



Урок 28. Жёсткость воды

Листы ученика. Ответы и примечания учителю — в отдельной части.

Естественно-научный эксперимент · 8 класс

Урок 28 из 64 · 45 минут · Модуль «Количественный химический анализ»

Уровень: Базовый исследовательский для 8 класса: работаем по инструкции, сравниваем данные и обосновываем вывод. Уверенно считаем дроби и проценты; специальных лабораторных навыков не требуется.

Вся программа курса

Кислота израсходовалась на пробу воды. Можно ли по этому числу узнать всю жёсткость - и тем более решить, пригодна ли вода для питья?

Проверяемый результат:

Обработать модельный ацидометрический анализ с холостой поправкой и отделить карбонатную составляющую от общей жёсткости.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и проверяемое предположение

У двух проб одинаковый расход HCl, но одна содержит гидрокарбонат натрия, а другая - кальция. Ученик объявил их одинаково жёсткими. За 2 минуты найдите отличие катионов, за 2 сформулируйте, что действительно измеряет кислота, за 1 запишите вопрос о границах метода.

02. Объяснение и разобранный пример

5-14 минут · Понятия, расчёт и ограничения

Жёсткость связана главным образом с растворёнными ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} . Общая жёсткость включает разные соли этих катионов. Карбонатная составляющая связана с щёлочностью и может изменяться при кипячении. Титрование кислотой непосредственно оценивает кислотопоглощающую способность - щёлочность, а не избирательно все ионы кальция и магния. При посторонних основаниях вывод требует дополнительных данных.

Условие сегодняшней модели: щёлочность создают только гидрокарбонаты Ca и Mg; других кислотопоглощающих компонентов нет. $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Для $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ нужны 2H^+ на один Ca^{2+} ; для Mg - аналогично. Значит, $c(\text{Ca} + \text{Mg}) = n(\text{H}^+) / (2V \text{ пробы})$. Без этого условия подстановка не является определением реальной жёсткости.

Разбор: проба 100,0 мл, HCl 0,0200 моль/л, общий расход 12,00 мл, холостой опыт 0,20 мл. Исправленный расход 11,80 мл; $n(\text{H}^+) = 0,0200 \cdot 0,01180 = 0,000236$ моль. $c(\text{Ca} + \text{Mg}) = 0,000236 / (2 \cdot 0,1000) = 0,00118$ моль/л = 1,18 ммоль/л. В пересчёте на CaCO_3 при $M = 100,0$ г/моль это 118 мг/л. Эквивалент CaCO_3 - способ выражения, а не доказательство наличия именно этой соли в пробе.

Что измеряет расход кислоты?



Условие: только гидрокарбонаты Ca/Mg

При NaHCO_3 расход кислоты есть, а Ca/Mg может не быть

Авторская схема границ метода: расход HCl минус холостой опыт даёт щёлочность. Только при заданной гидрокарбонатной модели её пересчитывают в $c(\text{Ca} + \text{Mg})$ и мг/л как CaCO_3 . Ионы натрия и другие основания могут нарушить такой пересчёт.



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Первая серия

Повтор	Расход HCl, мл
1	11,80
2	12,00
3	12,20

Каждая порция воды 100,0 мл; с HCl=0,0200 моль/л; холостой расход 0,20 мл для каждой порции. Состав подчиняется модели примера. За 3 минуты получите исправленные расходы, за 3 среднее и с(Ca+Mg), за 3 результат как CaCO₃, за 2 ограничьте вывод. Критерии: поправка вычитается один раз на каждую порцию, мл переведены в л, есть коэффициент 2 и условие применимости.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельный перенос

Модель воды	Ca ²⁺ , ммоль/л	Mg ²⁺ , ммоль/л	HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Na ⁺ , ммоль/л
А	1	0	2	0
Б	0	0	2	2

Обе модели электрически нейтральны. За 3 минуты найдите расход H⁺ на 1 л, за 3 сравните действительную сумму Ca+Mg, за 2 объясните, почему формула из примера ошибочна для Б. Считаем только перечисленные ионы. Продукт - две пары чисел и вывод о неизбирательности метода.

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Аргумент и обоснованный вывод

Тезис: «Чем больше расход кислоты, тем вода опаснее». Альтернатива: измерена лишь определённая химическая характеристика. За 2 минуты назовите, чего метод не проверяет, за 3 приведите пример А/Б, за 2 напишите допустимую подпись к результату анализа.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственное решение

Проба 50,0 мл, исправленный расход 0,0200 моль/л HCl равен 5,00 мл. Состав соответствует модели. Найдите n(H⁺), с(Ca+Mg) в ммоль/л и результат в мг/л как CaCO₃ при M=100,0 г/моль. Укажите одно условие пересчёта.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Распечатки таблиц, калькулятор, бумага. Предпосылки: моль, литр, расход титранта, коэффициенты. Все пробы - готовые учебные данные. Воду не пробуют, реагенты не используют. Не делать выводов о санитарной безопасности и здоровье по уроку. Основная модель предполагает, что кислоту расходуют только гидрокарбонаты Ca и Mg; это упрощение будет явно проверено в практике 2. Работа без регистрации.

Минуты	Работа	Проверяемый продукт
0-5	Проблемная ситуация	Вопрос и проверяемое предположение
5-14	Понятия и разобранный пример	Пояснение величин и метода
14-25	Практика 1	Расчёт, схема или протокол по данным
25-33	Практика 2	Решение на новых условиях
33-40	Обсуждение	Аргумент, альтернатива и вывод
40-45	Индивидуальная проверка	Самостоятельный ответ и исправление

Все тексты, рисунки и данные включены. Без регистрации: распечатайте учебную часть PDF или используйте доску. Ответы открывайте после самостоятельной попытки. Минуты включают чтение, записи и переходы. В конце соберите индивидуальную работу. 0-1 балл: разобрать пример повторно; 2-3: уточнить пропущенное звено; 4: объяснить ограничение модели. Это обратная связь, не обязательная школьная отметка.

Разбор практики 1 и критерии

Исправленные расходы 11,60;11,80;12,00 мл, среднее 11,80 мл. Получаем 1,18 ммоль/л Ca+Mg и 118 мг/л как CaCO₃. Это карбонатная составляющая в заданной модели, не полный анализ любой воды. Из трёх титрований нельзя заключить, что вода безопасна для питья или не содержит других солей.

Ответ и объяснение практики 2

В обоих пробах на гидрокарбонат требуется 2 ммоль Н⁺/л. В А сумма Ca+Mg=1 ммоль/л, в Б=0. Если механически делить расход на два, Б получит ложные 1 ммоль/л. Натрий создаёт щёлочность без жёсткости. Поэтому нужен независимый состав либо другой метод измерения общей жёсткости.

Опора для обсуждения

Метод не проверяет микроорганизмы, токсичные примеси и полный ионный состав. А и Б расходуют одинаковую кислоту, хотя Ca+Mg различаются. Допустимо: «В учебной гидрокарбонатной модели получено 118 мг/л как CaCO₃; пригодность воды для питья не оценивалась». Не следует превращать урок в рекомендацию по выбору питьевой воды.

Ключ и критерии индивидуальной работы

0,000100 моль Н⁺; c(Ca+Mg)=0,00100 моль/л=1,00 ммоль/л; 100 мг/л как CaCO₃. Требуется, чтобы щёлочность давали только гидрокарбонаты Ca/Mg, без других оснований. По 1 баллу за каждый элемент, всего 4.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Определение временной карбонатной жёсткости методом ацидометрии	Обрабатывает предоставленную учебную серию	Вводит холостую поправку и единицы
Оценка ограничений метода	Сравнивает кальциевую и натриевую модели	Не подменяет щёлочность общей жёсткостью

Опора - раздел «Количественный химический анализ» опубликованной программы на 64 часа. Это самостоятельный урок на 45 минут. Подробный сценарий, распределение времени и учебные числовые серии - методическая разработка. Предоставленные данные не выдаются за опыт, проведённый авторами или этим классом.

[Исходная программа](#)

Источники и права на изображения

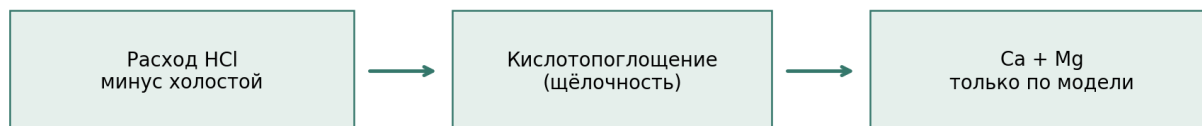
[USGS Water Science School: Hardness of Water](#)

[USGS Water Science School: Alkalinity and Water](#)

Источники проверены 15.10.2026. Числовые наборы - учебные данные, не результаты проведённых авторами опытов. Схемы и графики подготовлены порталом «Школы России». Для микрофотографии отдельно указаны автор и лицензия. Ответы и примечания учителю в PDF выделены отдельно.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати

Что измеряет расход кислоты?



Условие: только гидрокарбонаты Ca/Mg

При NaHCO_3 расход кислоты есть, а Ca/Mg может не быть

Авторская схема границ метода: расход HCl минус холостой опыт даёт щёлочность. Только при заданной гидрокарбонатной модели её пересчитывают в $\text{с}(\text{Ca}+\text{Mg})$ и мг/л как CaCO_3 . Ионы натрия и другие основания могут нарушить такой пересчёт.