УЧИТЕЛЯМ · ХИМИЯ · 11 КЛАСС

Химия водоподготовки: от мутной реки до воды в кране

Урок раздела «Химия и жизнь»: какие процессы идут на станции водоподготовки — коагуляция коллоидов, фильтрование и сорбция, обеззараживание хлором, озоном и ультрафиолетом. Ученики считают дозы коагулянта и хлора, объясняют влияние pH на хлорирование через смещение равновесия и читают государственную статистику качества воды на пути от источника к крану.

Химия · 11 класс | 45 минут | план урока

План урока

Связь с программой

Предмет, класс	Тема программы
Химия, 11	«Раздел «Химия и жизнь. Межпредметные связи»: «Роль химии в обеспечении экологической, энергетической и пищевой безопасности, развитии медицины. Понятие о научных методах познания веществ и химических реакций»»
Химия, 11	««Теоретические основы химии»: «Понятие о дисперсных системах. Истинные и коллоидные растворы…»; «Обратимые реакции. Химическое равновесие. Факторы, влияющие на состояние химического равновесия. Принцип Ле Шателье»; «Реакции ионного обмена. Окислительно-восстановительные реакции»; расчётные задачи: «Расчеты по уравнениям химических реакций…»»

ПРЕДМЕТНЫЕ
Объяснять химические основы стадий водоподготовки: коагуляция коллоидных частиц, фильтрование и адсорбция, окисление и обеззараживание; записывать уравнения реакций коагулянта с гидрокарбонатами, хлора с водой, гипохлорита с восстановителями; объяснять влияние pH на равновесие $HClO \rightleftarrows H^+ + ClO^-$; рассчитывать массы реагентов и дозы.

МЕТАПРЕДМЕТНЫЕ
Сравнивать технологические решения по критериям (надёжность, последействие, побочные продукты, требования к воде); читать таблицы государственной статистики и проверять, корректно ли сравнивать данные.

ЛИЧНОСТНЫЕ
Понимать роль химии в обеспечении безопасности питьевой воды; критически относиться к мифам о «вредном хлоре» и «волшебных» способах очистки.

Оборудование: Схема станции водоподготовки (водозабор → реагенты → смеситель и камера хлопьеобразования → отстойник → фильтры → обеззараживание → резервуар чистой воды → сеть), раздаточные данные задач 1–3, калькуляторы; реактивы и посуда для опытов — ниже. Опыт с коагуляцией сульфатом алюминия и задача об остаточном хлоре по длине сети — на странице «Вода на уроках: 10–11 классы»; путь сточной воды — игра «Очистные сооружения».

Ход урока

0–4 **Мотивация**

Стакан мутной речной воды и стакан воды из крана: какие реакции нужны, чтобы одна стала другой? Факт: в 2024 году 12,65 % водопроводов в России не соответствовали санитарным требованиям, в том числе 6,32 % — из-за отсутствия необходимого комплекса очистных сооружений и 1,65 % — из-за отсутствия обеззараживающих установок.

4–14 **Осветление**
Природная вода как дисперсная система: взвесь, коллоидные частицы глины и гуминовых веществ (несут заряд, отталкиваются и не оседают), истинный раствор солей. Коагулянт — соль алюминия или железа: $Al^{3+} + 3HCO_3^- \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$, хлопья захватывают частицы. Отстаивание, фильтрование через песок, адсорбция на угле (опыт 1).

14–24 **Задача 1**
Расчёт суточной массы коагулянта, расхода щёлочности, массы осадка и количества углекислого газа. Что делать, если щёлочности воды не хватает.

24–34 **Обеззараживание**
Хлор: $Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HCl + HClO$; $HClO \rightleftarrows H^+ + ClO^-$ — при росте pH равновесие смещается вправо (принцип Ле Шателье), а HClO действует сильнее ClO^-. Хлорамины (связанный хлор): $NH_3 + HClO \rightarrow NH_2Cl + H_2O$. Озон и ультрафиолет: сильное действие, но без последействия. Остаточный свободный хлор в сети — 0,3–0,5 мг/л. Опыт 2: хлорпоглощаемость.

34–41 **Задача 3**
Государственная статистика за 2024 год: доля проб, не соответствующих нормативам, у источников, у водопроводов, в сети и у потребителя. Что говорят эти числа о работе станций и сетей — и что сказать по ним нельзя.

41–45 **Итог и домашнее задание**
Класс восстанавливает схему станции и подписывает химическую реакцию или процесс на каждой стадии. Домашнее задание; задача 2 — дома.

Вопросы классу и ожидаемые ответы

Почему мелкие частицы глины не оседают сами, а после добавления коагулянта оседают?
Ответ: Это коллоидные частицы: они очень мелкие и несут одноимённый заряд, поэтому отталкиваются и не слипаются. Катионы Al^{3+} нейтрализуют заряд, а образующиеся хлопья $Al(OH)_3$ захватывают частицы — крупные хлопья оседают и задерживаются фильтрами.

Зачем на станции следят за щёлочностью воды при коагуляции?
Ответ: Гидроксид алюминия образуется за счёт гидрокарбонат-ионов воды. Если их мало, хлопья образуются плохо и часть алюминия остаётся в воде растворённой; тогда воду подщелачивают — добавляют соду или известь.

Почему хлорирование хуже работает при высоком pH?
Ответ: В равновесии $HClO \rightleftarrows H^+ + ClO^-$ рост pH (связывание H^+) смещает равновесие вправо: доля хлорноватистой кислоты, более сильного обеззараживающего агента, уменьшается, растёт доля менее активного гипохлорит-иона.

Чем озон и ультрафиолет лучше и хуже хлора?
Ответ: Озон — сильный окислитель: улучшает вкус и запах, обесцвечивает воду, окисляет железо и марганец, обеззараживает; ультрафиолет обеззараживает без реагентов. Но оба действуют только в момент обработки: озон быстро распадается до кислорода ($2O_3 \rightarrow 3O_2$). Поэтому для защиты воды в трубах добавляют небольшую дозу хлора.

Что такое остаточный хлор и почему его норматив задан диапазоном?
Ответ: Это запас свободного хлора, который защищает воду от микроорганизмов на пути по трубам: 0,3–0,5 мг/л в распределительной сети. Меньше — защита недостаточна; больше — заметен хлорный запах и вкус.

Почему перед обеззараживанием воду обязательно осветляют?
Ответ: Взвесь «прячет» микроорганизмы от обеззараживающего агента, а органические вещества расходуют хлор и при хлорировании могут давать побочные соединения. Поэтому сначала удаляют мутность и органику, потом обеззараживают.

Домашнее задание: 1) Узнайте на сайте водоканала своего города (или по открытым данным), из какого источника и по какой схеме готовят воду для вашего района: какие реагенты, какой способ обеззараживания.

Нарисуйте схему и подпишите уравнение реакции на каждой химической стадии. 2) Решите задачу 2. 3) Рассчитайте суточный расход гипохлорита натрия NaClO для станции из задачи 2 при дозе 1,5 мг/л в пересчёте на Cl_2, если 1 моль NaClO по окислительной способности соответствует 1 моль Cl_2 (ответ: около 79 кг).

Опыты

Ничего не пробовать на вкус, посуду — на поднос, после работы вымыть руки. Особые меры — в каждом опыте.

10–11 класс · 15 минут

Опыт 1. Песок и уголь: что задерживает фильтр

Нужно: 2 пластиковые воронки (или обрезанные бутылки горлышком вниз), вата, промытый речной песок, гранулированный активированный уголь (или растёртые таблетки), 3 стакана; «грязная вода»: вода с глиной, подкрашенная очень разбавленным раствором метиленового синего; белый лист бумаги.

1. В горло каждой воронки положить комок ваты. В первую насыпать слой песка высотой 4–5 см, во вторую — слой угля такой же высоты поверх тонкого слоя песка.
2. Пропустить через каждую воронку по 50 мл перемешанной «грязной воды», собирая фильтраты в стаканы.
3. Сравнить фильтраты с исходной водой на фоне белого листа: прозрачность и окраску.
4. Фильтрат после песка пропустить ещё раз через угольный фильтр и снова сравнить.

Что увидим и почему: Песок задерживает частицы глины — фильтрат прозрачный, но остаётся синим: растворённый краситель проходит. Уголь задерживает и краситель: окраска заметно бледнеет или исчезает — молекулы удерживаются на огромной поверхности пор угля (адсорбция). На станциях так же: песчаные фильтры задерживают хлопья после коагуляции, угольные — растворённые органические вещества, запахи и привкусы. Ни песок, ни уголь не обеззараживают воду.

⚠ Техника безопасности

- Таблетки угля растирает учитель в ступке, накрыв её салфеткой: угольная пыль пачкает одежду и раздражает дыхательные пути.
- Метиленовый синий оставляет стойкие пятна — работать в перчатках и халате.
- Фильтрат не пить: опыт не делает воду безопасной. Отработанные песок и уголь — в мусорное ведро, жидкость — в слив.

10–11 класс | 15 минут

Опыт 2. Хлорпоглощаемость: куда «исчезает» хлор

Нужно: Раствор гипохлорита натрия с массовой долей около 0,1 % (учитель разбавляет бытовой отбеливатель на основе гипохлорита натрия), 1 %-й раствор аскорбиновой кислоты (модель веществ-восстановителей в природной воде), раствор иодида калия, крахмальный клейстер, 3 стакана с 100 мл дистиллированной или отстоянной воды, пипетки, мерный шприц.

1. Подписать стаканы: А — вода и гипохлорит; Б — вода, 0,5 мл раствора аскорбиновой кислоты и гипохлорит; В — только вода (контроль реактивов).
2. В стаканы А и Б добавить по 1 мл раствора гипохлорита, перемешать, подождать 2–3 минуты.
3. Во все стаканы добавить по 1 мл раствора иодида калия и по несколько капель крахмального клейстера; сравнить окраску.
4. В стакан Б по каплям при перемешивании добавлять раствор гипохлорита, считая капли, пока не появится устойчивая синяя окраска.

Что увидим и почему: А — синее окрашивание: активный хлор сохранился и окислил иодид до иода, который даёт с крахмалом синий цвет ($ClO^- + 2I^- + H_2O \rightarrow I_2 + Cl^- + 2OH^-$). Б — окраски нет: гипохлорит израсходован на окисление аскорбиновой кислоты ($C_6H_8O_6 + ClO^- \rightarrow C_6H_6O_6 + Cl^- + H_2O$). В — окраски нет. Синий цвет в Б появляется только после того, как восстановитель израсходован: число капель — мера хлорпоглощаемости модели. Вывод: доза хлора = хлорпоглощаемость + остаточный хлор; на этом основано пробное хлорирование (задача 2), а реакция с иодидом — основа иодометрического определения остаточного хлора.

⚠ Техника безопасности

- Раствор гипохлорита готовит учитель в перчатках и очках. Отбеливатель нельзя смешивать с кислотами и средствами, содержащими кислоту: выделяется ядовитый хлор.
- Работать в очках; при попадании раствора на кожу или в глаза — сразу промыть проточной водой и сообщить учителю.
- Растворы не пробовать; отработанные растворы слить в склянку для слива, посуду вымыть.

Задания с данными

Ключи раскрываются по кнопке — задания удобно показывать на доске.

Задание 1 учебные данные

Задача 1. Сколько коагулянта нужно станции

Учебные данные. Станция обрабатывает 50 000 м³ речной воды в сутки. Доза безводного сульфата алюминия — 40 мг/л, щёлочность исходной воды — 1,2 ммоль/л (по HCO_3^-). $Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 6CO_2\uparrow$. $M(Al_2(SO_4)_3) = 342{,}1$ г/моль; $M(Al(OH)_3) = 78{,}0$ г/моль; $M(CO_2) = 44{,}0$ г/моль.

1. Сколько сульфата алюминия расходует станция за сутки?
2. Сколько ммоль/л гидрокарбонат-ионов расходует такая доза? Хватит ли щёлочности воды? Что делать, если щёлочность исходной воды — 0,5 ммоль/л?
3. Сколько гидроксида алюминия (сухое вещество) образуется за сутки? Что станция делает с осадком?
4. Сколько мг/л углекислого газа образуется и как это скажется на pH воды?

Ключ

1. 40 мг/л = 40 г/м³; 40 · 50 000 = 2 000 000 г = 2,0 т в сутки.
2. n(соли) = 40 : 342,1 ≈ 0,117 ммоль/л; HCO_3^- расходуется в 6 раз больше — около 0,70 ммоль/л. Остаётся 1,2 – 0,70 = 0,50 ммоль/л — хватает. При 0,5 ммоль/л не хватит: воду подщелачивают (сода, известь), иначе хлопья не образуются полностью и в воде остаётся алюминий.
3. $Al(OH)_3$: 2 · 0,117 = 0,234 ммоль/л · 78,0 ≈ 18,2 мг/л; 18,2 г/м³ · 50 000 ≈ 910 кг ≈ 0,91 т в сутки (плюс задержанная глина). Осадок из отстойников и промывную воду фильтров обезвоживают и вывозят на утилизацию.
4. CO_2: 6 · 0,117 ≈ 0,70 ммоль/л · 44,0 ≈ 31 мг/л. Углекислый газ — кислотный оксид, а гидрокарбонатов стало меньше, поэтому pH воды после коагуляции снижается.

Задание 2 учебные данные

Задача 2. Пробное хлорирование: выбираем дозу

Учебные данные. В пять склянок с водой после фильтров добавили разные дозы хлора и через 30 минут измерили свободный остаточный хлор. Норматив свободного остаточного хлора в распределительной сети — 0,3–0,5 мг/л.

Результаты пробного хлорирования

Доза хлора, мг/л	Свободный остаточный хлор через 30 мин, мг/л
0,5	0,0
1,0	0,1
1,5	0,45
2,0	0,9
2,5	1,4

1. Оцените хлорпоглощаемость воды — сколько хлора расходуется на реакции с веществами в воде.
2. Какую дозу выбрать, чтобы остаточный хлор в воде, подаваемой в сеть, был в пределах норматива для сети?
3. Сколько хлора станция расходует в сутки при подаче 50 000 м³ и выбранной дозе?
4. Почему в половодье и летом хлорпоглощаемость обычно выше?

Ключ

1. При дозах 1,5–2,5 мг/л доза − остаток = 1,05; 1,1; 1,1 мг/л — хлорпоглощаемость около 1,1 мг/л.
2. 1,5 мг/л: остаток 0,45 мг/л входит в диапазон 0,3–0,5. (На практике дозу уточняют с учётом длины сети: в дальних точках остаток должен оставаться не ниже нормы.)
3. 1,5 г/м³ · 50 000 м³ = 75 000 г = 75 кг в сутки.
4. В половодье в реках больше взвеси и органических веществ, летом развиваются водоросли; хлор расходуется на их окисление, а также на связывание аммония.

Задание 3

Задача 3. Качество воды на пути к крану

Госдоклад Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году», с. 37–39, 48–49. «Водопровод» здесь — вода перед поступлением в распределительную сеть. Это разные наборы проб: их отбирают в разных точках и в разном количестве.

Доля проб, не соответствующих гигиеническим нормативам, 2024 год, %

Где отобраны пробы	Санитарно-химические показатели	Микробиологические показатели
Источники централизованного водоснабжения	24,51	4,28
Водопроводы (перед подачей в сеть)	17,34	2,54
Распределительная сеть	11,64	2,87
Конечный потребитель	11,01	2,68

1. Во сколько раз доля нестандартных проб по санитарно-химическим показателям у водопроводов меньше, чем у источников? Почему не до нуля?
2. Почему доля проб с микробиологическими нарушениями в сети больше, чем у водопроводов перед подачей в сеть?
3. Можно ли по таблице утверждать, что по санитарно-химическим показателям вода «очищается» в трубах (17,34 → 11,64 %)?
4. Какие меры из урока прямо уменьшили бы числа в таблице?

Ключ

1. 24,51 : 17,34 ≈ 1,4 раза. Это согласуется с тем, что водоподготовка улучшает воду (у водопроводов пробы берут после очистки), но помним оговорку из вопроса 3: выборки разные. Не до нуля — часть водопроводов не имеет нужного комплекса очистных сооружений (6,32 % всех водопроводов) или обеззараживающих установок (1,65 %), а часть показателей (например, природные соли) обычной схемой не убирается.
2. Вероятная причина — вторичное загрязнение в сети: аварии и ремонты, подсос загрязнённой воды при перепадах давления, застой в тупиковых участках, биоплёнка на стенках труб, недостаток остаточного хлора.
3. Нет. Это разные выборки: пробы у водопроводов и в сетях отбирают в разных системах, населённых пунктах и в разном количестве, поэтому средние по стране доли нельзя выстраивать в цепочку «до — после». Проследить изменение воды по этапам можно только внутри одной системы водоснабжения.
4. Строительство и модернизация очистных сооружений и обеззараживающих установок; поддержание остаточного хлора; промывка и ремонт сетей, ликвидация тупиков; защита источников (зоны санитарной охраны).

11 класс | 20 минут | лист + ключ

Рабочий лист «Рабочий лист: химия водоподготовки»

Норматив свободного остаточного хлора в распределительной сети — 0,3–0,5 мг/л. Данные в заданиях 3–4 учебные.

▼ **Источники фактов и чисел (13)**

- в 2024 году 12,65 % водопроводов не соответствовали санитарно-эпидемиологическим требованиям (в 2015 году — 16,57 %); из-за отсутствия необходимого комплекса очистных сооружений — 6,32 % (в 2019 году — 7,92 %), из-за отсутствия обеззараживающих установок — 1,65 % (в 2019 году — 2,66

%) — Госдоклад Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ в 2024 году», с. 37–38

- доля проб, не соответствующих гигиеническим нормативам, 2024: источники централизованного водоснабжения — 24,51 % (санитарно-химические), 4,28 % (микробиологические); водопроводы перед подачей в сеть — 17,34 % и 2,54 %; распределительная сеть — 11,64 % и 2,87 %; у конечного потребителя — 11,01 % и 2,68 % — Госдоклад Роспотребнадзора за 2024 год, с. 37–39, 48–49 (значение 2,68 % — также C:\Users\ivanm\Desktop\Work\russia.json, national.micro)
- норматив свободного остаточного хлора — 0,3–0,5 мг/л в воде распределительной сети; при избытке хлора заметен хлорный запах; различают свободный и связанный хлор (хлорамины) — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- коагулянт — чаще соль алюминия или железа; частицы и окрашивающие органические вещества слипаются в хлопья, которые оседают и задерживаются фильтрами — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- озон быстро распадается на кислород и защиты в трубах не даёт, его сочетают с небольшой дозой хлора; озон и УФ обеззараживают в момент обработки; мутность и взвесь «прячут» микроорганизмы — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- при хлорировании органика может давать побочные соединения; высокая окисляемость повышает расход хлора; хлор тратится на связывание аммония — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- в половодье в реках больше взвеси и органики — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- хлорноватистая кислота HClO — более сильный обеззараживающий агент, чем гипохлорит-ион; хлорирование ведут при pH, благоприятном для её образования (ВОЗ рекомендует pH предпочтительно ниже 8) — dwqr.scot
- часть алюминия может попадать в воду из коагулянта при неточном дозировании; станции регулируют дозу коагулянта и pH (норматив алюминия в справочнике не подтверждён — не приводится) — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- $M(Al_2(SO_4)_3) = 342{,}1$ г/моль; $M(Al(OH)_3) = 78{,}0$ г/моль; $M(CO_2) = 44{,}0$ г/моль; $M(Cl_2) = 70{,}9$ г/моль; $M(NaClO) = 74{,}4$ г/моль — учебная константа
- параметры опыта 1: слой песка и угля 4–5 см, по 50 мл «грязной воды» — параметры учебного опыта (подобраны для урока)
- параметры опыта 2: гипохлорит натрия около 0,1 %, аскорбиновая кислота 1 % (0,5 мл), стаканы по 100 мл воды, по 1 мл реактивов, выдержка 2–3 минуты — параметры учебного опыта (подобраны для урока)
- расчёты: 24,51 : 17,34 ≈ 1,4 раза; домашнее задание (доза 1,5 мг/л и подача 50 000 м³ в сутки — из учебной задачи 2): 75 кг Cl_2 = 75 000 : 70,9 ≈ 1058 моль, $NaClO \approx 1058 \cdot 74{,}4 \approx 78\,700$ г ≈ 79 кг — расчёт по данным Госдоклада и молярным массам