



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



## Кафедра биологии растений и химии

# ХИМИЯ

Лабораторный практикум

**Лабораторная работа**  
**Жесткость воды**





Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



## Лабораторная работа Жесткость воды.

**Цель работы :** определение жесткости водопроводной воды.

**Оборудование и материалы:** вода водопроводная, раствор соляной кислоты с молярной концентрацией 0,1 моль/л, метилоранж, индикатор эриохром черный, раствор ЭДТА (0,02 н.), аммиачный буферный раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$  +  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , химический стакан, конические колбы, мерная бюретка.

Жесткость воды обусловлена содержанием в ней растворимых солей кальция, магния, железа: нитратов, хлоридов, гидрокарбонатов и др. Различают жесткость временную и постоянную. Временная жесткость обусловлена содержанием гидрокарбонатов:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , постоянная – содержанием хлоридов, нитратов, сульфатов этих металлов:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и др. Сумма постоянной и временной жесткости составляет общую жесткость:

$$\text{Жобщ.} = \text{Жпост.} + \text{Жврем.}$$

Жесткость воды оценивается числом миллимоль-эквивалентов ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , содержащихся в одном литре воды. Единица жесткости – ммоль/л. Один миллимоль  $\text{Ca}^{2+}$  приблизительно равен 20 мг ионов кальция, а один миллимоль  $\text{Mg}^{2+}$  – 12 мг ионов магния.

Классификация воды по степени жесткости приведена в таблице:

Характеристика жесткости воды

Число ммоль/л ионов $\text{Mg}^{2+}$ и $\text{Ca}^{2+}$	Характеристика жесткости воды
< 4	Мягкая
4 ÷ 8	Умеренно-жесткая
8 ÷ 12	Жесткая
> 12	Очень жесткая

Жесткая вода непригодна для многих технических целей, поэтому снижение жесткости (умягчение воды) является важной задачей. Эта задача решается в технике тремя способами: физическим, химическим и физико-химическим. Сущность этих методов заключается в удалении из воды катионов металлов.

**Физический** способ основан на термическом разложении солей:



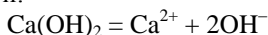


Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»

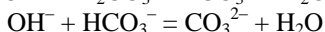
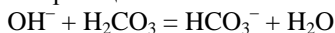


Таким образом, после выпадения осадков содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  в воде уменьшается. Этот способ пригоден лишь для устранения временной жесткости воды, так как сульфаты, нитраты и хлориды этих металлов при нагревании и кипячении воды остаются в растворе. В промышленных масштабах этот метод применяется в тех случаях, когда вода должна подогреться, согласно технологии, в других аппаратах.

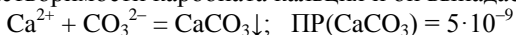
**Химический** способ основан на удалении из воды ионов кальция, магния, железа за счет перевода их в малорастворимые соединения: карбонаты, гидроксиды, тетрабораты и др. Для этого к жесткой воде добавляют реагенты – осадители. Обычно добавляют гашеную известь. В результате электролитической диссоциации извести:



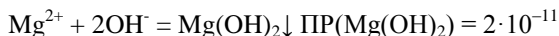
возрастает рН воды, что в соответствии с принципом Ле Шателье приводит к смещению равновесия реакций:



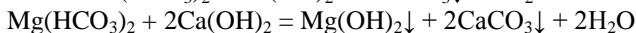
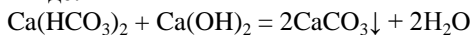
в сторону образования карбонат-ионов, в результате чего достигается произведение растворимости карбоната кальция и он выпадает в осадок:



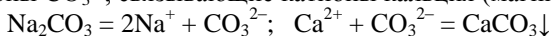
Кроме того, при увеличении концентрации гидроксид-ионов достигается произведение растворимости гидроксида магния, и он также выпадает в осадок:



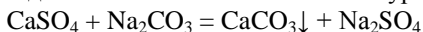
Реакции, протекающие при введении извести, можно записать уравнениями в молекулярном виде:



Метод известкования непригоден для снижения постоянной жесткости. Для этих целей необходимо вводить растворимую соль, содержащую карбонат-ионы. Обычно в воду добавляют карбонат натрия, который при диссоциации дает ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ , связывающие катионы кальция (магния):



В молекулярном виде этот способ можно записать уравнением:



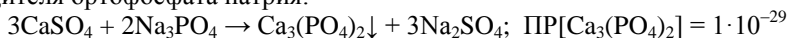


Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



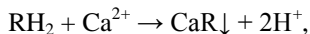
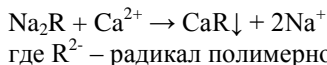
Почему для устранения постоянной жесткости не проводят осаждения сульфатов? Сравнение значений произведения растворимости сульфата кальция ( $6 \cdot 10^{-6}$ ) и карбоната кальция ( $5 \cdot 10^{-9}$ ) показывает, что связывание ионов кальция в виде  $\text{CaCO}_3$  является более прочным.

Учитывая, что ортофосфаты еще менее растворимы, чем карбонаты, более полного устранения жесткости можно достичь с помощью реагента-осадителя ортофосфата натрия:



Химические методы связаны с расходом реагентов, поэтому в последние годы широкое распространение получил физико-химический метод – метод ионного обмена.

**Физико-химический** метод умягчения воды основан на использовании ионообменных смол, в которых ионы натрия или водорода, закрепленные на твердой полимерной матрице, способны замещаться на катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , содержащиеся в воде:



Через колонку, заполненную гранулами ионообменника, прокачивают жесткую воду, которая, проходя слой гранул, обменивает катионы кальция и магния на катионы водорода, в результате чего снижается как временная, так и постоянная жесткость.

Оценка жесткости воды и категории жесткости производится, согласно таблице, если известны значения хотя бы одного из экспериментальных данных:

1. масса содержащихся в воде солей;
2. объем реактива, используемого на титрование воды;
3. количество или масса реагента, необходимого для устранения жесткости.

Рассмотрим на примерах расчет жесткости воды с использованием этих данных.

**Пример 1.** Вычислить временную жесткость, если в одном литре воды содержится 82,62 мг ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и 20,64 мг ионов  $\text{Mg}^{2+}$ .

*Решение.* Число ммоль эквивалентов ионов кальция вычисляем из соотношения:

$$1 \text{ ммоль } \text{Ca}^{+2} - 20,04 \text{ мг } \text{Ca}^{+2}$$





$$X - 82,62 \text{ мг Ca}^{+2}$$

$$X = 4,1$$

Число ммоль эквивалентов  $\text{Mg}^{2+}$  определяем аналогично:

$$1 \text{ ммоль Mg}^{+2} - 12,5 \text{ мг Mg}^{+2}$$

$$X - 20,64 \text{ мг Mg}^{+2}$$

$$X = 1,7$$

Общее число ммоль эквивалентов ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в расчете на один литр воды составляет:  $\text{Ж} = 4,1 + 1,7 = 5,8$  ммоль/л следовательно, вода умеренно жесткая.

**Пример 2.** Определить временную жесткость воды, содержащую гидрокарбонат магния, если на титрование 100 мл этой воды израсходовано 10,00 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты.

*Решение.* При титровании жесткой воды соляной кислотой происходит следующая химическая реакция:



В соответствии с законом эквивалентов, количества эквивалентов участвующих в реакции веществ должно быть одинаковыми, следовательно:

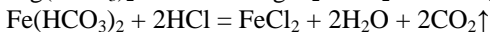
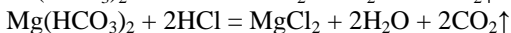
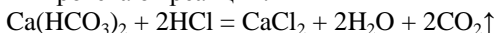
$$C_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = C_{\text{эк}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}),$$

где  $V(\text{H}_2\text{O})$  – объем титруемой жесткой воды,  $V(\text{HCl})$  – объем раствора  $\text{HCl}$ , израсходованный на титрование,  $C_{\text{эк}}(\text{HCl})$  – молярная концентрация эквивалента соляной кислоты;  $C_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{O})$  – эквивалентная концентрация солей жесткости в воде.

Из этой формулы:  $C_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{O}) = 10,00 \cdot 0,1 \div 100 = 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л = 10 ммоль/л следовательно, вода жесткая.

### Опыт 1. Определение временной жесткости.

Временная жесткость определяется титрованием исследуемой воды раствором соляной кислоты в присутствии индикатора метилоранжа. При титровании протекают реакции:



*Ход опыта.* 1. В большой химический стакан налить воду из водопроводного крана, дать отстояться 10 минут.

2. Отмерить мерной пипеткой 50 мл исследуемой воды из стакана. Операцию повторить три раза, набрав по 50 мл воды в три конические колбы.

3. Добавить в каждую колбу по 2–3 капли метилоранжа.

4. Заполнить мерную бюретку раствором соляной кислоты с молярной





Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



концентрацией 0,1 моль/л до верхнего (нулевого) деления. Предварительно ополоснуть её этим раствором. Проследить за тем, чтобы кислотой был заполнен носик бюретки.

Перед каждым следующим титрованием бюретку заполнять кислотой до нулевого значения.

5. Провести три титрования жесткой воды соляной кислотой до исчезновения желтой окраски и появления оранжевого (но не розового!) цвета раствора. Для этого в колбу для титрования медленно (по капле!) вводить раствор из бюретки. При появлении оранжевого цвета титрование прекратить и записать объем использованной на титрование кислоты.

Напоминаем, что в момент отсчета показания бюретки глаза экспериментатора должны находиться на уровне нижнего мениска раствора.

Результаты опыта занести в таблицу.

6. Пользуясь примером 2, вычислить временную жесткость воды и сделать вывод о том, к какой категории жесткости она относится.

№ опыта	Объем жесткой воды $V(\text{H}_2\text{O})$ , мл	Объем раствора кислоты, мл	Средний объем кислоты $V(\text{HCl})$ , мл
1			
2			
3			

**Опыт 2. Определение общей жесткости.** Общую жесткость воды определяют комплексометрическим титрованием с применением этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА).

Заполнить бюретку раствором ЭДТА (0,02 н.). Отмерить пипеткой указанный преподавателем объем анализируемой воды и перенести её в коническую колбу для титрования. Долить дистиллированной воды до общего объема 100 мл. Добавить 5 мл буферного раствора  $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$  (для поддержания pH в интервале 9–10) и 2–3 капли индикатора эриохрома черного, при котором раствор окрасится в красный цвет.

Перемешать раствор и сразу титровать из бюретки раствором ЭДТА до перехода красной окраски в синюю.

Титрование повторить три раза, как в предыдущем опыте. Результаты записать в таблицу, которая по форме подобна таблице в опыте 1.

Рассчитать общую жесткость по такой же формуле, что и временную,





Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



только вместо объема и эквивалентной концентрации соляной кислоты брать объем ЭДТА и ее концентрацию.

Постоянную жесткость определить из соотношения:

$$Ж_{\text{пост}} = Ж_{\text{общ}} - Ж_{\text{врем}}$$

Сделать вывод по работе, указать характеристику жесткости воды.





Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
3. Коровин, Н. В. Общая химия:учебник для технических направ. и спец. вузов / Н. В. Коровин. – М.: Высш. шк., 2005. – 557 с.:ил.
4. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
- 5.Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
- 6.Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
- 7.Химия: учебно-методический комплекс: учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с.
- 8.Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.

### *Дополнительная*

1. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Выш. шк., 2003. – 96 с.
2. Жарский, И. М.Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
- 3.Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А. Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.
- 4.Колотыркин, Я.М. Металл и коррозия / Я.М. Колотыркин. – М.: Металлургия, 2005. –388 с.
5. Общая химия в формулах, определениях, схемах / под ред. В. Ф. Тикавого. – Минск: Университетское, 1996. – 560 с.
- 6.Улиг, Г.Г., Ревя Р.У. Коррозия и борьба с ней / Г.Г. Улиг, Р.У.Ревя. –Л.: Химия, 1989. –456 с.

### *Справочники:*

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия,1977.
2. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, – 480 с.





Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



Составители

**Поддубная** Ольга Владимировна

**Ковалева** Ирина Владимировна

**Мохова** Елена Владимировна

**Шагитова** Марина Николаевна

