

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение адсорбции из растворов на твердом адсорбенте

Цель работы: количественное изучение адсорбции на активированном угле.

Оборудование и реактивы: 0,5 М CH_3COOH ; 0,1 М KOH ; фенолфталеин; активированный уголь; бюретки для титрования на 50 мл; градуированные пипетки на 2, 5, 10, 25 мл; конические колбы на 100 мл – 10 шт., мерные колбы на 50 мл – 5 шт., технические весы, фарфоровая ступка; фильтровальная бумага.



Теоретическое введение

На любой границе раздела фаз существует так называемый «поверхностный слой» – переходная область от одной объемной фазы к другой. Поверхностный слой имеет очень малую толщину (всего несколько молекул), но в нем сосредоточен весь избыток поверхностной энергии и массы вещества.

Адсорбция – процесс самопроизвольного перераспределения компонентов системы между поверхностным слоем и объемной фазой, т.е. поглощение одного вещества поверхностью другого.

Адсорбент – вещество, на поверхности которого идет адсорбция.

Адсорбат – вещество, адсорбированное поверхностью адсорбента.

Адсорбтив – вещество, находящееся в объемной фазе, способное к адсорбции

С термодинамической точки зрения адсорбция - самопроизвольный процесс выравнивания химических потенциалов компонента в объеме системы и поверхностном слое. Этот процесс происходит вследствие стремления к минимуму поверхностной энергии или энергии Гиббса системы.

К числу наиболее распространенных пористых адсорбентов относят активированные угли, получаемые из каменного угля, дерева, ореховых косточек и т.д. адсорбирующее действие активированного угля обусловлено его большой удельной поверхностью, что позволяет использовать этот адсорбент для различных целей: извлечение из растворов посторонних веществ, поглощение газов, обесцвечивание растворов и т.д.

Изучение адсорбции уксусной кислоты на активированном угле основано на определении концентрации раствора до контакта с адсорбентом c_0 и после наступления адсорбционного равновесия c . Количество адсорбированной кислоты рассчитывается по формуле:

$$v = V(c_0 - c) \quad (1)$$

где V – объем раствора, из которого идет адсорбция, дм^3 .

Тогда удельная адсорбция:

$$a = \frac{v}{m} = \frac{V(c_0 - c)}{m}, \quad (2)$$

где a – количество вещества, адсорбированного одним граммом адсорбента; m – масса адсорбента, г.

В области средних концентраций растворенного вещества его адсорбция хорошо описывается уравнением Фрейндлиха:

$$a = \beta c^{1/n} \quad (3)$$

где β и $1/n$ – постоянные величины, значения которых находят из экспериментальных данных.

Чтобы определить постоянные величины уравнения Фрейндлиха, его приводят к линейному виду логарифмированием:

$$\lg a = \lg \beta + \frac{1}{n} \lg c \quad (4)$$

Определив адсорбцию из серии растворов различной концентрации, можно построить график изотермы адсорбции в координатах « $a-c$ ». Изотерма адсорбции в виде прямой, построенной в координатах « $\lg a - \lg c$ », позволяет определить постоянные уравнения Фрейндлиха. Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс равен угловому коэффициенту линейной функции, в нашем случае $1/n$. Отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, есть свободный член линейной функции и равен $\lg \beta$.

Уравнение Фрейндлиха

Уравнение получено эмпирически (экспериментально);

Применимо только для твердых поверхностей;

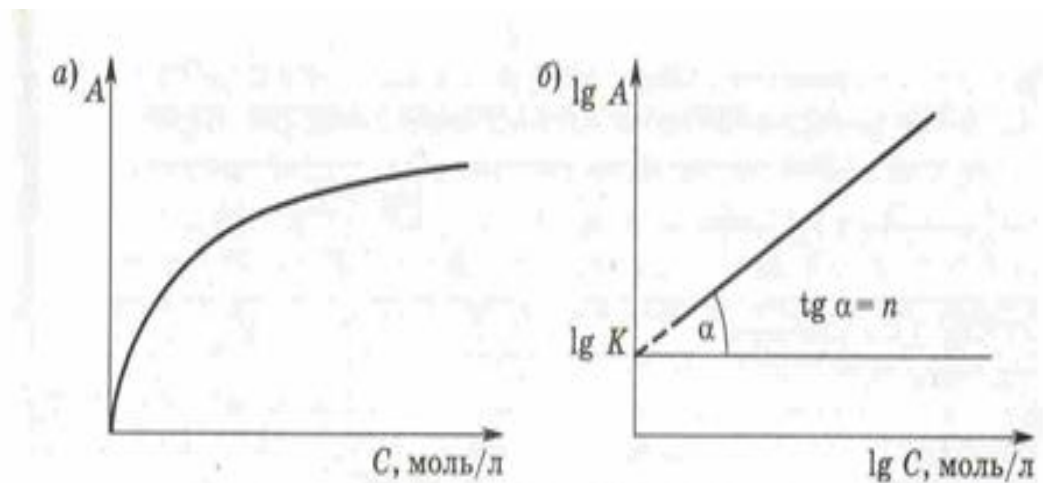
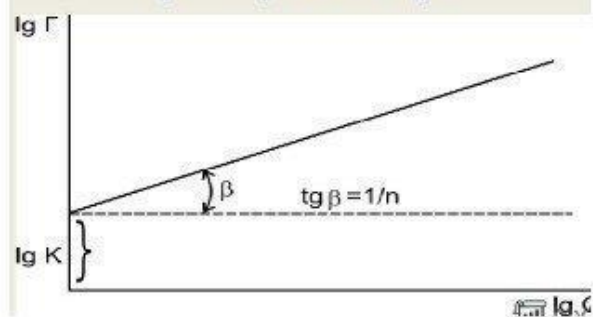
Справедливо только для средних концентраций.

$$\Gamma = K \cdot C^{1/n}$$

где K , $1/n$ – эмпирические постоянные, т.е. на основе экспериментальных данных; C – равновесная концентрация вещества, моль/дм³

Графическое нахождение констант уравнения Фрейндлиха

$$\lg \Gamma = \lg K + 1/n \lg C$$



Изотерма адсорбции Фрейндлиха в двух формах:
а — в координатах $A-C$; б — в координатах $\lg A-\lg C$

Экспериментальная часть

Последовательность выполнения работы

1. 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.
2. В 5 мерных колб вливают указанные в таблице количества уксусной кислоты ($c = 0,5$ моль/л), доводят объем колб до метки дистиллированной водой и перемешивают содержимое.
3. Каждый из приготовленных растворов переносят в одну из конических колб с навеской угля и оставляют на 40 мин, взбалтывая содержимое колб через каждые 5 мин.
4. Пока идет процесс адсорбции, уточняют концентрацию исходного раствора уксусной кислоты. Для этого в колбу для титрования отбирают аликвотную часть исходного раствора уксусной кислоты (2 мл), приливают 10-20 мл дистиллированной воды и титруют раствором 0,1 М КОН в присутствии фенолфталеина.
5. По истечении 40 мин адсорбции растворы уксусной кислоты фильтруют. Определяют концентрацию уксусной кислоты в растворах после адсорбции титрованием щелочью известной концентрации с использованием индикатора – фенолфталеина. На титрование берут объемы, указанные в таблице.

Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитать точную концентрацию исходного раствора уксусной кислоты:

$$C_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{э}} \cdot C_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}}$$

где $V_{\text{э}}$ – объем щелочи, затраченный на титрование, $V_{\text{ал.ч.}}$ – объем раствора кислоты, взятой на титрование, мл.

2. Рассчитать концентрацию пяти приготовленных растворов уксусной кислоты:

$$C_0 = \frac{V_{\text{исх}} \cdot C_{\text{исх}}}{V_{\text{м.к.}}}$$

где $V_{\text{исх}}$ – объем исходного раствора уксусной кислоты, указанный в таблице, $V_{\text{м.к.}}$ – объем мерной колбы, мл

3. Рассчитать концентрацию растворов уксусной кислоты после адсорбции:

$$C_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{э}} \cdot C_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}}$$

где $V_{\text{э}}$ – объем щелочи, затраченный на титрование, $V_{\text{ал.ч.}}$ – объем раствора кислоты, взятой на титрование (см таблицу), мл

Таблица

Исходные данные в результате эксперимента

Номер колбы	1	2	3	4	5
Навеска угля, г					
Объем исходного раствора 0,5 М CH_3COOH ($V_{\text{исх}}$), мл	2	5	10	25	50
Концентрация приготовленных растворов уксусной кислоты до адсорбции c_0 , моль/л					
Объем пробы раствора на титрование после адсорбции $V_{\text{ал.ч.}}$, мл	10	10	5	5	2
Расход раствора щелочи на титрование после адсорбции $V_{\text{э.}}$, мл					
Концентрация приготовленных растворов уксусной кислоты после адсорбции c , моль/л					
$\lg c$					
Адсорбция a , моль/г					
$\lg a$					

4. Используя полученные данные о концентрации кислоты до c_0 и после адсорбции c , для всех пяти проб рассчитать значение адсорбции по формуле (2) и значения $\lg c$ и $\lg a$. Результаты расчета заносят в таблицу.
5. По полученным данным строят изотермы адсорбции в координатах « $a - c$ » и « $\lg a - \lg c$ ».
6. Пользуясь изотермой, построенной в координатах « $\lg a - \lg c$ », определяют графически константы уравнения Фрейндлиха.

Оформление отчета по лабораторной работе

- название и цель работы;
- перечисление оборудования и реактивов;
- краткое описание проведения эксперимента;
- результаты исследования и расчеты (уравнения должны быть приведены в общем виде и с подставленными данными). Результаты исследования и расчетов должны быть сведены в соответствующие таблицы);
- графическая обработка экспериментальных данных (графики должны выполняться только на миллиметровой бумаге).
- вывод.

Обсуждение результатов

1. Навеску активированного угля измельчили 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.



2. В 5 мерных колб вливают указанные в таблице количества уксусной кислоты ($c = 0,5$ моль/л), доводят объем колб до метки дистиллированной водой и перемешивают содержимое.



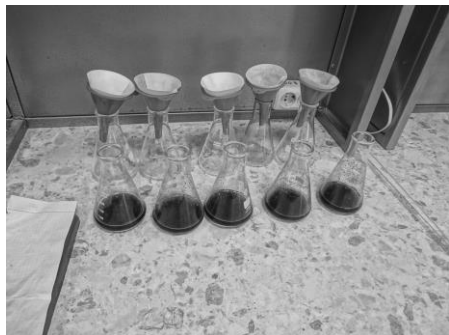
3. Каждый из приготовленных растворов переносят в одну из конических колб с навеской угля и оставляют на 40 мин, взбалтывая содержимое колб через каждые 5 мин.



4. Пока идет процесс адсорбции, уточняют концентрацию исходного раствора уксусной кислоты. Для этого в колбу для титрования отбирают аликвотную часть исходного раствора уксусной кислоты (2 мл), приливают 10-20 мл дистиллированной воды и титруют раствором 0,1 М КОН в присутствии фенолфталеина.

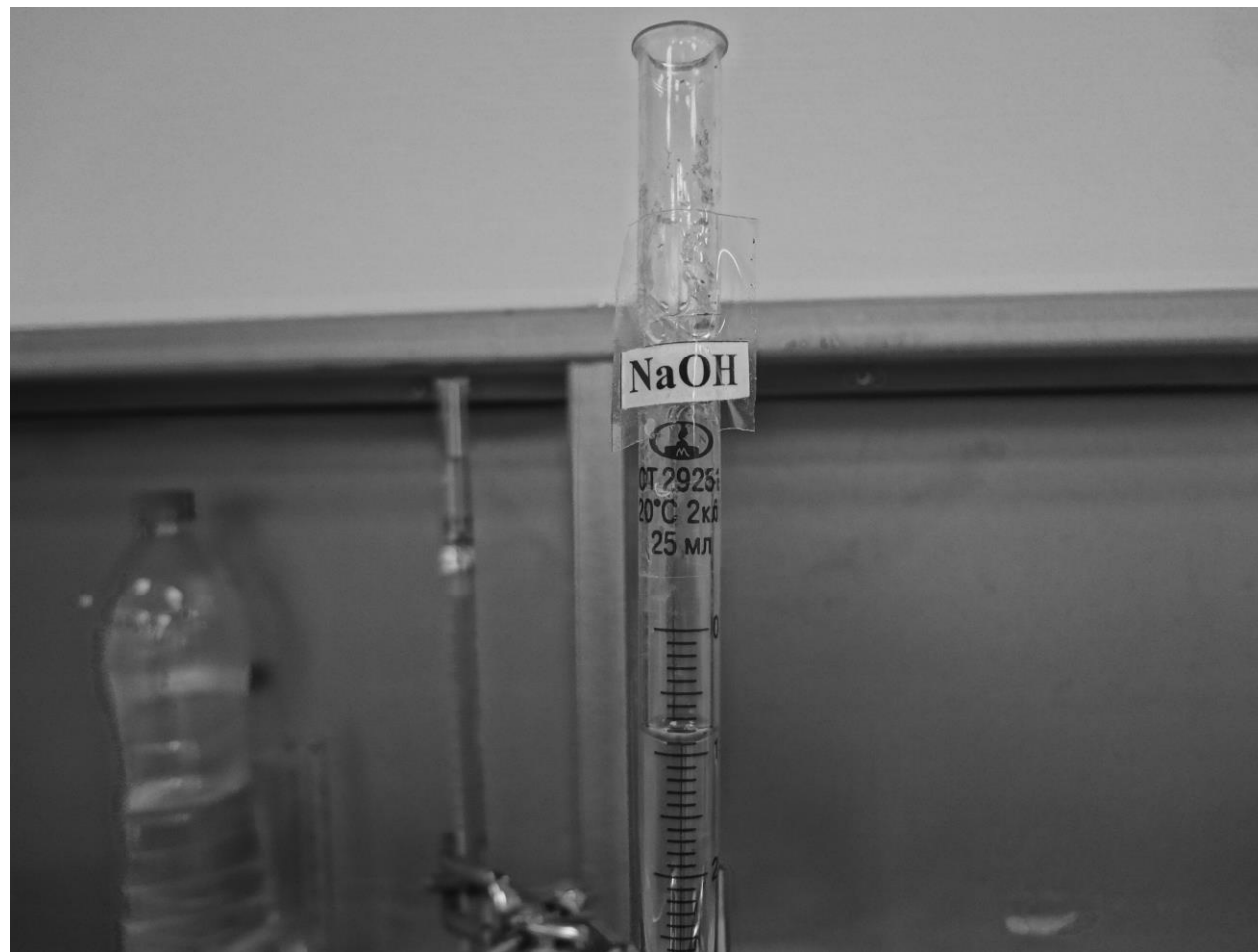


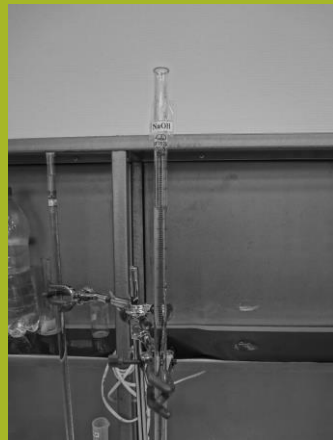
5. По истечении 40 мин адсорбции растворы уксусной кислоты фильтруют.





5. Определяют концентрацию уксусной кислоты в растворах после адсорбции титрованием щелочью известной концентрации с использованием индикатора – фенолфталеина. На титрование берут объемы, указанные в таблице.





Номер колбы	1	2	3	4	5
$V_э$, мл	1,0	2,0	4,1	9,5	7,7

Обработка результатов

1. На титрование исходной уксусной кислоты объемом 10 мл потребовалось 50 мл 0,1 М раствора гидроксида кальция. Значит, концентрация уксусной кислоты равна:

$$c_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{э}} \cdot c_{\text{кон}}}{V_{\text{ал.ч.}}} = \frac{50 \cdot 0,1}{10} = 0,5 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}.$$

2. Рассчитать концентрацию пяти приготовленных исходных растворов уксусной кислоты:

$$1. c_0 = \frac{V_{\text{исх}} \cdot c_{\text{исх}}}{V_{\text{м.к.}}} = \frac{2 \cdot 0,5}{50} = 0,02 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$4. c_0 = \frac{V_{\text{исх}} \cdot c_{\text{исх}}}{V_{\text{м.к.}}} = \frac{25 \cdot 0,5}{50} = 0,25 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$2. c_0 = \frac{V_{\text{исх}} \cdot c_{\text{исх}}}{V_{\text{м.к.}}} = \frac{5 \cdot 0,5}{50} = 0,05 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$5. c_0 = \frac{V_{\text{исх}} \cdot c_{\text{исх}}}{V_{\text{м.к.}}} = \frac{50 \cdot 0,5}{50} = 0,5 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}.$$

$$3. c_0 = \frac{V_{\text{исх}} \cdot c_{\text{исх}}}{V_{\text{м.к.}}} = \frac{10 \cdot 0,5}{50} = 0,1 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

3. Рассчитать концентрацию пяти приготовленных растворов уксусной кислоты после адсорбции:

$$1.c = \frac{V_{\text{э}} \cdot c_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}} = \frac{1 \cdot 0,1}{10} = 0,01 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$2.c = \frac{V_{\text{э}} \cdot c_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}} = \frac{2 \cdot 0,1}{10} = 0,02 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$3.c = \frac{V_{\text{э}} \cdot c_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}} = \frac{4,1 \cdot 0,1}{5} = 0,08 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$4.c = \frac{V_{\text{э}} \cdot c_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}} = \frac{9,5 \cdot 0,1}{5} = 0,19 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}};$$

$$5.c = \frac{V_{\text{э}} \cdot c_{\text{КОН}}}{V_{\text{ал.ч.}}} = \frac{7,5 \cdot 0,1}{5} = 0,15 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}.$$

4. Рассчитать адсорбцию по уравнению (2):

$$1. a = \frac{V(c_0 - c)}{m} = \frac{0,05(0,02 - 0,01)}{0,5} = 0,001 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Г}} ;$$

$$2. a = \frac{V(c_0 - c)}{m} = \frac{0,05(0,05 - 0,02)}{0,5} = 0,003 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Г}} ;$$

$$3. a = \frac{V(c_0 - c)}{m} = \frac{0,05(0,1 - 0,08)}{0,5} = 0,002 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Г}}$$

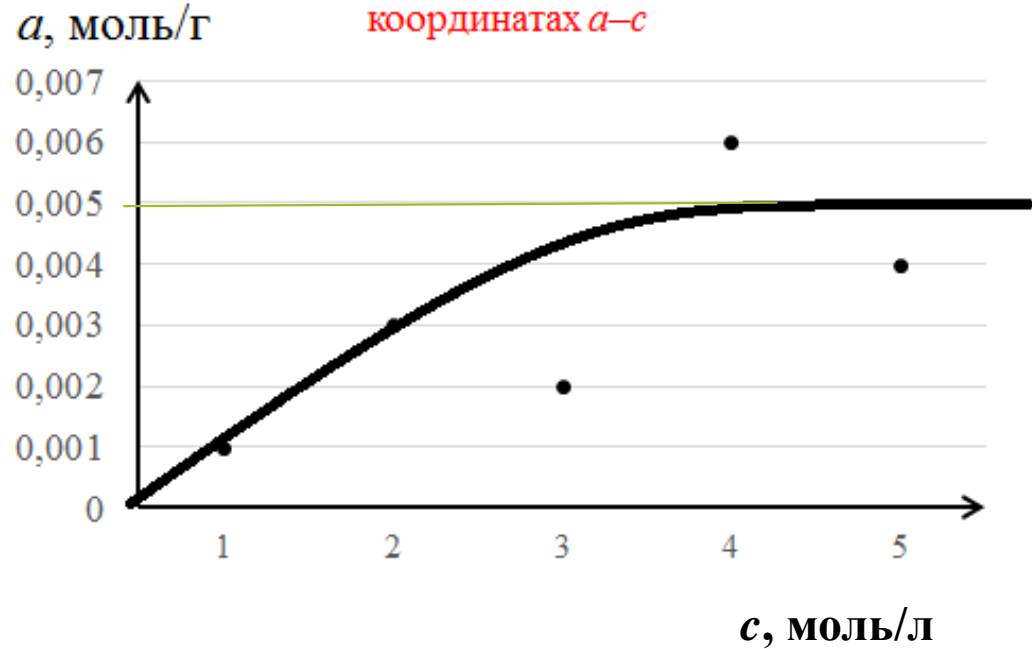
$$4. a = \frac{V(c_0 - c)}{m} = \frac{0,05(0,25 - 0,19)}{0,5} = 0,006 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Г}} ;$$

$$5. a = \frac{V(c_0 - c)}{m} = \frac{0,05(0,5 - 0,15)}{0,5} = 0,004 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Г}} .$$

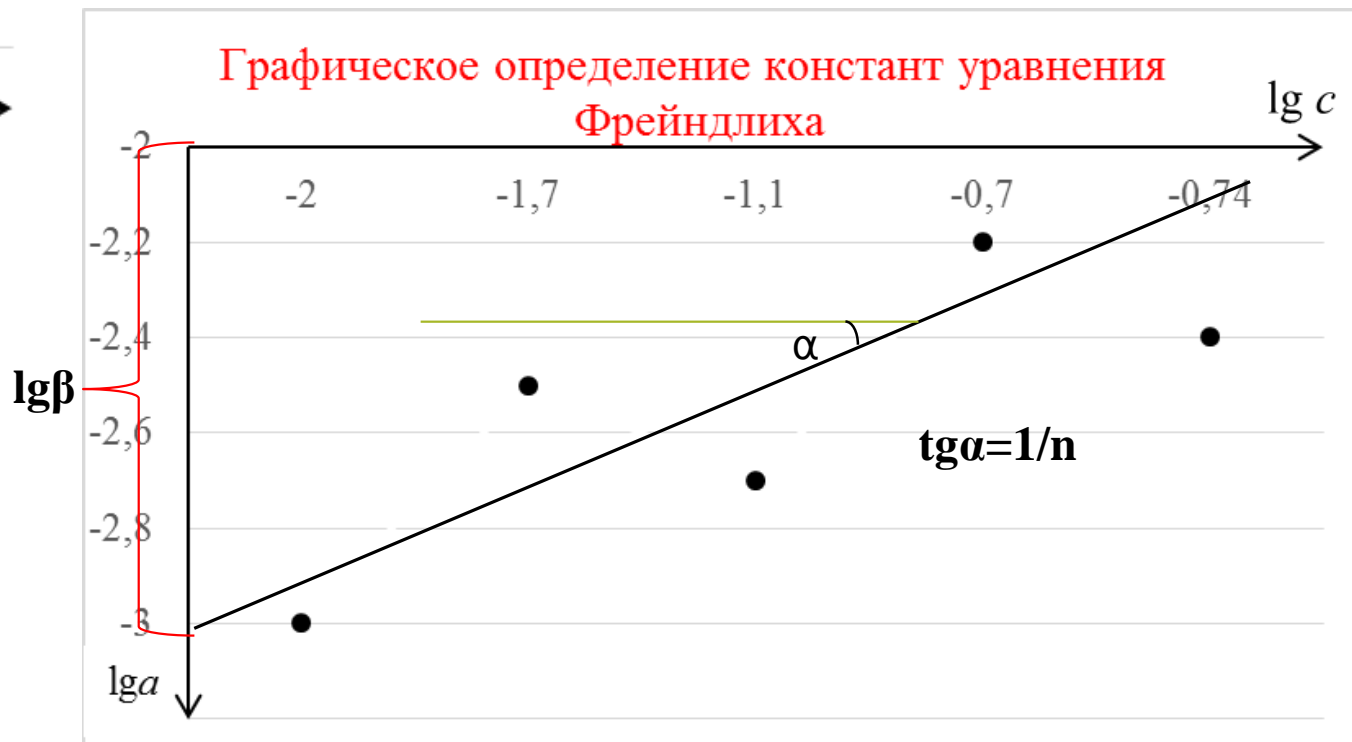
Результаты эксперимента

Номер колбы	1	2	3	4	5
Навеска угля, г	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Объем исходного раствора 0,5 М CH_3COOH ($V_{\text{исх}}$), мл	2	5	10	25	50
Концентрация приготовленных растворов уксусной кислоты до адсорбции c_0 , моль/л	0,02	0,05	0,1	0,25	0,5
Объем пробы раствора на титрование после адсорбции $V_{\text{ал.ч.}}$, мл	10	10	5	5	2
Расход раствора щелочи на титрование после адсорбции $V_э$, мл	1,0	2,0	4,1	9,5	7,7
Концентрация приготовленных растворов уксусной кислоты после адсорбции c , моль/л	0,01	0,02	0,08	0,19	0,15
$\lg c$	-2	-1,7	-1,1	-0,7	-0,74
Адсорбция a , моль/г	0,001	0,003	0,002	0,006	0,004
$\lg a$	-3	-2,5	-2,7	-2,2	-2,4

Изотерма адсорбции Фрейндлиха в координатах $a-c$



Графическое определение констант уравнения Фрейндлиха



Контрольные вопросы

1. Дать определения адсорбции, десорбции, адсорбенту, адсорбату, адсорбтиву.
2. Укажите причину адсорбционных процессов.
3. Какова природа сил, вызывающих физическую и химическую адсорбцию?
4. Каким образом адсорбция выражается количественно?
5. Что такое отрицательная адсорбция?
6. От каких величин зависит адсорбция?
7. Что такое изотерма адсорбции?
8. Чем отличается моно- и полимолекулярная адсорбция?
9. Какую зависимость выражает уравнение Фрейндлиха и как определить коэффициенты этого уравнения?
10. Где на практике применяется адсорбция и какие адсорбенты используются?