



Урок 32. Жёсткость воды

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

Естественно-научный практикум · 8-9 классы

Урок 32 из 64 · 45 минут · Модуль «Эксперименты по химии: ацидометрия и ограничения»

Уровень: базовый исследовательский. 8 класс - работа с опорами; 9 класс - самостоятельная оценка условий и границ вывода.

Вся программа курса

Кислота показала, сколько оснований нейтрализует вода. Всегда ли это то же самое, что её жёсткость? Проверим скрытую предпосылку расчёта.

Проверяемый результат:

Вычислить щёлочность по учебному расходу кислоты, получить карбонатную жёсткость при заданных условиях и оценить вклад неопределённости объёма.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и первоначальное решение

У вод А и Б одинаковый расход кислоты, но А содержит кальций с гидрокарбонатом, а Б - натрий с гидрокарбонатом. Дима объявил обе воды одинаково жёсткими.

1 минута - выделите общий компонент. 2 - по объяснению ниже назовите ионы, связанные с жёсткостью. 2 - запишите вопрос: измерили щёлочность или количество кальция и магния?

02. Объяснение и разобранный пример

5-14 минут · Понятия, модель и проверка

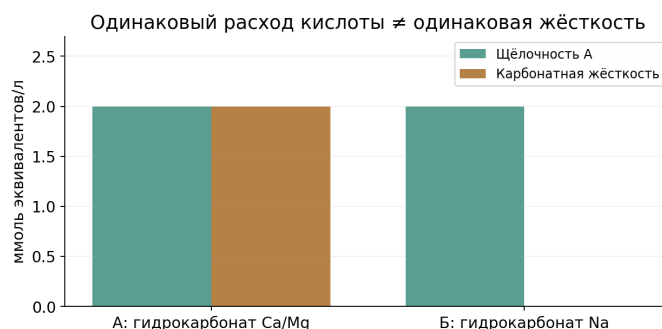
Общая жёсткость воды связана прежде всего с растворёнными Ca^{2+} и Mg^{2+} . Щёлочность - способность нейтрализовать кислоту; в простой модели природной воды её создаёт HCO_3^- . Реакция $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ даёт отношение 1:1. Щёлочность и жёсткость не одно понятие: NaHCO_3 увеличивает первую, но не добавляет Ca^{2+} или Mg^{2+} .

В этой задаче щёлочность А, ммоль эквивалентов/л, равна $c(\text{HCl}) \times V_{\text{кислоты}} / V_{\text{воды}} \times 1000$, если c в моль/л и оба объёма в одинаковых единицах. Эквивалент здесь означает количество однозарядного H^+ , нейтрализуемого пробой. Для выражения как CaCO_3 умножают на 50,0 мг на ммоль эквивалентов: $M(\text{CaCO}_3) = 100,0$ г/моль, на моль приходится два эквивалента.

Если общая жёсткость N уже известна независимо, карбонатную жёсткость в этой упрощённой системе находят как $\min(N, A)$, когда обе величины выражены в одинаковых эквивалентных единицах. Только при явной предпосылке, что вся гидрокарбонатная щёлочность связана с Ca/Mg и $N \geq A$, кислотный расход даёт карбонатную жёсткость А. Другие основания могут нарушить это упрощение.

Разобранный пример: 100,0 мл воды потребовало 4,00 мл HCl $c = 0,0500$ моль/л.

$A = 0,0500 \times 4,00 / 100,0 \times 1000 = 2,00$ ммоль экв/л = 100 мг/л как CaCO_3 . Независимая $N = 3,00$ ммоль экв/л, значит $N_{\text{карб}} = 2,00$. Это не 2,00 ммоль ионов Ca^{2+} на литр: для двухзарядного кальция соответствующее количество было бы 1,00 ммоль/л. 4 минуты - различия; 3 - пример; 2 - единицы.



Учебные значения практики 1. Общая жёсткость задана независимо: А - 3,00; Б - 0,00 ммоль экв/л. Используется упрощённое правило $\min(N, A)$.



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Работа с первой серией

Учебная ацидометрия: по 100,0 мл воды, HCl 0,0500 моль/л; холостой расход принят равным нулю, полный конец определения щёлочности задан методикой. В А щёлочность связана с Ca/Mg; в Б - только с NaHCO₃. Независимые Н даны в тех же эквивалентных единицах.

Вода	Расходы HCl, мл	Нобщ, ммоль экв/л
А	3,90; 4,00; 4,10	3,00
Б	3,90; 4,00; 4,10	0,00

2 минуты - средние; 3 - найдите А обеих проб; 3 - вычислите $N_{карб} = \min(N, A)$; 3 - опровергните вывод Димы числами. 8 класс получает min как «меньшее из двух»; 9 класс объясняет химическое различие А и Б. Результат: таблица среднее/А/ $N_{карб}$ и два предложения. Критерии: единицы, обе пробы, разделение понятий.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельное решение

Для пробы А средний расход 4,00 мл. В учебной оценке итоговая неопределённость расхода задана $\pm 0,10$ мл; с и объём воды считаем точными. Это оценка одного вклада, не полная лабораторная неопределённость.

Величина	Значение
Vкислоты	4,00 $\pm$ 0,10 мл
c(HCl)	0,0500 моль/л
Vводы	100,0 мл
Нобщ	3,00 ммоль экв/л

1 минута - условия; 3 - оцените А на границах 3,90 и 4,10 мл; 2 - найдите абсолютную и относительную неопределённости А; 2 - решите, изменится ли выбор min при этих границах.

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Вывод, который можно обосновать

2 минуты - аргументируйте пользу простого кислотного теста. 3 - возразите против утверждения «известна щёлочность - известна питьевая безопасность», используя состав Б. 2 - сформулируйте границы отчёта.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственный ответ

50,0 мл модельной воды потребовало 3,00 мл HCl $c = 0,0200$ моль/л. Независимая общая жёсткость 2,00 ммоль экв/л; модель min применима. За 3 минуты найдите А, $N_{карб}$, пересчёт А как CaCO₃ и одно ограничение. 1 минута - ключ, 1 - исправление.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Калькулятор, таблица условных проб воды и схема. Никакие пробы не пробуют, не кипятят и не титруют. Предпосылки: количество вещества, молярная концентрация, кислота реагирует с гидрокарбонатом. 8 класс получает формулу щёлочности и перевод в эквивалент CaCO_3 ; 9 класс проверяет, когда её можно связать с карбонатной жёсткостью. Все результаты учебные и не предназначены для заключения о питьевой безопасности.

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 материалы для текущего занятия включены. Вариант без регистрации: ученические листы PDF и доска. Минуты включают чтение, запись и переходы. Ответы показывайте после самостоятельной попытки. В конце соберите индивидуальную работу: 0-1 балл - вернуться к примеру, 2-3 - уточнить пропущенное звено, 4 - объяснить границу вывода. Это обратная связь, не обязательная школьная отметка.

Разбор практики 1 и критерии

Средние по 4,00 мл; А обеих вод 2,00 ммоль экв/л, или 100 мг/л как CaCO_3 . Для А $\text{Hкарб} = \min(3,00; 2,00) = 2,00$; для Б $\min(0; 2,00) = 0$. Равная щёлочность не означает равную жёсткость. Выражение «как CaCO_3 » задаёт единицу пересчёта и не доказывает присутствие растворённых молекул CaCO_3 .

Ответ и объяснение практики 2

А на границах 1,95 и 2,05 ммоль экв/л. Итог $2,00 \pm 0,05$ ммоль экв/л; относительная оценка $0,05/2,00 \times 100\% = 2,5\%$. Как CaCO_3 : $100 \pm 2,5$ мг/л для этого вклада. Обе границы ниже $\text{H} = 3,00$, поэтому Hкарб остаётся ограниченной А. Неопределённости с, отбора и конца титрования здесь намеренно не учтены.

Опора для обсуждения

Ацидометрия даёт полезную количественную характеристику, но не определяет все ионы, микроорганизмы и загрязнители. Даже жёсткость сама не является полной оценкой безопасности. Корректный отчёт называет метод, показатель и предпосылки, не даёт рекомендаций пить неизвестную воду.

Ключ и критерии индивидуальной работы

$A = 0,0200 \times 3,00/50,0 \times 1000 = 1,20$ ммоль экв/л. $\text{Hкарб} = \min(2,00; 1,20) = 1,20$ ммоль экв/л. $A = 60,0$ мг/л как CaCO_3 . Ограничение: это модель щёлочности/карбонатной жёсткости, не проверка питьевой безопасности и не полное определение состава. Четыре элемента по 1 баллу.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Временная (карбонатная) жёсткость методом ацидометрии	Рассчитывает показатель с явными предпосылками	Не отождествляет щёлочность и общую жёсткость
Количественный химический анализ	Переводит молярный расход в эквивалентные единицы	Правильные единицы и коэффициент 50
Оценка достоверности	Находит границы по расходу	$\pm 0,05$ и 2,5% для заданного вклада

Опора - раздел «Эксперименты по химии» опубликованной программы на 64 часа. Урок конкретизирует исходные темы и занимает 45 минут. Сценарий, распределение времени и числовые имитации - методическая разработка. Предметные операции с нагревом и аналитическими реактивами заменены безопасным анализом схем и готовых данных; это не отчёт о проведённом опыте.

[Исходная программа](#)

Источники и права на изображения

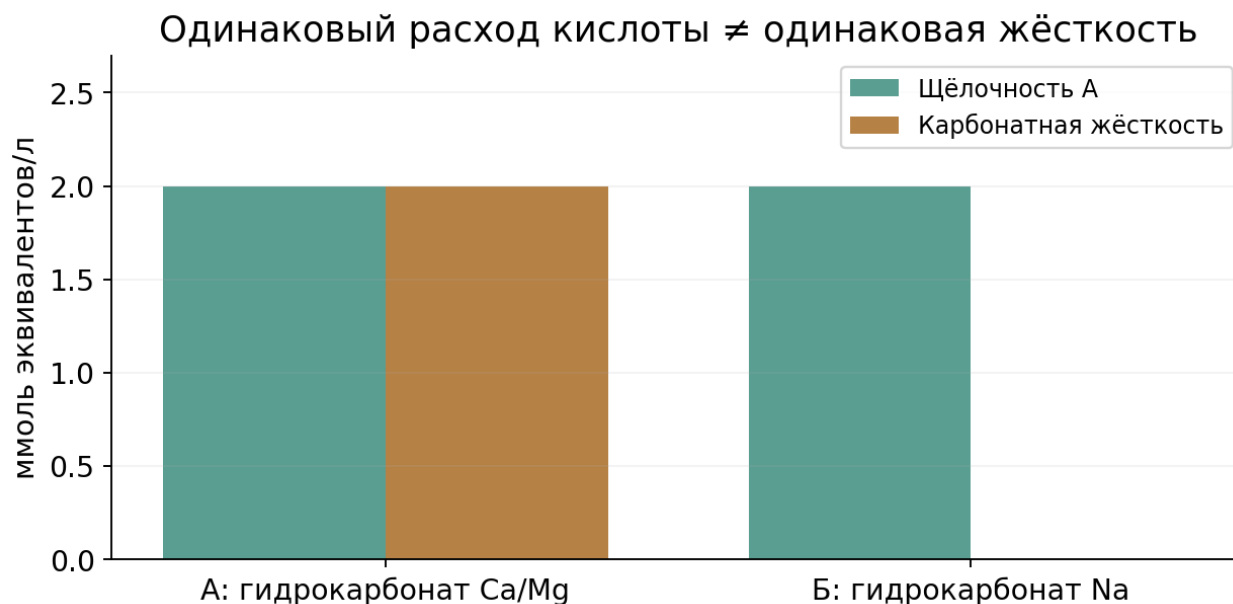
[USGS: жёсткость воды](#)

[USGS: щёлочность и вода](#)

[USGS: химические характеристики природной воды, карбонатная жёсткость](#)

Источники проверены 15.10.2026. Все числовые серии явно заданы как учебные модели; их нельзя описывать как результаты проведённых авторами опытов. Оригинальные схемы: портал «Школы России», для этого урока. Они не являются фотографиями. Ответы и примечания учителю в PDF вынесены в отдельную часть.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати



Учебные значения практики 1. Общая жёсткость задана независимо: А — 3,00; Б — 0,00 ммоль экв/л. Используется упрощённое правило $\min(H, A)$.