



Урок 61. Карбонатная жёсткость

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

Естественно-научный эксперимент · 9 класс

Урок 61 из 64 · 45 минут · Модуль «Количественный химический анализ»

Уровень: Исследовательский для 9 класса: строим модель, проверяем расчёт и объясняем границы вывода. Нужны проценты, среднее и чтение таблиц; новые понятия разобраны на примере.

Вся программа курса

Кислотное титрование воды показало расход реагента. Всегда ли это означает, что известна именно её карбонатная жёсткость?

Проверяемый результат:

Составить расчётный отчёт по учебной модели гидрокарбонатной воды, учесть холостую поправку и отделить щёлочность от общей и карбонатной жёсткости.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и проверяемое предположение

Проба А содержит только $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, проба Б - только NaHCO_3 . Обе могут расходовать кислоту. За 2 минуты найдите, какая проба содержит катион жёсткости, за 3 объясните, почему одинаковый расход HCl сам по себе не доказывает одинаковую жёсткость.

02. Объяснение и разобранный пример

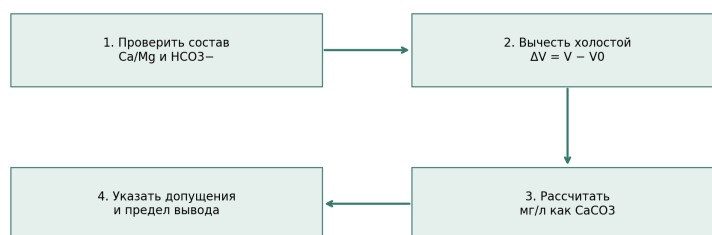
5-14 минут · Понятия, расчёт и ограничения

Жёсткость воды связана прежде всего с Ca^{2+} и Mg^{2+} . Щёлочность характеризует способность нейтрализовать кислоту и может создаваться веществами, не содержащими этих катионов. В общем случае кислотное титрование даёт сведения о щёлочности, а не автоматически о жёсткости. Карбонатную жёсткость сопоставляют с общей жёсткостью и щёлочностью в одинаковых эквивалентных единицах.

В упрощённой модели урока вся щёлочность обусловлена $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Реакция иона: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Для соли: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Один моль HCl соответствует одному молю HCO_3^- ; один моль Ca^{2+} здесь связан с двумя такими ионами.

Отчёт в мг/л в пересчёте на CaCO_3 : $N = c(\text{HCl}) \times \Delta V / V_{\text{пробы}} \times 50\,000$, где $\Delta V = V_{\text{титрования}} - V_{\text{холостой}}$; оба объёма в одинаковых единицах. Число 50 000 мг/моль H^+ получено из $M(\text{CaCO}_3) \approx 100$ г/моль и двух эквивалентов кислоты на моль. Пример: 0,01000 моль/л, $\Delta V = 10,00$ мл, проба 100,0 мл $\rightarrow N = 50,0$ мг/л как CaCO_3 . Это единица пересчёта, не масса осадка в пробе.

От измерения к ограниченному выводу



Сначала проверяем допущения о составе, затем вычитаем холостой расход, рассчитываем эквиваленты и записываем мг/л как CaCO_3 . Без сведений о Ca и Mg титрование не устанавливает жёсткость.



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Первая серия

Повтор	Проба воды, мл	Расход HCl, мл	Холостой, мл
1	100,0	12,20	0,20
2	100,0	12,30	0,20
3	100,0	12,10	0,20

с $\text{HCl} = 0,01000$ моль/л; состав соответствует основной модели. За 3 минуты найдите исправленные расходы и N , за 3 среднее и размах, за 3 напишите отчёт из четырёх строк: метод, результат, единица, допущение, за 2 проверьте, нет ли оценки питьевой безопасности. Критерии: поправка, все повторы, правильная единица и предел вывода.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельный перенос

Независимый анализ дал общую жёсткость 40 мг/л как CaCO_3 , а кислотное титрование - щёлочность 60 мг/л как CaCO_3 . Для этой задачи используйте правило карбонатная жёсткость = меньшее из общей жёсткости и щёлочности в этих единицах. За 3 минуты найдите карбонатную и некарбонатную части, за 3 проверьте применимость основной модели, за 2 объясните возможную роль NaHCO_3 .

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Аргумент и обоснованный вывод

По результату 60 мг/л команда хочет написать «вода безопасна и полезна». За 2 минуты найдите неподтверждённый переход, за 3 перечислите, какие группы свойств не измерялись, за 2 предложите честный заголовок отчёта. Альтернатива - узкий вывод о карбонатной жёсткости в пределах заданного состава.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственное решение

Проба 50,0 мл, с $\text{HCl} = 0,01000$ моль/л, расход 8,20 мл, холодной 0,20 мл. Состав соответствует основной модели. За 5 минут найдите ΔV , N и количество HCl , затраченное на пробу; укажите ограничение вывода. По 1 баллу за элемент.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Готовые расходы HCl, данные о составе модели, калькулятор. Предпосылки: $c = n/V$, коэффициенты реакции, единицы мг/л. Никакой питьевой воды учеников, пробования или домашнего титрования. Все серии учебные. Для основной задачи задано, что щёлочность создают только гидрокарбонаты кальция и магния; иных оснований и кислот нет, конечная точка и методика уже установлены.

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

ΔV : 12,00; 12,10; 11,90 мл. N : 60,0; 60,5; 59,5 мг/л как CaCO_3 . Среднее 60,0, размах 1,0 мг/л. В модели это карбонатная жёсткость; эквивалентная концентрация гидрокарбоната 1,20 ммоль/л, сумма Ca^{2+} и Mg^{2+} 0,600 ммоль/л при заданном составе. Результат не оценивает питьевую безопасность и не разделяет кальций и магний.

Ответ и объяснение практики 2

Карбонатная жёсткость 40 мг/л как CaCO_3 ; некарбонатная $40 - 40 = 0$. Щёлочность больше общей жёсткости на 20 мг/л в эквивалентном пересчёте; предположение «вся щёлочность только от гидрокарбонатов Ca и Mg» не подходит. Возможен вклад гидрокарбоната натрия, но его присутствие этими двумя числами однозначно не доказано.

Опора для обсуждения

Измерение не проверяет микроорганизмы, токсичные примеси и полный химический состав. Даже правильная оценка жёсткости не является заключением о питьевой пригодности. Подходящий заголовок: «Расчёт карбонатной жёсткости учебной гидрокарбонатной пробы». Слово «безопасна» не следует из данных урока.

Ключ и критерии индивидуальной работы

$\Delta V = 8,00$ мл. $N = 0,01000 \times 8,00/50,0 \times 50\,000 = 80,0$ мг/л как CaCO_3 . $n \text{ HCl} = 0,01000 \times 0,00800 = 0,0000800$ моль = 0,0800 ммоль. Вывод зависит от гидрокарбонатной модели состава; питьевую безопасность он не устанавливает.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Определение временной (карбонатной) жёсткости методом ацидометрии	Вычесть фон и рассчитать отчёт	Результат с единицей и допущением состава
Количественный анализ; представление результатов	Сопоставить щёлочность и общую жёсткость	Не подменять ограниченный анализ полным заключением

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: жёсткость воды и её причины

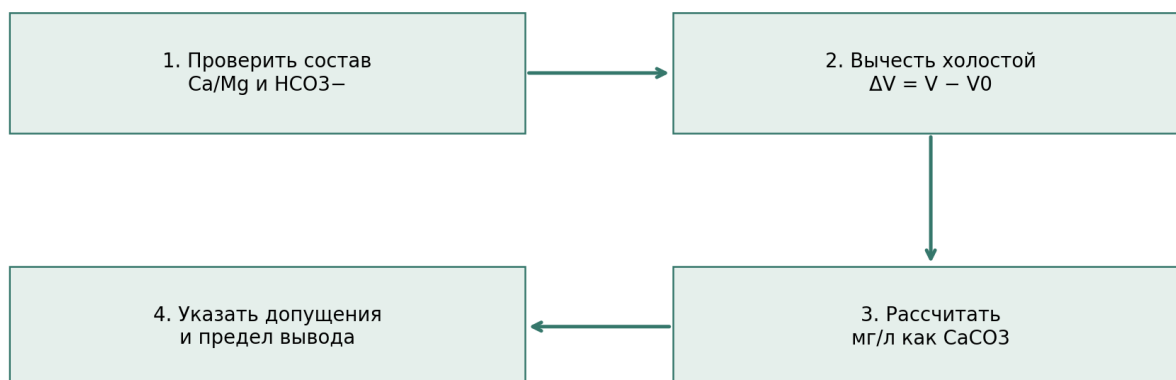
USGS: щёлочность и кислотное титрование

OpenStax: стехиометрия кислотно-основного титрования

Источники проверены 16.10.2026. Числовые наборы - учебные данные, не результаты проведённых авторами опытов. Схемы и графики подготовлены порталом «Школы России». Ответы и примечания учителю в PDF выделены отдельно.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати

От измерения к ограниченному выводу



Сначала проверяем допущения о составе, затем вычитаем холостой расход, рассчитываем эквиваленты и записываем мг/л как CaCO₃. Без сведений о Ca и Mg титрование не устанавливает жёсткость.