

## Лабораторная работа

### Очистка воды от ионов железа (III) методом ионного обмена

#### Цель работы:

Ознакомится с процессом подготовки ионита к работе на примере катионита КУ-2-8 для очистки водного раствора от ионов железа (3+).

#### Теоретические положения

##### Ионный обмен

К гетерогенным равновесиям между твердой и жидкой фазами относятся процессы ионного обмена с участием ионитов.

Иониты – это твердые, практически нерастворимые в воде и органических растворителях материалы, подавляющее большинство которых являются высокомолекулярными соединениями с сетчатой, или пространственной структурой (матрицей), на которой имеется большое число функциональных групп, вводимых, например, при синтезе.

В растворе функциональные группы ионитов способны диссоциировать с образованием катионов или анионов, которые способны к ионному обмену. Под ионным обменом понимается способность ионита при контакте с раствором электролита вступать с ним в реакцию ионного обмена.

Группы в ионите, способные к такому обмену, называются ионогенными группами. Эти группы могут быть «+» заряженными, тогда ионит называется катионитом, его относят к нерастворимым кислотам; если ионогенные группы «-» заряжены, такой ионит называют анионитом, его относят к нерастворимым основаниям.

Функциональными группами у катионитов обычно служат сульфогруппы  $-\text{SO}_3\text{H}$ , карбоксильные группы  $-\text{COOH}$  и др. Такие группы при контакте ионита с раствором посылают в раствор ионы  $\text{H}^+$ .

Функциональными группами у анионитов обычно служат гидроксид-ионы  $\text{OH}^-$ , аминогруппы  $-\text{NH}_2$ , четвертичные аммонийные основания  $-\text{NR}$  и другие. При диссоциации таких групп ионит заряжается положительно, а раствор около ионита – отрицательно.

Если катионит содержит в качестве обменивающейся группы ионы водорода ( $\text{H}^+$ ), его называют катионитом в H-форме и обозначают как  $\text{RH}$ . Эта же формула используется как общая для всех видов катионитов, реакции обмена с которыми происходят не только с участием ионов водорода, но и другими видами катионов.

Общая формула для анионитов  $\text{RAnion}$  (или  $\text{ROH}$ ). Эти вещества обменивают анионы своих ионогенных групп на анионы солей или кислот, находящихся в растворе.

Равновесия с участием катионитов выражаются процессами:

$R_n(\text{SO}_3\text{H})_m \leftrightarrow R_n(\text{SO}_3)_m^- \dots m\text{H}^+$  (в катионите при контакте с дистиллированной водой),

$R_n(\text{SO}_3)_m^- \dots m\text{H}^+ + m\text{NaCl} \leftrightarrow R_n(\text{SO}_3)_m^- \dots m\text{Na}^+ + m\text{HCl}$  (гетерогенное равновесие катионит<sub>(тв.)</sub> – раствор электролита).

Равновесия с участием анионитов выражаются процессами:

$R_n(\text{OH}^-)_m \leftrightarrow R_n^+ \dots m\text{OH}^-$  (в анионите при контакте с дистиллированной водой),

$R_n^+ \dots m\text{OH}^- + m\text{NaCl} \leftrightarrow R_n^+ \dots m\text{Cl}^- + m\text{NaOH}$  (гетерогенное равновесие анионит<sub>(тв.)</sub> – раствор электролита).

Известны и другие механизмы ионного обмена.

По степени диссоциации функциональных групп иониты различаются по силе.

Обменная емкость ионита выражается как число эквивалентов поглощенного иона (в мг) на 1 г (или единицу объема) ионита. Высокоемкие иониты могут поглощать 6–10 мг-экв иона на 1 г ионита.

Обменная способность ионитов определяется встряхиванием навески ионита с титрованными растворами кислот или щелочей либо фильтрованием этого титрованного раствора через слой ионита с последующим титрованием отфильтрованной пробы раствора щелочью или кислотой, соответственно.

Важно, что поглощение ионов из раствора и вытеснение подвижных ионов из ионита происходит в строго эквивалентных соотношениях.

Время замещения всех подвижных ионов в ионитах при благоприятных условиях составляет 2–5 секунд. Поэтому широко распространен динамический метод ионного обмена, когда раствор, из которого требуется извлечь ионы, фильтруется через колонку, заполненную зернами ионита – либо катионита, либо анионита, или через последовательно соединенные колонки, одни из которых заполнены катионитом, а другие – анионитом, в зависимости от поставленной задачи.

Известны иониты природные и синтетические, минеральные и органические. Например, природные минеральные иониты – цеолиты, глины (катиониты), апатиты, гидроксоapatиты (аниониты). К синтетическим минеральным ионитам относятся пермутиты (катиониты) (слабокислотные алюмосиликаты). Природные иониты органического происхождения – это гуминовые кислоты почв и гуминовые кислоты бурых углей.

Наибольшее значение имеют искусственные полимерные иониты (ионообменные смолы), отличающиеся высокой поглотительной способностью, механической прочностью и химической устойчивостью. Примерами могут служить: катиониты КУ-1 (сульфогли, сульфо-феноло-формальдегидные), КУ-2 (сульфосополистирольные); аниониты – амины различной степени замещения, производные –  $R_4\text{N}^+\text{OH}^-$ .

Самое широкое практическое использование ионный обмен находят при водоподготовке – для умягчения и обессоливания воды.

### Примеры решения задач:

*Определение обменной емкости катионита, применяемого для устранения жесткости воды*

**Пример 1.** Вычислите обменную емкость сульфогля, если через адсорбционную колонку, содержащую 50 г. сульфогля, пропущено 11,35 л воды с общей жесткостью 8,5 ммоль экв. / л (до появления катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в фильтрате).

**Решение.** Обменной емкостью катионита называют максимальное количество ионов (в ммоль экв. / г и ммоль экв. / л), поглощаемое 1 г катионита обменным путем. Обменную емкость катионита  $\varepsilon$  определяют из соотношения

$$\varepsilon = \text{Ж}V / m,$$

где  $V$  – объем воды, пропущенной через катионит, л;  $m$  – масса катионита, г.

Обменная емкость сульфогля равна:  $\varepsilon = 8,5 \cdot 11,35/50 = 1,93$  ммоль экв/л.

### Оборудование и реактивы

Оборудование: конические колбы на 100-150 мл, пипетки для отбора проб раствора.

Реактивы: катионит КУ-2-8 (сульфоуголь), раствор 4 %-ной соляной кислоты  $\text{HCl}$  (1 : 5), раствор  $\text{FeCl}_3$ , насыщенный раствор роданида аммония  $\text{NH}_4\text{NCS}$ , кислотно-основной индикатор: 0,1%-ный раствор метилоранжа, универсальная индикаторная бумага.

### Методика и порядок выполнения работы

1. *Предварительная подготовка катионита КУ-2-8 (сульфоуголь) к работе.*

Согласно техническим условиям катионит сульфуголь представляет собой черные блестящие гранулы неопределенной формы с размерами от 0,5 до 1,25 мм. В процессе транспортировки и хранения часть гранул разрушается с образованием угольной пыли, от которой катионит должен быть освобожден. Для этого небольшие порции катионита (25-30 г) промываются **дистиллированной водой** до тех пор, пока промывные воды не будут содержать угольной пыли. После высушивания гранулы соответствуют техническим условиям.

## 2. Подготовка катионита КУ-2-8 (сульфоуголь) к работе в Н-форме.

Навеску катионита массой 2,5 г поместить в коническую колбу емкостью 100-150 мл, прилить раствор 4 %-ной HCl так, чтобы над катионитом был слой раствора не менее 1 см. В течение 15 минут осторожно перемешивать содержимое колбы для восстановления катионита в Н-форме. Осторожно слить кислоту с катионита, не взмучивая его, промыть небольшими порциями дистиллированной воды до тех пор, пока промывные воды не дадут отрицательной реакции на кислоту, используя метилоранж.

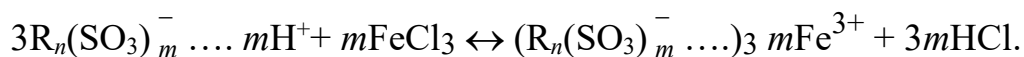
## 3. Подготовка воды, содержащей ионы железа (3+).

Приготовить насыщенный раствор FeCl<sub>3</sub>, отмерить 5 мл этого раствора и разбавить его до 100 мл дистиллированной водой. Хранить в закрытой темной склянке.

## 4. Очистка воды от ионов железа (3+) ионным обменом на катионите КУ-2-8 (сульфоуголь) в Н-форме.

Специально приготовленный раствор, содержащий ионы железа (3+), испытать на присутствие указанных ионов. Для этого в пробирку налить немного этого раствора и добавить к нему 1-2 капли раствора роданида аммония NH<sub>4</sub>NCS. Красная окраска образующегося роданида железа (3+) подтверждает наличие ионов железа (3+) в воде. Пробирку оставить для сравнения.

Отмерить раствор объемом 2,5 мл, содержащий ионы железа (3+) и перенести в колбу с катионитом в Н-форме. В течение 15 минут содержимое колбы осторожно перемешивать, наблюдая за окраской раствора. Отметить наблюдаемые изменения. Испытать раствор над катионитом на присутствие ионов железа (3+): для этого в пробирку отобрать 2-3 капли раствора над катионитом и прибавить к нему 1-2 капли раствора роданида аммония NH<sub>4</sub>NCS. Отсутствие красного окрашивания испытуемого раствора свидетельствует о полном обмене ионов железа (3+) из раствора на ионы H<sup>+</sup> в катионите:



Дополнительным подтверждением ионного обмена служит повышение кислотности раствора, что можно подтвердить, используя метилоранж или универсальную индикаторную бумагу.

Если ионный обмен проводится в ионно-обменной колонке, катионит можно использовать многократно, проводя регенерацию катионита в Н-форму реагентом, как указано в п. 2.

## Требования к оформлению отчета

Отчет о работе должен включать:

- название выполняемой работы, цель;
- перечисление оборудования и реактивов;
- краткие теоретические сведения по теме «Ионный обмен»

- порядок и ход выполнения лабораторной работы;
- уравнения химических реакций, объяснение полученных результатов;
- выводы.

### Контрольные вопросы и задачи

1. Что такое иониты?
2. Как классифицируются иониты? Приведите примеры.
3. Что такое «обменная емкость ионитов»?
4. Напишите реакции регенерации катионита в Н-форме и анионита – в ОН-форме.
5. Напишите качественную реакцию обнаружения ионов железа (3+), использованную в лабораторной работе.
6. Какие этапы водоподготовки должны предшествовать использованию ионитов для обессоливания и умягчения воды?
7. Рассчитайте обменную емкость катионита марки КУ-2, если через адсорбционную колонку, содержащую 100 г этого ионита, пропустили 25 л воды с общей жесткостью 13,6 ммоль экв. /л.
8. Обменная емкость катионита-пермутита  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  равна 7,2 ммоль экв. /л. Каково значение устраненной жесткости воды, если через 200 г этого катионита пропущено 50 л воды?
9. Обменная емкость каолиновой глины составляет 13,5 ммоль экв. /л. Какой объем воды с общей жесткостью 3,5 ммоль экв. /л можно профильтровать через 150 г глины для полного удаления катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ?