосфат-ионы, очищать от карбонат-, арсенат-, хромат- и фосфат-ионов растворы хлоридов, нитратов, перхлоратов и щелочи и т.д. Если речь идет о разделении ионов или очистке растворов, то гель оксигидроксида может быть получен, исходя из соли преобладающего или однозарядного аниона, и в этом случае он может быть использован сразу же после осаждения без отмывки. Например, если мы хотим очистить раствор поваренной соли от фосфат- или карбонат-ионов, то гидрогель оксигидроксида железа следует осаждать из раствора $FeCl_3$ щелочью при рН 4-5. В этом случае феррогель обладает максимальной сорбционной способностью по отношению к фосфат-ионам, а хлорид-ионы маточного раствора не загрязняют очищаемый раствор. Можно очищать также растворы катионов металлов от анионов, или анионов – от катионов, поскольку сорбция катионов и анионов происходит в разных областях рН.

Гели оксигидроксидов удобны для применения в качестве сорбентов, поскольку просты для получения и не требуют сложного технологического оборудования. Они применяются в статическом режиме. Для проведения процесса необходим лишь реактор с мешалкой и фильтровальное оборудование.

Адсорбция для оксигидроксидов выражается в общепринятых единицах, но для понимания сущности адсорбции на этих метастабильных сорбентах и ее зависимости от реакции среды полезно также выразить адсорбцию в моль-центрах/г. Основой такого представления является предположение, что на одну единицу заряда иона при его сорбции используется 1 сорбционный центр. В зависимости от рН среды сорбируемые ионы существуют в разных формах, в результате чего их заряд изменяется. Так, катионы никеля подвергаются гидролизу: $\text{Ni}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NiOH}^+ + \text{H}^+$; $K_r = [\text{NiOH}^+][\text{H}^+]/[\text{Ni}^{2+}] = K_w/K_{d2} = 10^{-14}/10^{-9} = 10^{-5}$. $[\text{NiOH}^+]/[\text{Ni}^{2+}] = K_r/[\text{H}^+]$. Таким образом, зная рН среды, можно вычислить соотношение заряженных форм данного иона. Например, при рН=9 $[\text{NiOH}^+]/[\text{Ni}^{2+}] = 10^{-5}/10^{-9} = 10^4$, т.е. в растворе доминирует форма NiOH^+ , которая занимает 1 сорбционный центр. При рН=5 $[\text{NiOH}^+]/[\text{Ni}^{2+}] = 1$, т.е. в растворе присутствует равное количество NiOH^+ и Ni^{2+} , т.е. 1 моль ионов никеля будет занимать 1.5 моль-центра СЦ и т.д.

Проделать соответствующие расчеты для фосфат-ионов.

Цель работы. Ознакомление с сорбционными свойствами гидрогелей оксигидроксидов металлов на примере очистки раствора поваренной соли от фосфат-анионов и от катионов никеля.

Приборы и реактивы. 1. рН-метр; 2. Спектрофотометр; 3. Магнитная мешалка и мешальники; 4. Воронки химические; 5. Пипетки емкостью 2 мл, 5 мл и 10 мл; 6. Мерные колбы емкостью 25 мл, 50 мл и 100 мл; 7. Стаканы емкостью 100 мл; 8. Фильтровальная бумага; 9. Раствор нитрата алюминия; 10. Раствор гидрофосфата натрия; 11. Раствор хлорида натрия; 12. Раствор нитрата никеля; 13. Раствор NaOH, 10 %-ный; 14. Раствор диметилглиоксима, 1 %-ный; 15. Раствор сегнетовой соли, 20 %-ный; 16. Раствор персульфата аммония, 5 %-ный; 17. Раствор метаванадата аммония; 18. Раствор молибдата аммония; 19. Раствор азотной кислоты 6 N.

Порядок выполнения работы. В 5 мерных колб емкостью 100 мл преподаватель помещает заданное количество раствора гидрофосфата натрия или хлорида никеля, затем объем доводят до метки 1 М раствором поваренной соли. Следующим этапом работы является получение гидрогеля. Методом щелочного гидролиза с помощью раствора NaOH получают алюмогель с заданным рН осаждения, с массой в расчете на 1 г. Полученные алюмогели разбавляют в мерных колбах на 100 мл и вносят в растворы поваренной соли. Замеряют рН суспензии. Суспензии выдерживают при комнатной температуре при периодическом перемешивании в течение 30 мин, затем смеси разделяют фильтрованием, в фильтрате определяют остаточные содержания фосфат-ионов или катионов никеля спектрофотометрическим методом.

Методика спектрофотометрического определения фосфат-ионов в растворе. Метод основан на том, что в присутствии ванадия (V) фосфорная кислота образует с молибдат-ионами желтое комплексное соединение. Растворы для измерений готовят в колбах на 25 мл. К аликвоте нейтрального анализируемого раствора прибавляли по 2,5 мл раствора 6 N HNO_3 , раствора

молибдата аммония и раствора ванадата аммония. Затем разбавляли раствор до 25 мл, выдерживали в течение 20 минут и измеряли оптическую плотность при $\lambda = 460$ нм. «Холостой» раствор готовят следующим образом, в колбу емкостью 25 мл добавляют все реактивы по 2,5 мл и доводят водой до метки. Концентрации фосфат-ионов определяют с помощью калибровочного графика. Уравнение калибровочного графика: $y = 0,8132x + 0,005$.

Методика спектрофотометрического определения никеля в растворе. В присутствии окислителя (персульфат-ионов) в щелочной среде никель образует с диметилглиоксимом окрашенные в винно-красный цвет соединения, в которых никель находится в его высших степенях окисления. В колбу емкостью 25 мл с пробой анализируемого раствора добавляют по 2,5 мл 20 % раствора сегнетовой соли, 5 % раствора гидроокиси натрия, 5 % раствора персульфата аммония и затем 1 % раствора диметилглиоксима. Разбавляем раствор до 25 мл, выдерживаем 10 минут, и измеряем оптическую плотность при $\lambda = 540$ нм. «Холостой» раствор готовят следующим образом, в колбу емкостью 25 мл добавляют все реактивы, кроме диметилглиоксима по 2,5 мл и доводят водой до метки. Концентрацию никеля определяют с помощью калибровочного графика. Уравнение калибровочного графика: $y = 0,0054x + 0,0014$.

Обработка экспериментальных данных.

1. Используя полученные данные о концентрации фосфат-ионов и катионов никеля до и после адсорбции, для всех пяти проб рассчитывают степень извлечения и величину адсорбции. Результаты расчета заносят в таблицу.

Степень извлечения (%) рассчитывают по формуле:

$$C_u = [1 - \frac{C_{кон}}{C_{исх}}] * 100,$$

величина адсорбции (ммоль/г):

$$A = \frac{(C_{исх} - C_{кон}) * V}{m},$$

2. Используя величины рН суспензии и рассчитанные величины адсорбции в ммоль/г, рассчитывают величины адсорбции в ммоль-центр/г (пример такого расчета см. в теоретической части).

3. Строят графики зависимости степени извлечения от рНос гидрогеля и изотермы адсорбции.

Форма отчета. Отчет должен содержать название и описание цели работы, краткие теоретические положения, описание хода работы, таблицу экспериментальных данных, графики изотермы адсорбции и зависимости степени извлечения от рНос гидрогеля, результаты расчетов, вывод по проделанной работе.

Таблица 1

Исходные данные и результаты эксперимента

Номер колбы	1	2	3	4	5
рНос алюмогеля					
рНсусп					

Сисх раствора фосфата натрия (соли никеля), ммоль/л (мг/л)					
Скон раствора фосфата натрия (соли никеля), ммоль/л (мг/л)					
Процент извлечения (С _и), %					
Адсорбция фосфат-ионов (катионов никеля) А, ммоль/г					
Адсорбция фосфат-ионов (катионов никеля) А, ммоль-центр/г					

Список рекомендуемой литературы

Основная:

1. Белопухов С.Л., Старых С.Э. Физическая и коллоидная химия. Основные термины и определения: Учебное пособие. М.: Проспект. 2016. - 256 с.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785392200870.html?SSr=010134171b106b0b2512518>
2. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учебник. СПб.: Лань. 2015. - 672 с.
<https://e.lanbook.com/book/65045>
3. Щукин Е.Д., Перцов Е.А., Амелина А.В. Коллоидная химия: Учебник для академического бакалавриата. Люберцы: Юрайт. 2016. - 444 с.

Дополнительная:

1. М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов Коллоидная химия. Лань. 2010. - 326 с.
2. Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина Коллоидная химия. М.: Высшая школа. 2007. – 444 с.
3. С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина Практикум по коллоидной химии. Мурманск. МГТУ. 2010.