

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Ю.Ю. Мирошниченко, П.В. Абрамова,
К.И. Мачехина, В.В. Смирнова**

ПРОЕКТНЫЕ И СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

*Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2022

УДК 54+546(076.5)

ББК 24+24.12я73

П79

Мирошниченко Ю.Ю.

П79 Проектные и ситуационные задания по общей и неорганической химии : учебно-методическое пособие / Ю.Ю. Мирошниченко, П.В. Абрамова, К.И. Мачехина, В.В. Смирнова ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 99 с.

ISBN 978-5-4387-1069-1

В пособии представлены ситуационные задачи и проектно-исследовательские работы, которые позволяют студентам сформировать химическое и экологическое мышление. Изложены основные теоретические сведения о методах обнаружения неорганических веществ. Для выполнения проектно-исследовательских работ приведены методики качественного и количественного анализа неорганических веществ и примеры мини-проектов.

Пособие является составной частью учебно-методического комплекса по химии. Предназначено для углубленного изучения химии на первом курсе студентами бакалавриата и специалитета.

УДК 54+546(076.5)

ББК 24+24.12я73

Рецензенты

Доктор химических наук, профессор ТГУ

А.А. Бакибаев

Кандидат технических наук, доцент ТГАСУ

А.А. Цхе

ISBN 978-5-4387-1069-1

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2022

© Мирошниченко Ю.Ю., Абрамова П.В.,
Мачехина К.И., Смирнова В.В., 2022

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2022

ПРЕДИСЛОВИЕ

Особенностью обучения в Томском политехническом университете является подготовка будущих инженеров по большому количеству различных направлений (29 направлений бакалавриата и 9 направлений специалитета), например «Техносферная безопасность», «Приборостроение», «Нефтегазовое дело», «Химическая технология» и др. Это ставит перед преподавателем сложную задачу выявления междисциплинарной связи между преподаваемой естественно-научной базовой дисциплиной «Химия» и будущей профессиональной деятельностью студентов. Для решения этой задачи преподавателю необходимо применять новые педагогические приемы и технологии, которые требуют изменений в образовательной деятельности и преобразования учебного процесса, с целью мотивации студентов к изучению дисциплины. Одним из таких приемов является решение комплексных задач, которые показывают связь химии с другими дисциплинами: математикой, материаловедением, физикой, экологией, геологией, минералогией, безопасностью жизнедеятельности и др. Такой подход мотивирует студентов к углубленному изучению химии.

Целью разработки данного пособия является применение нового подхода к изучению химии, основанного на решении ситуационных задач и выполнении проектно-исследовательских работ по химии.

Основные задачи пособия:

- внедрить в учебный процесс нестандартные виды заданий (ситуационные задачи и проектно-исследовательские работы) для выявления талантливых и одаренных студентов, интересующихся углубленным изучением общей и неорганической химии;
- сформировать навыки поиска, анализа и систематизации информации из достоверных источников (реферативных баз данных), необходимые при решении ситуационных задач;
- ознакомить с теоретическими основами методов идентификации ионов, входящих в состав неорганических веществ;
- сформировать навыки постановки целей и задач проектно-исследовательской работы, проведения эксперимента с использованием методик, представленных в данном пособии, написания выводов и оценки практической значимости выполненных исследований.

Пособие состоит из трех глав. В первой главе приведены ситуационные задачи и проектно-исследовательские задания по общей и неорганической химии, которые охватывают следующие разделы: основные понятия и законы химии, строение вещества, закономерности протекания химических процессов, дисперсные системы, химия элементов.

Во второй главе представлены теоретические основы и проектно-исследовательские работы по качественному и количественному анализу природных объектов (титриметрический, фотоколориметрический, экстракционный методы). Стандартные методики, представленные в этой главе, были описаны авторами в учебном пособии [1]. В третьей главе приведены примеры возможных мини-проектов, которые являются универсальными и нацелены на практическое решение важных исследовательских и профессиональных задач.

Пособие предназначено для углубленного изучения химии на первом курсе студентами бакалавриата и специалитета химических и нехимических направлений.

ВВЕДЕНИЕ

Основу инженерного образования во многом определяют фундаментальность и целостность знаний, приобретенных в процессе обучения. Теоретическая и практическая подготовка инженеров обеспечивает целостное восприятие естественно-научной картины мира, раскрывает сущность фактов и явлений, а также взаимосвязь междисциплинарных знаний из различных областей науки и практики.

В последнее время студенты часто задают вопрос о роли изучаемых дисциплин на первом курсе, в том числе и химии, в их будущей профессиональной деятельности. Химия является одной из фундаментальных естественно-научных дисциплин. Она описывает мир на атомно-молекулярном уровне строения материи, рассматривает связь между строением веществ, их свойствами и взаимодействием. Такой подход важен для инженера любой специальности, поскольку ему придется иметь дело с различными веществами, материалами и химическими реакциями. Достижения в области химии обеспечивают получение новых материалов, используемых в атомной и космической технике, в радиоэлектронике и компьютерной технике, при производстве сверхчистых веществ, современных строительных материалов и т. п.

Умение применять знания фундаментальных и профессиональных наук является личностным достижением обучающегося, а его будущие профессиональные достижения связаны со способностью саморазвиваться на протяжении всей жизни.

Чтобы вызвать интерес к предмету и повысить эффективность обучения студентов, необходима мотивация. Для этого применяют технологии «проблемно ориентированного» и «проектно-организованного» обучения.

В проблемно ориентированном обучении можно использовать ситуационные (контекстные) задачи. Они включают информацию «из жизни» и направлены на применение полученных теоретических межпредметных знаний. Такой подход при изучении материала позволит сформировать у студента умение выделять главное, анализировать и структурировать полученную информацию, делать выводы.

Проектно-организованное обучение развивает у студентов учебно-исследовательские компетенции. Метод проектов – один из педагогических приёмов мотивации к исследовательской деятельности студентов на первом курсе, который охватывает самые разные способности обучающегося. Например, подбирать эффективные методы решения задач, планировать, осваивать методики выполнения эксперимента (используя известные образцы, алгоритмы и схемы), анализировать, обобщать и

критически оценивать полученную информацию и делать выводы, представлять работу в форме краткого устного сообщения или тезисов докладов [2].

В данном пособии представлены различные ситуационные и проектные задания по химии, которые могут вызвать интерес к предмету и расширить кругозор при освоении теоретического материала.

Глава 1. СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ И ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАНИЯ

1.1. Ситуационные задачи по общей и неорганической химии

В данном разделе представлены вопросы и задания, в основе которых лежат ситуации из жизни. При составлении ситуационных задач были изучены методики составления и примеры подобных заданий [3, 4]. Для решения химических ситуационных задач необходим комплекс знаний о строении и свойствах, о методах получения и применения неорганических веществ. Данные задания можно использовать как на аудиторных занятиях, так и для самостоятельной работы студентов.

Задача 1. Краски и пигменты

Многоцветная настенная живопись, найденная в Альтамирской пещере в Испании, свидетельствует о том, что знакомство человека с красками и пигментами состоялось в глубокой древности. За 2000 лет до н. э. египтяне были знакомы с тремя красными пигментами: киноварью, прокалённой охрой и красным пигментом на органической основе, при исследовании оказавшимся пурпуром. Кроме красных пигментов, египтянам были также известны синие и зелёные пигменты на основе силикатов меди.

Русские мастера XI в. располагали уже большим ассортиментом пигментов: свинцовый сурик, свинцовые белила, сажа, медянка, естественный ультрамарин и даже пигменты на органической основе.

Вопросы и задания

1. Что называют пигментами?
2. Напишите формулы перечисленных в тексте соединений и названия соединений по номенклатуре ИЮПАК и укажите их физические свойства.
3. Какой существует метод получения любого пигмента?
4. В процессе реставрации старых картин существует стадия их обработки пероксидом водорода. При действии сероводорода из воздуха на свинцовые белила образуется черный сульфид свинца, который при взаимодействии с пероксидом водорода, переходит в белый сульфат свинца. Так восстанавливается изначальный цвет краски. Напишите уравнения соответствующих реакций.

Задача 2. Рождение химической номенклатуры

В средние века единого символического аппарата не было – алхимики изъяснялись «туманным» языком, используя свои названия и символы, известные только посвященным. Названия веществам давались хаотич-

но, в основном первооткрывателями. Химия как наука не могла дальше развиваться без единой системы названий веществ. В 1798 г. Антуан Лавуазье предложил первую упрощенную химическую номенклатуру. В 1816 г. шведский химик Йёнс Якоб Берцелиус ввел латинские символы для обозначения химических элементов и первые химические формулы соединений. А в 1834 г. немецкий химик Иоганн Деберейнер впервые составил уравнение реакции с использованием символов химических элементов.

Вопросы и задания

1. Какую систему записи символов химических элементов и их соединений предложили французские химики А. Лавуазье и К. Бертолле в 1787 г.? Приведите примеры.

2. Какую номенклатуру используют в настоящее время для названий химических соединений? Что лежит в основе этой номенклатуры? Напишите правила названия соединений согласно этой номенклатуре. Приведите примеры.

3. До настоящего времени дошли тривиальные названия многих веществ. Приведите пять примеров и заполните таблицу.

Тривиальное название	Формула вещества	Кем и когда было предложено данное название	Название вещества по номенклатуре ИЮПАК
----------------------	------------------	---	---

4. Заполните таблицу.

Традиционное (специальное) название	Формула вещества	Название по номенклатуре ИЮПАК	Изображение графической формулы
Пирролюзит			
Едкий натр			
Аргентит			
Смитсонит			
Антимонилтартрат калия			
Аммоний щавелевокислый			
Серебро азотнокислое			
Кальций сернокислый			
Баритовая вода			
Аммоний роданокислый			
Калий железосинеродистый			
Калий железистосинеродистый			
Фосфорноватистоокислый натрий			
Аммоний двухромовокислый			
Серноватистоокислый натрий			

Задача 3. Элементы в периодической системе Д.И. Менделеева

Периодический закон и периодическая система элементов были сформулированы в 1869 г. Д.И. Менделеевым, который считал основной характеристикой элемента атомный вес. Одна из легенд гласит, что Менделеев открыл таблицу химических элементов во сне. Однако Менделеев только смеялся над критиками: *«Я над ней, может быть, двадцать лет думал, а вы говорите: сидел и вдруг ... готово!»*. Периодическая система элементов не сильно менялась с 1950-х гг. И только спустя длительное время – в 2016 г. – в периодическую таблицу были внесены сразу четыре новых химических элемента.

Вопросы и задания

1. Какие элементы были открыты в 2016 г.? Запишите их названия и атомный номер, предположите их свойства.
2. На сегодняшний день в периодической таблице присутствует 118 элементов, сколько элементов из этих 118 были получены лабораторным путём?
3. Заполните таблицу.

Ярко выраженное свойство элемента или простого вещества (Самый(-ое) ...)	Название элемента и характеристики атома	Область применения
легкий газ		
тяжелый газ		
твердый металл		
легкий металл		
пластичный металл		
токсичное вещество		
Распространённое на Земле вещество		
легкоплавкий металл		
тугоплавкий металл		
твердый (прочный) неметалл		
электропроводный		
неэлектропроводный		

4. Ванадий был впервые найден в природе в виде минерала ванадинита, состав которого можно выразить формулой $Pb_3(VO_4)_3Cl$. Рассчитайте массовую долю ванадия в минерале. Кем и когда был открыт ванадий и какое применение ванадий имеет в настоящее время?

Задача 4. Секретный сплав

В 1886 г. химиком Ч.М. Холлом был предложен способ, который позволил получать алюминий в больших количествах. Полученный металл был недостаточно прочен. Эту проблему удалось решить немецкому химику Альфреду Вильму, который сплавил алюминий с другими

металлами: медью, марганцем и магнием. В промышленных масштабах такой сплав был получен в 1911 г. в немецком местечке Дюрене, в честь которого и был назван этот сплав.

Первое применение сплава – изготовление каркаса дирижаблей жёсткой конструкции. С 1920-х гг. он стал важнейшим конструкционным материалом в самолётостроении, а в дальнейшем и в космонавтике и других областях машиностроения, для которых принципиальную роль играет минимальная масса конструкции [5].

Вопросы и задания

1. О каком сплаве идет речь в задаче? Какие еще названия есть у этого сплава?
2. Каков качественный состав этого сплава? Как изменились свойства алюминия после сплавления с медью, марганцем и магнием?
3. Заполните таблицу.

Сплав	Количественный состав, %	Свойства	Применение
-------	--------------------------	----------	------------

4. Рассчитайте массу порций перечисленных металлов (в «секретном сплаве»), которые потребуются для приготовления образца массой 50 г.

Задача 5. Тачскрин

Технология «тачскрин» стала неотъемлемой частью нашей жизни. Поверхностно-емкостный сенсорный экран представляет собой стеклянную панель, покрытую прозрачным резистивным материалом, который состоит из сплава оксидов индия, олова и электродов, размещенных в углах экрана, которые подают на проводящий слой небольшое переменное напряжение. При касании экрана пальцем или другим проводящим предметом появляется утечка тока. Ток во всех четырёх углах регистрируется датчиками и передаётся в контроллер, вычисляющий координаты точки касания [6].

Вопросы и задания

1. Запишите химическую формулу сплава и его свойства, а также формулу стекла, применяемого для изготовления стеклянной панели в айфонах.
2. Какие соединения относят к резистивным материалам? Какими веществами можно заменить указанные оксиды в технологии «тачскрин»?
3. Какими методами проводят нанесение материала на стекло? Какие материалы используют в качестве электродов?
4. Полупроводниковый материал оптического действия готовят на основе сплава селенида алюминия. Из 6,10 кг алюминия синтезировали 23,28 кг этого сплава. Установите простейшую формулу селенида, если относительная плотность его паров по азоту, определенная при высоких температурах, равна 7,36.

Задача 6. Плавающие острова

В судовых журналах эпохи «Великих географических открытий» и более поздних периодов часто содержатся записи о загадочных «плавающих островах» – клочках земли и скал, которые моряки встречали во время своих странствий по Тихому и Индийскому океанам. Изначально многие исследователи считали подобные истории небылицами, однако все сомнения в их существовании были отброшены в июле 2012 г., когда извержение подводного вулкана Кермадек у берегов Самоа привело к формированию гигантского «плавающего острова» площадью в 550 тысяч квадратных километров и толщиной в несколько метров. Он просуществовал несколько месяцев, прежде чем волны и силы стихии разрушили его. В 2019 г. в Тихом океане ученые обнаружили «плавающий остров» размером с 20 тысяч футбольных полей, образованный в результате извержения подводной гряды вулканов Тонга.

Вопросы и задания

1. Опишите, как образуются такие острова? Из чего они состоят?
2. Укажите физико-химические характеристики пемзы (цвет, строение и пр.). В чем разница между природной и искусственной пемзой?
3. Где применяют пемзу? Чем она может быть опасна?
4. Состав пемзы можно выразить следующим образом: SiO₂ 70 %; Al₂O₃ 14 %; Na₂O 5 %; K₂O 5 %; Fe₃O₄ 3,5 %; CaO 2,5 %. Напишите формулу минерала, представленную формулами соответствующих оксидов.

Задача 7. Зеленая химия

Зеленая химия – подход, заключающийся в использовании чистых, менее загрязняющих окружающую среду, промышленных процессов. С акцентом на предотвращение загрязнений на начальных стадиях планирования и осуществления химических производств.

Для количественной оценки химических производств Роджер Шелдон ввел две основные характеристики: E-фактор и атомная эффективность.

Атомная эффективность рассматривает степень полезного использования химических элементов, входящих в состав исходных соединений, ее рассчитывают по формуле

$$\text{атомная эффективность} = \frac{\text{молекулярная масса целевого продукта}}{\text{сумма молекулярных масс всех продуктов}} \cdot 100 \%$$

Чем ближе атомная эффективность к 100 %, тем более зеленой является данная реакция.

Вопросы и задания

1. Что под собой подразумевает понятие «Зеленая химия»? Укажите область применения.
2. Как вычисляется и что характеризует E-фактор? Приведите пример.

3. Приведите пример реакции, в которой атомная эффективность равна 100 %, и реакции, для которой эта характеристика никогда не соответствует этому значению. Ответ обоснуйте.

4. Запишите (и укажите условия) три этапа при синтезе азотной кислоты аммиачным методом. Вычислите атомную эффективность каждой стадии аммиачного метода синтеза азотной кислоты. Сделайте выводы.

Задача 8. Солнечный камень

В 1603 г. итальянский сапожник и алхимик Винченцо Каскариоло в ходе своих алхимических экспериментов с сульфатом бария (в виде минерала барита) и углем, обнаружил, что полученное вещество, после облучения в течение дня на солнце, испускало голубоватое свечение всю ночь. Вещество было названо «ляпис солярис», или «солнечный камень», потому что алхимики надеялись, что оно способно превращать в золото все, с чем вступит в контакт. С этого события начались первые исследования люминесценции.

В 1866 г. был описан первый стабильный люминофор из сульфида цинка. А первым коммерчески доступным люминофором в 1870 г. стала «краска Бальмена» – раствор CaS [7].

Вопросы и задания

1. Укажите формулу вещества, которое получил В. Каскариоло в ходе своего опыта.

2. Что такое люминесценция? Какие существуют виды люминесценции? Дайте краткое описание каждого вида.

3. Что называют люминофорами? Где их используют?

4. Селениды цинка и кадмия входят в состав промышленных люминофоров. Рассчитайте массу цинка, кадмия и селена, необходимую для получения 1 кг селенида цинка и 1 кг селенида кадмия стехиометрического состава.

Задача 9. Тяжелый камень

Вольфрам является самым тугоплавким металлом. В основе его промышленного метода получения лежит реакция восстановления металла из его оксида. Первая стадия производства состоит в обогащении вольфрамсодержащей руды. Минерал шеелит (CaWO_4) вскрывают выщелачиванием карбонатом натрия, а затем нейтрализуют соляной кислотой до получения вольфрамовой кислоты, которая при термическом разложении дает оксид вольфрама (VI). Полученный оксид восстанавливают до чистого металла в атмосфере водорода. Температура процесса составляет около 700 °С.

Вопросы и задания

1. Запишите описанные в тексте химические реакции, расставьте стехиометрические коэффициенты.
2. Что называют вскрытием минерала, как осуществляют данный процесс?
3. Для получения металла высокой степени очистки применяют метод «зонной плавки», опишите сущность метода.
4. Рассчитайте массу шеелита, необходимую для получения 1 кг вольфрама, если его выход составил 98 %.

Задача 10. Хромовые руды

Хром применяют для получения сплавов, из которых делают детали для космической техники, химической аппаратуры, подводных частей кораблей и т. д.

Хром получают из природного минерала хромита (хромистый железняк) в три стадии. Первая стадия – это окислительное плавление хромита в присутствии карбоната натрия. Вторая стадия – растворение полученного хромсодержащего спека в серной кислоте. Третья стадия включает восстановление хрома (VI) до хрома (III) углеродом, а затем алюминиотермическое восстановление полученного оксида до чистого металла.

Вопросы и задания

1. Запишите описанные в тексте химические реакции, расставьте стехиометрические коэффициенты.
2. Кратко опишите историю открытия хрома.
3. В чем заключается биологическая роль хрома? Какое физиологическое действие оказывает избыток и недостаток хрома?
4. Рассчитайте массу хромита, необходимую для получения 1 т хрома, если его выход составил 96 %.

Задача 11. Элегаз

Элегаз был получен в 1900 г. в лаборатории факультета фармацевтики в Париже. Его используют в качестве газообразного изолятора в высоковольтных установках. Это химически инертное соединение, которое не взаимодействует со щелочами, кислотами, окислителями, восстановителями. Устойчиво к действию расплавленного натрия, а также не реагирует с расплавленными алюминием и магнием, защищает их от воздействия кислорода атмосферы. Слабо растворяется в воде, но растворяется в неполярных органических растворителях.

Вопросы и задания

1. Запишите способ получения этого вещества, назовите соединение по номенклатуре ИЮПАК.
2. Методом валентных связей опишите геометрическое строение молекулы и объясните его свойства.

3. Запишите ПДК для элегаза и методы его утилизации.
4. Рассчитайте объем (л) этого газа, который можно получить из 1000 л фтора (н. у.).

Задача 12. Тяжелый азот

Английский физик Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей) в 1894 г. проводил измерения плотности газов, входящих в состав атмосферного воздуха. Результаты измерений оказались неожиданными: так азот, выделенный из воздуха, тяжелее, чем азот, полученный из аммиака. Позже лорд Рэлей совместно с английским химиком Уильямом Рамзаем доказали, что азот, полученный из воздуха, содержит примеси неизвестного, более тяжелого газа. Так был открыт первый инертный газ – аргон.

Вопросы и задания

1. Какие вещества относят к инертным газам? Напишите их валентные электронные формулы. Укажите их возможные степени окисления.
2. Опишите их физические и химические свойства.
3. Укажите области применения инертных газов. Приведите примеры.
4. При взаимодействии сульфата марганца с фторидом ксенона (II) в водном растворе образовалось 9,6 г марганцовой кислоты. Рассчитайте объем выделившегося газа при температуре 20 °С и давлении 101,3 кПа.

Задача 13. Жидкий газ

В 2007 г. в Москве впервые для ликвидации скрытого пожара в стене многоэтажного дома был применен жидкий азот. Прибывшие к месту вызова пожарные установили, что в панелях нового многоуровневого жилого дома горит синтетический утеплитель. Чтобы избежать разрушения стены, было принято решение вести тушение горящего утеплителя жидким азотом, применив для этого автомобиль газового тушения. Удалось избежать деформаций стены здания и сохранить квартиры, которые граничили с пожароопасным участком [5].

Вопросы и задания

1. Заполните таблицу «Азот – строение, свойства».

Строение молекулы (методами ВС и МО)	Физические свойства	Химические свойства
--------------------------------------	---------------------	---------------------

2. Какие свойства жидкого азота позволяют использовать его как средство пожаротушения? Объясните эти свойства особенностями строения молекулы азота.

3. Подумайте, почему азотное пожаротушение, наряду с углекислотным, является эффективным для сохранности материальных ценностей (музеи, банки, склады, архивы), в помещениях объектов спиртовой и парфюмерной промышленности, в электроустановках и кабельных туннелях?

4. Азот в промышленности получают из воздуха. Запишите метод разделения азота от других составляющих воздуха (кислород, углекислый газ, аргон, пары воды). Какой объем воздуха необходимо переработать (теоретически) для получения 1 тонны жидкого азота?

Задача 14. Самовоспламеняемая смесь

С хлоратом калия следует обращаться осторожно, т. к. его смесь с горючими материалами чувствительна к трению и удару. Чистый хлорат калия самопроизвольно не разлагается, но активно реагирует, а в некоторых случаях самовоспламеняется или взрывается при смешивании даже с небольшим количеством горючих веществ (фосфор, сера, включая обычную пыль и ворсинки). Поэтому данная соль сейчас почти не применяется в пиротехнике, за исключением производства спичек.

Вопросы и задания

1. Кем и когда была получена соль, указанная в тексте. Напишите методы промышленного способа получения данной соли.

2. Напишите уравнения реакций разложения хлората калия, а также реакции его взаимодействия с серой и фосфором. Укажите условия их протекания.

3. Укажите области применения хлората калия.

4. Рассчитайте тепловой эффект реакций разложения хлората калия при стандартных условиях и термодинамическую возможность их протекания при 500 °С. Для расчетов используйте справочные данные.

Задача 15. Взрыв в Бейруте

В 2020 г. на складе порта Бейрута произошли взрыв и крупный пожар. Причиной взрыва стала аммиачная селитра, которая была конфискована с заброшенного судна в 2014 г. Мощность взрыва была настолько сильной, что пострадали не менее 6500 человек и 200 человек погибли, а 300 000 человек потеряли свой дом.

Вопросы и задания

1. Запишите законы и формулы, необходимые для расчета и объяснения этого факта.

2. Предложите возможные реакции разложения аммиачной селитры.

3. Выполните расчет энтальпии реакций, указанных в вопросе № 2 при стандартных условиях, используя справочные данные.

4. Оцените возможность их протекания. Сделайте вывод.

Задача 16. Древний огонь

Начало температуры горения древесины (в среднем) составляет порядка 350 °С. «Создать» такую температуру древним людям (неандертальцы/кроманьонцы) было крайне затруднительно с учетом тех простейших орудий труда, которыми они располагали.

Возникает вопрос – как же все-таки удавалось «легко» инициировать горение в любое время и при любых условиях? Одно из предположений – применение порошка природного минерала пиролюзита, используемого так же, как краситель.

Установлено, что добавление даже небольшого количества пиролюзита снижает температуру возгорания более чем на 100 градусов и увеличивает скорость горения и эффективность «теплоотдачи» топлива.

Вопросы и задания

1. Укажите химическую формулу пиролюзита, классифицируйте его по кислотно-основному признаку, изобразите графическую формулу.

2. Установите тип химической связи в данном соединении, ответ поясните расчетом. Опишите основные химические свойства, напишите уравнения реакций.

3. Какова область применения данного минерала в настоящее время?

4. Вычислите термодинамическую вероятность образования углекислого газа при 250 °С: а) из угля с кислородом воздуха; б) из угля с пиролюзитом. Сделайте вывод.

Задача 17. Лисий хвост

В 2018 г. в новостях появилась информация о выбросе диоксида азота и оксида углерода на кемеровском заводе «Азот» после остановки цеха по производству азотной кислоты из-за неисправности оборудования. Очевидцы зафиксировали на фото и видео, как из трубы завода идет бурый газ «лисий хвост», который является самым распространенным загрязнителем атмосферы. При взаимодействии этого газа с атмосферной влагой и кислородом образуются кислоты, которые выпадают вместе с осадками (туман, снег, дождь).

Вопросы и задания

1. В чем проявляется токсическое действие диоксида азота на живые организмы?

2. Напишите реакции образования кислот. Каково влияние этих кислот на металлические конструкции?

3. Опишите промышленный способ получения азотной кислоты.

4. Оцените термодинамическую возможность образования азотсодержащих кислот из диоксида азота. Ответ подтвердите расчетами ΔH^0 , ΔS^0 , ΔG^0 , K_p (для расчетов используйте справочные данные). Сделайте вывод.

Задача 18. Не лечит, а калечит

В истории медицины много случаев, когда применявшееся столетиями лекарство на самом деле оказывалось страшным ядом.

В истории медицины XVIII–XIX вв. известен факт использования соединений ртути в качестве желчегонных и слабительных средств, глазных мазей, а также для лечения венерических заболеваний. Достоверно известно, что каломельным слабительным «лечили» смертельно раненного Пушкина.

Вопросы и задания

1. О каком веществе идет речь? Какими свойствами оно обладает?
2. Напишите формулу соединения и его физические свойства.
3. Какими качественными реакциями можно определить ионы ртути?
4. Где в настоящее время находят применение соли ртути?
5. Объясните, применяя знания по теме «кинетика», почему при взаимодействии коричневого раствора иода в спирте с установленным соединением, раствор обесцвечивается в течение нескольких секунд, а при взаимодействии иода в растворе четыреххлористого углерода – в течение нескольких минут?

Задача 19. Загрязнение атмосферы

В больших городах и вблизи промышленных предприятий необходим постоянный контроль за чистотой воздуха. В химических лабораториях контроль и идентификацию токсичных веществ (SO_2 , NO , NO_2 , CO , CO_2 , H_2S , NH_3) ведут с применением специфических реакций. Для анализа пробу воздуха пропускают через твердые адсорбенты, пропитанные растворами поглотителей – щелочей или кислот.

Вопросы и задания

1. Запишите специфические реакции с указанными токсичными веществами.
2. Заполните таблицу:

Вещество	ПДК	Влияние на человека и окружающую среду
----------	-----	--

3. Методом валентных связей опишите геометрическое строение молекул (SO_2 , NO_2 , CO_2 , H_2S , NH_3). Для перечисленных соединений найдите связь между их строением и свойствами.

4. Вычислите скорость окисления сероводорода при начальных концентрациях: $C(\text{H}_2\text{S}) = 4,5 \cdot 10^{-6}$ М, $C(\text{O}_2) = 2 \cdot 10^{-4}$ М, если константа скорости окисления равна $4 \cdot 10^{-5}$ л/моль·с.

Задача 20. Случайный катализ

Каталитические свойства платины были открыты случайно в 1823 г. немецким химиком Иоганном Вольфгангом Дёберейнером.

Во время одного из опытов получения платины прокаливанием гексахлороплатината аммония, кусочек губчатой платины оказался около прибора для получения водорода. При попадании струи водорода на платину, водород сразу вспыхнул и загорелся. Поскольку спичек в то

время еще не было, это оказалось значимым открытием. На основе этой реакции ученый сконструировал прибор, получивший название «огниво Дёберейнера», или «зажигательная машинка», который нашел широкое распространение в Германии.

Вопросы и задания

1. Напишите реакции, описанные в тексте. Какую роль выполняет платина?

2. Как называют вещества, которые ускоряют и замедляют химические реакции? Приведите примеры этих веществ и процессов, в которых они участвуют. Опишите механизм протекания таких реакций.

3. Как называют вещества, которые влияют на каталитическую активность? Приведите примеры.

4. Энергия активации реакции взаимодействия водорода с кислородом в отсутствие катализатора равна 66,8 кДж/моль, а с катализатором – 31,4 кДж/моль. Во сколько раз возрастет скорость реакции в присутствии катализатора при температуре 20 °С?

Задача 21. Питьевая вода

Дом введен в эксплуатацию. Жильцы заселились, но органолептические показатели воды (цвет, запах) им не нравятся. Жильцы обеспокоены, можно ли данную воду использовать для питьевых и бытовых нужд, например использовать данную воду в дорогостоящих посудомоечных и стиральных машинах, а также для санитарно-гигиенических целей. Они передали воду в химическую лабораторию и получили протокол исследования качества воды.

Показатель	ПДК	Концентрация в пробе воды
Железо общее		0,1 мг/дм ³
Мутность		0,17 мг/дм ³
Хлор		0,18 мг/дм ³
Жесткость		6,4 ммоль·экв/л
Водородный показатель (рН)		7,2

Вопросы и задания

1. Найдите значения ПДК из литературных источников и внесите данные в таблицу.

2. Дайте заключение о качестве питьевой воды и возможности ее использования для бытовых нужд.

3. Какие уникальные свойства имеет вода?

4. Чем отличается дистиллированная вода от водопроводной? Как получают дистиллированную воду? Можно ли употреблять в пищу дистиллированную воду?

5. Для очистки водопроводной воды Томского подземного водозабора используется метод аэрации. В чем состоит сущность этого метода? Какие химические реакции обеспечивают очистку воды от ионов железа (+2) и марганца (+2) этим методом?

Задача 22. Кот и иод

Бернар Куртуа в 1811 г. открыл новый химический элемент – иод. История его открытия описана в виде веселого рассказа. У Б. Куртуа был любимый кот, который уронил бутылки со спиртовым раствором золы водорослей и концентрированной серной кислоты. С пола стали подниматься облака пара сине-фиолетового цвета, которые оседали в виде мелких темно-фиолетовых кристалликов на поверхность окружающих предметов.

Вопросы и задания

1. Напишите реакцию, описанную в задаче, если в золе водорослей содержится иодид натрия.
2. Опишите физические и химические свойства иода.
3. Какими способами можно получить иод? Где применяют раствор иода?
4. Массовая доля иода в аптечной иодной настойке составляет 5 %. Рассчитайте массы иода и спирта, которые нужно взять, чтобы приготовить 200 г настойки?

Задача 23. Фиалки-индикаторы

Однажды, во время проведения опытов с соляной кислотой Робертом Бойлем, в лабораторию вошел садовник с корзиной фиалок. Поскольку ученый был очень занят, то попросил поставить цветы на край стола. По окончании эксперимента Р. Бойль заметил, что цветы дымятся, тогда он опустил их в стакан с водой и лепестки тут же изменили цвет с темно-фиолетового на красный. Ученого это очень заинтересовало, и он стал проводить опыты, опуская различные растения (цветы, травы, корни и кору деревьев, мхи и лишайники) в разные растворы. Лучшие результаты дали опыты с лакмусовым лишайником – он мгновенно менял цвет. Тогда Роберт Бойль опустил в раствор с лакмусом полоски бумаги, а затем высушил их – так появилась первая лакмусовая индикаторная бумага.

Вопросы и задания

1. На какие группы подразделяют индикаторы?
2. Напишите кислотно-основные индикаторы (не менее четырех). Составьте таблицу изменения окраски указанных индикаторов в разных средах.
3. Укажите области применения индикаторов. Ответ подтвердите примерами.
4. К раствору Na_2CO_3 , содержащему 0,1285 г вещества с техническими примесями, добавили 25,00 мл 0,2034 М раствора HCl . Избыток

этой кислоты оттитровали 23,42 мл 0,1256 М раствора NaOH в присутствии индикатора метилового оранжевого. Рассчитайте массовую долю примесей в соде.

Задача 24. Удивительный сплав Вуда

В 1860 г. американский врач-дантист Барнабас Вуд изобрел легкоплавкий сплав тяжелых металлов. Температура его плавления всего 60,0...68,5 °С. Про «сплав Вуда» известна веселая история с участием физика Роберта Вуда – однофамильца изобретателя.

Однажды профессор Вуд пригласил своих друзей в гости. Когда во время чаепития они начали размешивать сахар, то почему-то у них расплавились чайные ложки. Гости не смогли скрыть недоумение – в руках осталось только по небольшому кусочку ложки, а на дне стакана оказался жидкий металл наподобие ртути. После небольшой паузы друзья рассмеялись.

Вопросы и задания

1. Укажите качественный и количественный состав сплава в %.
2. Чем опасен данный сплав?
3. Где он применяется?
4. Какой компонент сплава можно считать растворителем? Рассчитайте его мольную долю.

Задача 25. Борьба с гололедицей

Первыми людьми, которые придумали посыпать дороги песком, для того чтобы лошади не скользили и не падали, были древние римляне. В XVIII в. в песок стали добавлять хлорид натрия. В середине XX в. в России остро встала экологическая проблема: песок забивал водостоки, оставался на тротуарах и дорогах. Каждой весной начиналась битва за чистоту улиц. Тогда было решено посыпать дороги только технической солью, но если в Европе и США расход соли дозировался строго, то в России соль раскидывали неограниченно, что только усугубило экологическую ситуацию. Весной, когда снег со льдом сходили, дороги оставались белыми, страдал транспорт, гибли зеленые насаждения, как писали экологи, в Москве соляные пары достигали высоты почти 15 м! Они же начали бить тревогу, заявляя о необходимости прекратить посыпать дороги солью, иначе крупные города ожидает экологическая катастрофа.

Вопросы и задания

1. Почему соль – достаточно эффективное средство при борьбе с наледью?
2. Какие вещества применяют для борьбы с гололедицей в XXI в. в Европе и России?
3. Что такое фрикционные материалы?
4. В чем вред использования солесодержащих реагентов?

5. Раствор хлорида натрия содержит 5,85 г соли в 50 г воды и замерзает при $-5,21$ °С. Определите степень диссоциации раствора хлорида натрия.

Задача 26. Соединения бария

Соединения бария очень токсичны. Механизм токсического действия этих солей заключается в том, что ионы Ba^{2+} , имея одинаковый радиус с ионом K^+ , конкурируют с ним в биохимических процессах. В результате такой замены возникает гипокалиемия. Ионы Ba^{2+} могут проникать и в костные ткани, замещая в ней ионы Ca^{2+} , вызывая эндемические заболевания. Образование фосфата бария – $Ba_3(PO_4)_2$ в костной ткани, нервных клетках и мозговом веществе обуславливает токсичность иона Ba^{2+} .

Вопросы и задания

1. Перечислите причины попадания в организм человека ионов бария. Укажите ПДК для соединений бария.

2. Напишите реакции конкуренции ионов бария с ионами калия и кальция. Объясните возможность протекания этих реакций на основании значений ПР.

3. Напишите качественные реакции установления ионов бария.

4. Рассчитайте объем воды, необходимый для растворения 0,1 г $Ba_3(PO_4)_2$, если $ПР = 6 \cdot 10^{-39}$.

Задача 27. Освежающий газ

Английский учёный Джозеф Пристли в 1767 г. заинтересовался природой пузырьков, которые выходят на поверхность при брожении пива. Над пивным чаном он поместил чашу с водой, которую затем попробовал на вкус, и обнаружил, что она обладает освежающим действием. Через пять лет Пристли опубликовал работу, в которой описал более совершенный метод получения этого газа путём реакции серной кислоты с мелом [5]. И сегодня это вещество используется при изготовлении газированных напитков.

Вопросы и задания

1. О каком газообразном веществе идет речь в задаче? Запишите его формулу, систематическое и тривиальное названия.

2. Запишите уравнение реакции получения этого вещества по методу Дж. Пристли. Какие способы получения этого газа используют в промышленности и лабораторных условиях? Запишите уравнения соответствующих реакций.

3. Заполните таблицу.

Строение молекулы (методом ВС)	Физические свойства	Химические свойства
-----------------------------------	---------------------	------------------------

4. Как влияет на растворимость газа, установленного в задании, температура, давление и pH? Определите массовую долю этого газа в насыщенном растворе при 20 °С, если в одном литре воды растворяется 0,88 л этого газа.

Задача 28. Лечебное действие солей

Буру – натрия тетраборат ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) – применяют как антисептик.

Гидрокарбонат натрия (NaHCO_3) используют при различных заболеваниях. При гидролизе этой соли образуется продукт, который действует на микробные клетки, вследствие чего происходит гибель микроорганизмов. Поэтому гидрокарбонат натрия применяют для полосканий, примочек, промываний при воспалительных заболеваниях верхних дыхательных путей, горла, глаз и других тканей.

Бромид натрия (NaBr) применяют при неврастении, истерии, неврозах, повышенной раздражительности, бессоннице, начальных формах гипертонической болезни, при эпилепсии и холере.

Вопросы и задания

1. Запишите реакции гидролиза перечисленных солей.
2. Будет ли карбонат натрия иметь подобные свойства, что и гидрокарбонат? Ответ обоснуйте.
3. Заполните таблицу, приведите пять примеров.

Соль	Лечебное действие	Молекулярное и ионное уравнения гидролиза
------	-------------------	---

4. Рассчитайте константы и степень гидролиза любых трех солей (из таблицы), если их концентрация равна 1 М.

Задача 29. Молекула с широким спектром применения

Это вещество нашло свое применение в быту и промышленности. Используется как отбеливатель в текстильной и целлюлозной промышленности. Применяется в ракетной технике и является окислителем ракетного топлива в ряде ракет «ФАУ-2», «Редстоун», «Восток» и в космическом аппарате «Союз».

В медицине применяется 0,25...1%-й раствор этого вещества как антисептик для обработки гнойных ран, для промываний и полосканий при ангине и стоматите, а также для растворения серных пробок в слуховом канале.

Данное вещество было впервые получено в 1818 г. из серной кислоты и оксида бария.

Вопросы и задания

1. Запишите формулу указанного вещества, его строение и физические свойства.
2. Напишите современные способы его получения и все реакции, перечисленные в тексте задания.

3. Какие стабилизаторы применяют для повышения устойчивости этого вещества при длительном хранении.

4. Запишите, какие окислительно-восстановительные свойства характерны для данного соединения. Ответ подтвердите уравнениями реакций (расставьте коэффициенты методом ионно-электронного баланса).

Задача 30. Сухой элемент Лекланше

В 1865 г. французский инженер Жорж Лекланше изобрел первичный гальванический элемент, который был назван именем изобретателя. В то время это была самая известная одноразовая батарея. Она была достаточно дешевой и выпускалась в больших количествах. Ее использовали в радио, звонках, фонарях, сигнализации и телеграфах. Элемент Лекланше постоянно совершенствовался и в ходе многочисленных улучшений приобрел вид современных батареек.

Вопросы и задания

1. Что называют первичными и вторичными гальваническими элементами?

2. Опишите устройство батареи Лекланше? Почему ее называют «сухая батарея»? В чем заключаются недостатки данной батареи?

3. Напишите электродные процессы, протекающие при работе данного гальванического элемента.

4. Для данного ГЭ рассчитайте ЭДС и энергию Гиббса при стандартных условиях.

Задача 31. Металлические покрытия

Русский ученый Борис Семенович Якоби в 1836 г. разработал медно-цинковый гальванический элемент. При его работе ученый наблюдал за процессом и отметил два интересных факта, что образующаяся на катоде медная фольга в одних случаях легко отделялась от катода, а в других – сцепление было настолько сильным, что фольгу невозможно было отделить от катода. Второй факт стал началом развития гальваностегии.

Вопросы и задания

1. Что называется гальваностегией?

2. Какое практическое значение имеет данное направление? Приведите примеры.

3. Опишите технологию нанесения металлических покрытий при никелировании, серебрении, золочении и т. п.

4. Для придания красивого внешнего вида и защиты от коррозии, на поверхность железа наносят тонкий слой другого металла (цинка, олова, хрома, кадмия или никеля). Какое из перечисленных покрытий наиболее надежно защищает железо от коррозии? Напишите схему и процессы, протекающие при работе этого коррозионного гальванического микроэлемента. Расположите перечисленные металлы в порядке возрастания защитного эффекта.

Задача 32. Металлические копии

Много веков прошло, пока человек сумел расплавить металл, сделать его текучим и придать металлу нужную форму. Изначально расплавленный металл вливали в каменные формы, а уже позднее стали применять формы из глины с песком. В настоящее время существует много способов литья, но не все из них дают достаточно точное воспроизведение нужной конфигурации в металле. Здесь на помощь приходит гальванопластика, которая позволяет получить высокоточные металлические копии различных изделий.

Вопросы и задания

1. Что называется гальванопластикой?
2. Какие процессы лежат в основе гальванопластики?
3. Какое практическое значение имеет гальванопластика? Приведите примеры.
4. Одним из первых применений гальванопластики было изготовление декоративной скульптуры из меди. Рассчитайте выход по току, если при электролизе с активным анодом в течение 1,5 часов при токе 4,5 А на гипсовой форме выделилось 7,5 г меди. Напишите процессы, протекающие при электролизе.

Задача 33. Аккумулятор Планте

Первый в истории аккумулятор был построен в 1859 г. французским инженером Гастоном Планте. Аккумулятор Планте – это первый свинцово-кислотный аккумулятор, который был выполнен из двух свинцовых пластин, разделенных сукном и помещенных в сосуд с подкисленной водой. Прибор подключали к электрической батарее и заряжали в течение нескольких часов, а после подзарядки с аккумулятора можно было снимать достаточно сильный ток, который был постоянным в течение некоторого времени.

В настоящее время принцип действия свинцового аккумулятора остался прежним, но конструктивные элементы претерпели значительные усовершенствования. Например, для придания прочности свинцовым электродам в сплав вводят такие элементы, как сурьму, селен, олово и даже серебро.

Вопросы и задания

1. Опишите принцип работы современного свинцового аккумулятора, проиллюстрируйте ответ уравнениями реакций, которые протекают при заряде и разряде аккумулятора.
2. Приведите несколько примеров других видов аккумуляторных батарей (не более пяти).
3. Какие задачи стоят перед инженерами XXI в. при создании современных аккумуляторов?

4. Рассчитайте силу тока, которую можно получить от аккумуляторной батареи, если в ней окислилось 70 мг свинца в течение 1 мин.

Задача 34. Беспроводная связь

Радиоинженер Леонид Иванович Куприянович в 1961 г. разработал образец телефона, который по радиосвязи мог передавать голос на базовую станцию, на расстояние не более 25 км. Устройство весило 500 г и могло работать в режиме ожидания 20...30 часов.

С этого времени произошли большие изменения, характеристики телефонов эволюционировали. Так, в январе 2007 г. Стив Джобс явил миру iPhone.

Вопросы и задания

1. Какие аккумуляторы используют в мобильном телефоне? Опишите принцип его работы.
2. На какие типы делят химические источники тока?
3. Что называют гальваническим элементом?
4. В современных устройствах большое распространение получили литиевые аккумуляторы, в основе работы которых лежит реакция металлического лития с тионилхлоридом. Напишите процессы, протекающие на электродах. Вычислите стандартное значение ЭДС и энергию Гиббса этого аккумулятора, если φ° (катодного процесса) составляет 0,6 В.

Задача 35. Водород – источник энергии

В 1839 г. английский физик Вильям Гроув создал первую водородную батарею, которая работала всего 20 мин.

В 1959 г. изобретатель Фрэнсис Томас Бэкон построил первый практичный пятикиловаттный водородно-воздушный топливный элемент, который питал сварочный аппарат, а в 1960 г. на основе элемента Бэкона разработана система генерации электроэнергии для космических программ NASA Gemini и Apollo.

В 1993 г. построен первый автобус на водородном топливном элементе, а в 1997 г. автокомпании Daimler Benz и Toyota представили на выставке свои прототипы автомобилей, работающих на топливном элементе.

В настоящее время топливные элементы используют в различных сферах, от снабжения электроэнергией и теплом жилого дома до обеспечения длительной непрерывной работы электронного оборудования (телефоны, ноутбуки и др.).

Вопросы и задания

1. Опишите элемент Бэкона (устройство, принцип работы).
2. В чем заключается отличие топливных элементов от других видов химических источников тока?

3. Почему в настоящее время топливные элементы не применяются повсеместно? Укажите недостатки топливных элементов.

4. Напишите схему водородно-воздушного топливного элемента, процессы, протекающие на электродах, и суммарное уравнение реакции.

Задача 36. Чистая электроэнергия

В настоящее время во всем мире одним из наиболее перспективных источников энергии среди топливных элементов являются твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ). В отличие от других типов топливных элементов в их конструкции нет дорогого катализатора – платины, они могут работать на большинстве видах топлива: природном газе, бензине, дизельном топливе, угле, спирте, древесине, торфе, отходах сельхозпроизводства и пр. Продуктом сгорания топлива является вода, поэтому выбросы в атмосферу загрязняющих веществ очень низки.

Топливные элементы широко используются в энергетике и могут быть единственными источниками электроэнергии в труднодоступных районах.

Вопросы и задания

1. Перечислите типы топливных элементов (по составу электролита). Укажите их преимущества и недостатки.

2. Опишите принцип работы твердооксидного топливного элемента.

3. Каковы области применения топливных элементов?

4. Заполните таблицу.

Тип ТЭ	Рабочая температура	Материал		
		Анода	Катода	Электролита
Щелочные ТЭ (ЩТЭ)				
Твердооксидные (ТОТЭ)				

Рассчитайте ЭДС щелочного топливного элемента при его рабочей температуре.

Задача 37. Селитряный воздух

В 1774 г. английский исследователь Джозеф Пристли впервые осуществил реакцию взаимодействия меди с соляной кислотой, а ее газообразный продукт назвал «селитряный воздух». Селитряный воздух при смешении с атмосферным воздухом приобретает бурый цвет.

Проводя различные опыты с селитряным воздухом, Д. Пристли установил, что свойства газа изменяются, если его оставить на долгое время в контакте с серой и железом во влажной среде. Так, в селитряном воздухе зажженная свеча гаснет, а в измененном газе продолжает го-

реть. Состав нового, измененного газа в 1800 г. установил другой ученый – Гемфри Дэви, а спустя 50 лет это вещество стали использовать в качестве наркотического средства.

Вопросы и задания

1. Какое вещество Д. Пристли назвал селитряным воздухом? Укажите другие названия этого вещества. К какому классу соединений оно относится?

2. Напишите уравнения всех реакций, о которых упоминается в тексте.

3. Какое название и почему Г. Дэви дал измененному селитряному воздуху? Опишите химические свойства этого соединения, ответ подтвердите уравнениями химических реакций.

4. При электролизе раствора нитрата ртути (II) на аноде выделяется газ, который используют для каталитического окисления аммиака. Напишите электродные процессы, суммарное уравнение электролиза и реакцию окисления аммиака. Рассчитайте массу нитрата ртути (II), которую нужно подвергнуть электролизу, чтобы получить 5 л оксида азота (II) при $P = 101325$ Па и $T = 300$ °С.

Задача 38. Цветок из руды

В 1529 г. немецкий ученый Г. Агриколой описал красивый цветной минерал, которому дал название «флюорит» (от лат. – текучий). Связано такое название со способностью флюорита при добавлении к руде ускорять отделение шлака от металла.

В 1670 г. обычный художник обратил внимание на то, что в сосуде из флюорита серная кислота пузырится. Значительно позже (в 1768 г.) немецкий химик А. Марграф установил природу выделяемого газа. Раствор этого газа в воде был назван плавиковой кислотой. После этого открытия знаменитый физик А. Ампер предположил, что, скорее всего, плавиковая кислота – это соединение водорода и неизвестного на тот момент элемента.

Вопросы и задания

1. О каком химическом соединении идет речь в тексте? Укажите другое название этого минерала и его разновидности.

2. Опишите физические и химические свойства флюорита. Напишите уравнение его взаимодействия с серной кислотой.

3. В каких сферах используют данный минерал?

4. В реакции, указанной в вопросе № 2, образуется промежуточный продукт, расплав которого подвергают электролизу. Напишите суммарное уравнение электролиза. Рассчитайте количество электричества и объемы выделившихся продуктов (н. у.) при электролизе 1 кг расплава. Выход по току – 95 %.

Задача 39. Кружева, помогающие сердцу

В 1986 г. во Франции Jacques Puel и Ulrich Sigwart впервые произвели имплантацию саморасправляющегося стента из нитинола в коронарную артерию. После первой успешной имплантации такие стенты начали применять во многих странах Европы и Америки для устранения острых осложнений ангиопластики. В России первые попытки применять отечественные стенты из нитинола также начались в середине 1980-х гг.

Нитиноловый стент – это маленький сетчатый, словно кружевной, плотно сжатый цилиндр, который доставляется в сосуд на кончике специальной длинной, очень тонкой трубки. На месте он расправляется и своими упругими стенками раздвигает сужение в сосуде, тем самым восстанавливая ток крови.

Вопросы и задания

1. Укажите другое название нитинола и его состав.
2. Какими уникальными свойствами обладает данный сплав?
3. Почему несмотря на значительное содержание токсичного никеля в сплаве, данный сплав широко применяют в медицине в качестве различных имплантов и протезов?
4. Как называется способность предварительно деформированных металлов (сплавов) возвращаться к исходной форме после снятия нагрузки? Укажите другие сплавы, обладающие таким свойством.
5. Рассчитайте термодинамическую возможность коррозии никеля в кровеносной артерии с $\text{pH} = 7,4$ (кислородная деполяризация). Если коррозия возможна, напишите электродные процессы и суммарное уравнение.

Задача 40. Природная легированная сталь

Легированное железо использовалось еще до начала железного века – это было метеоритное железо, содержащее до 8,5 % никеля. В эпоху средневековья Восток славился своей высококачественной сталью, в состав стали японского оружия XI–XIII вв. входит молибден.

Со времен глубокой древности людям был известен способ получения легированной стали путем ржавления в земле. Железо закапывали в землю, а откопав его через 10...15 лет, выковывали из него сабли, которые могли перерубить даже ружейный ствол, щит или кости врага. В земле железо ржавело, превращаясь в метагидроксид железа, но за счет хорошей сорбционной способности метагидроксида железа оно одновременно насыщалось углеродом и азотом при контакте с различными органическими веществами почвы. После выкапывания ржавое железо ковали, в поверхностном слое появлялись углерод и азот, упрочняя его и сообщая ему особую твердость.

Вопросы и задания

1. Перечислите неэлектрохимические способы защиты металлов от коррозии. Поясните суть метода легирования.
2. Опишите технологию современных методов легирования.
3. Заполните таблицу.

Легирующая добавка к железу	Формула сплава	Как изменяются физические свойства металла после введения добавки	Применение сплава
Титан			
Ванадий			
Тантал			
Молибден			
Никель			

4. Напишите процессы, протекающие при почвенной коррозии железа. Рассчитайте скорость коррозии ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$), если масса железной пластинки размером 80×30 мм уменьшилась на 500 г за год, учитывая, что коррозия равномерная.

1.2. Проектно-исследовательские задания по химии

Ситуационные задачи могут быть сформулированы в виде проектно-исследовательского задания, решение которого требует освоения методик химического эксперимента. В данном разделе представлены некоторые примеры таких заданий, по аналогии с которыми преподаватель может предложить исследовать разные объекты с использованием методик, описанных в главе 2.

Задание 1

Известно, что в ранних плодах овощных культур может содержаться избыточное количество нитратов, которые способствуют развитию патогенной (вредной) кишечной микрофлоры. В организме человека накапливаются токсины, в результате чего происходит отравление.

Определите наличие нитрат-ионов в бахчевых культурах. Полученные результаты внесите в таблицу.

№	Объект (бахчевая культура)	$\text{C}(\text{NO}_3^-)$, мг/л	Значение ПДК
1			
...			

Дайте заключение, с учетом ПДК, о возможности использования исследованных бахчевых культур для пищевых целей. Представьте отчет по работе в форме презентации.

Задание 2

При водоподготовке питьевая вода проходит несколько стадий очистки от различных примесей и микроорганизмов и соответствует стандартам качества. Из-за плохого состояния трубопровода к потреби-

телю попадает вода, отличающаяся по составу от воды, которую подает городское водоочистное предприятие.

Проведите мониторинг содержания ионов железа в питьевых источниках водоснабжения. Заполните протокол исследования качества водопроводной воды разных районов города Томска (или Томской области).

№	Место взятия пробы	Содержание Fe^{2+}/Fe^{3+} мг/л	Значение ПДК
1			
...			

Дайте заключение о качестве воды и возможности ее использования как питьевой. Представьте отчет по работе в форме презентации.

Задание 3

Томск и Томская область относятся к железорудному бассейну, поэтому природная вода содержит большое количество ионов железа, марганца, кальция и магния. Кроме того, ионы разных соединений могут поступать в воду из-за нарушения экологического баланса.

Определите качество воды из природных источников Сибири. Заполните протокол исследования качества родниковой воды Сибирского региона.

№	Источник	pH	Ж, ммоль/л	NO_3^- , мг/л	$\Sigma Fe^{2+,3+}$, мг/л	NH_4^+ , мг/л	Cl^- , мг/л
1							
...							
ПДК		6...9	7	40	0,1	0,5	300

Дайте заключение о качестве воды и возможности ее использования как питьевой. Представьте отчет по работе в форме презентации.

Задание 4

Известно, что монеты одинакового достоинства, но разного года выпуска могут существенно отличаться как по составу сплава, так и по соотношению ценных (иногда драгоценных) компонентов сплава (включая возможные фальсификаты).

Определите качественный и количественный состав монет достоинством 10 рублей, выпущенных в разные годы. Заполните таблицу.

№	Год выпуска монеты	Основной металл		Добавки других металлов (химический символ элемента)
		Химический символ элемента	Содержание, %	
1				
...				

Напишите химические уравнения проведенных качественных реакций. Дайте заключение о составе монет: основной металл, добавки, неопределяемые примеси. Представьте отчет по работе в форме презентации.

Задание 5

Цинк является важным микроэлементом, который стимулирует ряд ферментативных систем, он необходим для нормальной работы иммунной системы. Препараты цинка широко применяют в медицине: в составе витаминных комплексов, противовоспалительных мазей, глазных капель и для лечения угревой сыпи.

Определите содержание цинка экстракционным методом в цинк-содержащих лекарственных препаратах (например, «Зинерит», «Цинка сульфат-ДИА», «Цинкит» и т. д.).

№	Наименование препарата	Содержание ионов цинка, мг/л	Значение на упаковке
1			
...			

Дайте заключение о качестве лекарственного препарата по соответствию содержания ионов цинка со значением, указанным производителем на упаковке. Представьте отчет по работе в форме презентации.

Для выполнения предложенных проектно-исследовательских заданий необходимо освоить экспериментальные методики. Наиболее доступными методами исследования являются титрование, фотоколориметрия, рН-метрия, экстракция. Далее в главе 2 представлены стандартные методики, ранее описанные авторами в пособии [1].

Глава 2. ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ. КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ИОНОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

2.1. Качественный анализ

Задачей качественного анализа является определение состава вещества: обнаружение атомов, ионов, функциональных групп, молекул и их идентификация по физическим и химическим свойствам. Идентификация осуществляется путем проведения характерных химических реакций, в которых происходит изменение внешних признаков (изменение цвета и запаха, выпадение или растворение осадка).

В данном разделе представлены работы, которые могут быть использованы в проектно-исследовательской деятельности студентов для качественного определения катионов и анионов в природных объектах.

Работа 1. Качественные реакции определения катионов и анионов неорганических соединений

Один из методов химической информации о составе вещества – это качественный анализ. Различают дробный и систематический качественный анализ. Дробный анализ проводят с помощью специфических реакций в отдельных порциях анализируемого раствора, в любой последовательности, если есть предположение о составе вещества. Специфическими реакциями называют реакции (или реактивы), которые позволяют обнаружить одни ионы в присутствии других ионов по специфическим признакам: изменение цвета, образование характерного осадка, выделение газа и т. п. Систематический анализ проводят в определенной последовательности, при которой каждый ион обнаруживают после удаления других ионов, мешающих обнаружению.

В систематическом анализе сложной смеси выделяют отдельные группы ионов, которые взаимодействуют с групповым реагентом.

Выделяют следующие типы групповых реагентов:

- по отношению к действию кислот и оснований (кисотно-основной метод);
- по отношению к действию сероводорода;
- по отношению к действию сульфида аммония.

Наиболее распространен кислотно-основной метод, в котором все катионы делят на шесть аналитических групп, а анионы – на три (табл. 2.1, 2.2).

Таблица 2.1

Классификация катионов по кислотно-основному методу

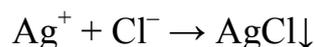
Группа	Катионы	Групповой реагент	Образующиеся продукты реакции
I	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{NH}_4^+$	Нет	Признаки со всеми из указанных реагентов отсутствуют
II	$\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}, \text{Hg}_2^{2+}$	2 М HCl	осадок белого цвета
III	$\text{Ca}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}$	1 М H_2SO_4	MeSO_4 – мелкокристаллический осадок белого цвета
IV	$\text{Zn}^{2+}, \text{Al}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Sn}^{2+}, \text{Sn}^{4+}$	4 М $\text{NaOH}_{(\text{изб.})}$	$\text{Me}(\text{OH})_n$ – выпавший осадок – это амфотерный гидроксид, который растворяется в избытке NaOH
V	$\text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Bi}^{3+}, \text{Sb}^{3+}$	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (NH_4OH)	В растворе аммиака выпадает осадок $\text{Me}(\text{OH})_n$, который нерастворим в избытке щелочи, но растворим в неорганических кислотах
VI	$\text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Cd}^{2+}, \text{Hg}^{2+}$	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(\text{изб.})}$ (NH_4OH)	Выпадает осадок, который в избытке аммиака образует ярко окрашенный комплекс $[\text{Me}(\text{NH}_3)_m]^{n+}$

Таблица 2.2

Классификация анионов по кислотно-основному методу

Группа	Анионы	Групповой реагент	Образующиеся продукты	Характеристика группы
I	$\text{SO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{PO}_4^{3-}, \text{SiO}_3^{2-}$	BaCl_2 в нейтральной или слабощелочной среде	$\text{BaSO}_3, \text{BaSO}_4, \text{BaCO}_3, \text{BaSiO}_3, \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ осадки белого цвета	Соли Ba^{2+} трудно-растворимы в воде
II	$\text{Cl}^-, \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{S}^{2-}$	$\text{AgNO}_3, \text{HNO}_3$	AgCl – белый, AgBr – желто-зеленый, Ag_2S – черный	Соли Ag^+ трудно-растворимы в воде и в HNO_3
III	$\text{NO}_2^-, \text{NO}_3^-$	дифениламин	Синее окрашивание раствора	Все соли растворимы в воде

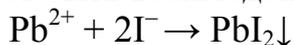
Например, катионы $\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}, \text{Hg}_2^{2+}$ с HCl образуют белый осадок нерастворимых хлоридов:



Поэтому соляная кислота является групповым реагентом на эту группу ионов и может быть использована для их отделения от других ионов из смеси или для их обнаружения в растворе. Аналогично с помощью групповых реактивов определяют группу анионов.

После установления группы катионов и анионов по кислотно-основному методу переходят к установлению состава иона, находящегося в растворе, используя характерные реакции.

Характерные (специфические) реакции – реакции, свойственные только данному веществу (иону). Характерной реакцией на ионы Pb^{2+} может быть взаимодействие соли свинца с иодидом калия или натрия.



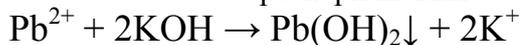
желтый осадок, растворимый в горячей воде и избытке раствора KI

Если в растворе, кроме ионов свинца, присутствуют другие ионы, например серебра, который с иодид-ионом дает также желтый осадок AgI, в этом случае следует помнить, что для одного иона возможны несколько характерных реакций.

Например,



серо-коричневый осадок, не растворимый в избытке щелочи



недостаток белый



избыток прозрачный раствор

В табл. 2.3–2.9 написаны характерные реакции на катионы и анионы, с помощью которых можно определить нахождение ионов в растворе.

Таблица 2.3

Катионы первой группы

Катион	Характерные реакции
Na^+	$Na^+ + KH_2SbO_4 \rightarrow NaH_2SbO_4 \downarrow + K^+$ белый мелкокристаллический осадок (выпадает при упаривании и перемешивании раствора)
K^+	1. $K^+ + NaHC_4H_4O_6 \rightarrow KHC_4H_4O_6 \downarrow + Na^+$ белый осадок (выпадение ускоряют натиранием стеклянной палочкой о стенки пробирки) 2. $3K^+ + Na_3[Co(NO_2)_6] \rightarrow K_3[Co(NO_2)_6] \downarrow + 3Na^+$ желтый осадок (выпадение осадка ускоряют аналогично предыдущей реакции)
NH_4^+	1. Реакция идет при нагревании $NH_4^+ + NaOH \rightarrow NH_3 \uparrow + H_2O + Na^+$ резкий запах (или по изменению влажной лакмусовой бумажки, окраска – синяя) 2. $NH_4^+ + 2[HgI_4]^{2-} + 4OH^- \rightarrow [NH_2Hg_2O]I \downarrow + 7I^- + 3H_2O$ реактив Несслера оранжевый раствор
*Катионы щелочных металлов очень трудно определить, поэтому применяют дополнительные методы исследования по реакции окрашивания пламени (табл. 2.10)	

Таблица 2.4

Катионы второй группы

Катион	Характерные реакции
Ag ⁺	1. $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$ избыток бесцветный раствор 2. $2\text{Ag}^+ + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}\downarrow + \text{H}_2\text{O} + 2\text{K}^+$ серо-коричневый 3. $2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4\downarrow$ кирпично-красный
Pb ²⁺	1. $\text{Pb}^{2+} + 2\text{KI} \rightarrow \text{PbI}_2\downarrow + 2\text{K}^+$ желтый 2. $\text{Pb}^{2+} + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{K}^+$ недостаток белый 3. $\text{Pb}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{KOH} \rightarrow \text{K}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4]$ избыток раствор прозрачный
Hg ₂ ²⁺	$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow$ белый, кристаллический

Таблица 2.5

Катионы третьей группы

Катион	Характерные реакции
Ba ²⁺	$\text{Ba}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaCrO}_4\downarrow$ желтый (реакция протекает в присутствии CH ₃ COOH)
Ca ²⁺	$\text{Ca}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow$ белый
Sr ²⁺	$\text{Sr}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SrSO}_4\downarrow$ «гипсовая вода» белый осадок выпадает через 10...15 мин

Таблица 2.6

Катионы четвертой группы

Катион	Характерные реакции
Al ³⁺	Al ³⁺ + ализарин → осадок красного цвета (добавить водный раствор аммиака)
Cr ³⁺	1. $\text{CrCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NaCl}$ сине-зеленый 2. $2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{Br}_{2\text{водн}} + 10\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 6\text{NaBr} + 8\text{H}_2\text{O}$ желтый раствор
Zn ²⁺	1. $\text{Zn}^{2+} + 4\text{NaOH} + 6\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2 + 4\text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ избыток насыщенный раствор 2. $3\text{Zn}^{2+} + 2\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2\downarrow + 6\text{K}^+$ белый
Sn ²⁺	$3\text{Sn}^{2+} + 2\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + 18\text{NaOH} \rightarrow 3\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + 2\text{Bi}\downarrow + 6\text{NaNO}_3 + 6\text{Na}^+$ черный

Катион	Характерные реакции
Cu^{2+}	1. $\text{Cu}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{Na}^+$ голубой, гелеобразный 2. $\text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow \rightarrow \text{CuO}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ (реакция протекает при нагревании) черный
Cd^{2+}	1. $\text{Cd}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{Na}^+$ белый 2. $\text{Cd}^{2+} + \text{H}_2\text{S}_{\text{водн}} \rightarrow \text{CdS}\downarrow + 2\text{H}^+$ лимонно-желтый
Hg^{2+}	1. $\text{Hg}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Hg}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{Na}^+$ $\text{Hg}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{HgO} + \text{H}_2\text{O}$ оранжево-желтый 2. $\text{Hg}^{2+} + 2\text{KI} \rightarrow \text{HgI}_2\downarrow + 2\text{K}^+$ недостаток оранжевый

Таблица 2.9

Качественные реакции на анионы

Анион	Характерные реакции
Анионы первой группы	
SO_3^{2-}	$\text{SO}_3^{2-} + \text{I}_{2\text{водн}} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI} + \text{SO}_4^{2-}$ (наблюдаем обесцвечивание раствора)
SO_4^{2-}	$\text{SO}_4^{2-} + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{Cl}^-$ белый
CO_3^{2-}	1. $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}^-$ 2. $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ помутнение раствора
SiO_3^{2-}	$\text{SiO}_3^{2-} + 2\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow + 2\text{NH}_4\text{OH} + 2\text{Cl}^-$ бесцветный, гелеобразный
Анионы второй группы	
Cl^-	1. $\text{Cl}^- + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl}\downarrow + \text{NO}_3^-$ белый 2. $\text{AgCl} + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$ избыток (растворение осадка)
I^-	$2\text{I}^- + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbI}_2\downarrow + 2\text{NO}_3^-$ ярко-желтый
Br^-	1. $\text{Br}^- + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgBr}\downarrow + \text{NO}_3^-$ светло-желтый 2. $\text{AgBr} + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Br} + 2\text{H}_2\text{O}$ избыток (осадок AgBr растворяется в избытке NH_4OH)
S^{2-}	$\text{S}^{2-} + 2\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}_2\text{S}\downarrow + 2\text{NO}_3^-$ черный

Анион	Характерные реакции
Анионы третьей группы	
NO_2^-	1. $6\text{KNO}_2 + \text{Co}^{2+} \rightarrow \text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \downarrow + 3\text{K}^+$ 2. $2\text{NO}_2^- + 2(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{N} - \text{N} = \text{O} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-}$ дифениламин ярко-синий раствор (реакция протекает в присутствии концентрированной H_2SO_4) 3. $\text{NO}_2^- + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ фиолетовый бесцветный
NO_3^-	Ионы NO_3^- с дифениламином так же, как и ионы NO_2^- , образуют ярко-синий раствор. Но поскольку нитраты являются сильными окислителями, то обесцвечивание раствора KMnO_4 не происходит
Другие анионы	
CH_3COO^-	1. $3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_3 + 3\text{Cl}^-$ красно-бурый раствор ($\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ гидролизует, образуя осадок красно-бурого цвета) 2. $2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{SO}_4^{2-}$ запах уксуса
CNS^-	$3\text{CNS}^- + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{CNS})_3 + 3\text{Cl}^-$ ярко-красный раствор

Методика 1. Качественный анализ соли неизвестного состава

Большинство соединений с ионным типом связи хорошо растворимы в воде, поэтому их легко анализировать качественными реакциями.

Реактивы и посуда. Анализируемая соль; групповые реагенты (из табл. 2.1–2.9); дистиллированная вода; спирт; пробирки; пипетка; химический стакан на 100 мл; стеклянная палочка; песчаная баня; плитка; спиртовка; фитиль; держатель для пробирок.

Ход работы:

1. У преподавателя получают вещество для анализа.
 2. В стакане на 100 мл растворяют небольшое количество (1/5 часть от высоты пробирки) в 50 мл дистиллированной воды (если вещество не растворяется, то необходимо подогреть раствор), оставшееся вещество оставляют на случай неудачного исхода первой попытки анализа.

3. С помощью пипетки отбирают 5–6 капель анализируемого раствора и переносят в пробирку, а затем добавляют 3–4 капли группового реагента 2 М HCl для II аналитической группы катионов. Если выпадает осадок белого цвета, то в растворе присутствует катион из этой группы. Результат опыта записывают в виде схемы:

исследуемый раствор + 2 М HCl = осадок белого цвета.

Если осадок не выпадает, то катиона этой группы нет в анализируемом растворе. И результат опыта записывают в виде схемы:

исследуемый раствор + 2 М НСl = нет осадка.

4. Затем переходят к исследованию свежей порции анализируемого раствора на содержание катионов III аналитической группы с групповым реагентом 1 М H_2SO_4 . Результаты опыта записывают аналогично п. 3. Последовательно выполняют работу с групповыми реагентами до совпадения признака реакции с табличным (табл. 2.1). Если признаков реакции нет, то делают вывод, что это I аналитическая группа катионов.

5. После определения номера группы катионов аналогично выполняют опыты по установлению группы анионов (табл. 2.2). Некоторые анионы не входят в три аналитические группы по анионам, например CH_3OO^- , CNS^- . Их присутствие устанавливают проведением только характерных или специфических реакций.

6. Установленные группы катионов и анионов проверяют у преподавателя. Если верно определен номер группы катионов и анионов, то переходят к нахождению конкретного катиона и аниона в установленных группах. Для этого проводят характерные или специфические реакции (табл. 2.3–2.9).

При проведении реакции каждый раз используют свежую порцию исследуемого раствора. Например, если группа катионов II (табл. 2.4), то последовательно проводят характерные реакции на каждый катион из этой группы. Для обнаружения ионов Ag^+ к 5–6 каплям анализируемого раствора добавляют реактив K_2CrO_4 , который образует с Ag^+ кирпично-красный осадок. Если осадок образуется, то в анализируемом растворе присутствует Ag^+ . Записывают результат опыта:

исследуемый раствор + K_2CrO_4 = осадок кирпично-красного цвета.

Для сравнения можно провести параллельную реакцию с готовым раствором соли Ag^+ и сравнить цвет осадков.

Анализ соли продолжают до полного совпадения признаков реакций на катион и анион с табличным описанием.

7. На основании проведенных качественных реакций определяют катион и анион вещества, записывают его химическую формулу и уравнения химических реакций, по которым установлено вещество.

Формулируют вывод по работе и предоставляют результат преподавателю.

Дополнительные методы исследования

Опыт выполняется в вытяжном шкафу!

Реакцию окрашивания пламени применяют для обнаружения многих катионов. Для этого используют стеклянную палочку с фитилем,

фитиль смачивают раствором спирта, а затем анализируемым раствором, содержащим катионы определяемого металла. Фитиль вносят в пламя спиртовки – цвет пламени изменяется, горящий фитиль тушат в стакане с водой. Катион металла, находящийся в анализируемом растворе, идентифицируют по цвету пламени (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Качественное определение катионов по окраске пламени

катион	окраска пламени	катион	окраска пламени
K^+	фиолетовый	Sr^{2+}	красный
Na^+	желтый	Cu^{2+}	сине-зеленый
Ca^{2+}	кирпично-красный	Pb^{2+}	голубой
Ba^{2+}	желтовато-зеленый	Sb^{3+}	

Методика 2. Качественное определение легко- и среднерастворимых неорганических соединений в воде, снеге и почве городских улиц

В почве присутствуют легко- и среднерастворимые соединения: карбонаты, хлориды ($NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$), сульфаты, нитраты.

Мешающие факторы. Нельзя одновременно определить хлорид- и сульфат-ионы. Поэтому сначала осаждают сульфат ион-нитратом бария, полученный осадок отфильтровывают, а затем отфильтрованный раствор анализируют на содержание хлорид ионов.

Реактивы и посуда. Анализируемая проба, раствор $Ba(NO_3)_2$ 2 моль/л; раствор $AgNO_3$; раствор HNO_3 ; 10%-й раствор HCl ; 4%-й раствор $(NH_4)_2C_2O_4$; раствор H_2SO_4 ; дифениламин; химические стаканы; воронка с фильтром; стеклянная палочка; песчаная баня; плитка.

Ход работы. Для качественного определения ионов неорганических веществ в почве городских улиц готовят почвенную вытяжку. В коническую колбу на 100 мл вносят 25 г почвы (растертой и просеянной) и заливают 50 мл дистиллированной воды, взбалтывают 15 мин, затем отстаивают 5 мин. После этого раствор отфильтровывают через воронку со складчатым фильтром, для этого его сливают по стеклянной палочке, заполняя воронку с фильтром не более чем на половину (рис. 2.1).

Отфильтрованный раствор анализируют на содержание в нем хлорид-, сульфат-, нитрат анионов и катионов кальция, используя качественные реакции:

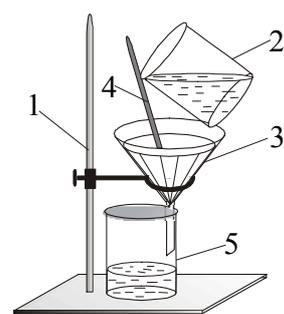
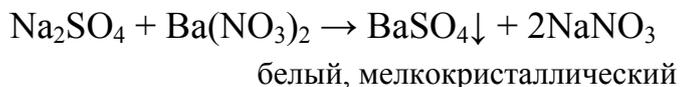


Рис. 2.1. Установка для обычного фильтрования:

- 1 – штатив;
- 2 – стакан с фильтруемой водой;
- 3 – воронка с фильтром;
- 4 – стеклянная палочка;
- 5 – стакан

1. Определение сульфат-иона. К 2 мл анализируемого раствора добавляют 1–2 капли азотной кислоты и 1...2 мл раствора нитрата бария. Раствор в пробирке нагревают до кипения. При наличии сульфатов происходит реакция



По характеру осадка BaSO_4 судят о присутствии сульфат ионов и их содержании (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Характеристика осадка [8]

Осадок	Содержание SO_4^{2-}	
	мг на 100 мл вытяжки	г на 100 г почвы, %
Крупнодисперсный, быстрооседающий на дно	50	0,1
Муть, появляющаяся сразу	10...1	0,01
Муть, появляющаяся медленно	1...0,5	0,001

2. Определение хлорид ионов. Отбирают 5 мл анализируемого раствора, предварительно устранив сульфат-ионы (при их наличии), подкисляют его азотной кислотой (1–2 капли) для разрушения бикарбонатов, прибавляют несколько капель нитрата серебра и перемешивают. По характеру осадка AgCl судят о присутствии хлорид-ионов и их содержании (табл. 2.12).

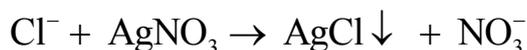
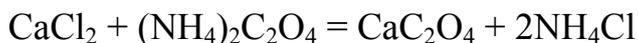


Таблица 2.12

Характеристика осадка [8]

Осадок	Содержание Cl^-	
	мг на 100 мл вытяжки	г на 100 г почвы, %
Хлопьевидный	>10	0,1
Сильная муть	5...10	0,01
Опалесценция	1...0,1	0,001

3. Определение кальция. К 3 мл анализируемого раствора добавляют 1–2 капли 10%-го раствора соляной кислоты и 2 мл 4%-го раствора оксалата аммония.



По характеру осадка CaC_2O_4 судят о присутствии ионов кальция и их содержании (табл. 2.13).

В данном разделе представлены работы, которые могут быть использованы в проектно-исследовательской деятельности студентов для количественного определения катионов и анионов неорганических соединений.

2.2.1. Титриметрический анализ

Объёмный, или титриметрический, метод анализа относится к химическим методам анализа. В его основе лежит проведение химических реакций и установление состояния эквивалентности между взаимодействующими веществами.

Объёмный (титриметрический) анализ основан на измерении объёма раствора реагента (титранта), израсходованного на эквивалентное взаимодействие с определяемым веществом.

Анализ проводится методом титрования.

Титрант (рабочий раствор) – это раствор аналитического реагента с точно известной концентрацией, применяемый для количественного определения веществ.

Растворы с точно известной концентрацией готовят следующими способами:

1. Стандартные растворы – по точной навеске вещества (из установочных (стандартных) веществ). Взвешивают рассчитанную по формуле навеску на аналитических весах (с точностью до четвертого знака) и растворяют в определенном объёме дистиллированной воды.

Установочное (стандартное) вещество – это устойчивое, химически чистое соединение точно известного состава, используемое для уточнения концентрации титранта.

2. Растворы из нестандартных веществ готовят приблизительной концентрации методом разведения, а затем с помощью титрования стандартным раствором определяют точную концентрацию по закону эквивалентов.

3. Раствор титранта можно приготовить из фиксанала – стеклянной запаянной ампулы, содержащей 0,1 моль эквивалентов вещества.

Титрование – это добавление раствора реагента (титранта или рабочего раствора) известной концентрации к анализируемому раствору с целью установления количественного содержания определяемого вещества.

Состоянием эквивалентности называется точка эквивалентности (Т. Э.), при которой число моль эквивалентов реагента (титранта) равно числу моль эквивалентов анализируемого вещества. Точку эквивалентности при титровании определяют с использованием индикатора.

Индикатор – это вещество, присутствующее в системе и вызывающее изменение раствора (изменение цвета, появление осадка и т. д.) в момент наступления состояния эквивалентности.

Способы выражения концентрации растворов и расчеты в объемном анализе

Количественный состав раствора в титриметрическом анализе выражают с помощью молярной концентрации – $C(B)$.

Молярная концентрация $C(B)$ (молярность) – содержание количества растворенного вещества (B) в одном литре раствора:

$$C(B) = \frac{n(B)}{V} = \frac{m(B)}{M(B) \cdot V} \text{ (моль/л)}, \quad (1)$$

где $n(B)$ – количество вещества, моль; $m(B)$ – масса растворенного вещества, г; $M(B)$ – молярная масса вещества (B), г/моль; V – объём раствора, л.

Для удобства расчетов в аналитической химии используют вспомогательный способ выражения состава раствора – молярную концентрацию эквивалентов $C_{\text{эк}}$ (нормальность) – это содержание количества вещества (B) эквивалентов в одном литре раствора:

$$C_{\text{эк}} = \frac{n_{\text{эк}}(B)}{V} = \frac{m(B)}{M_{\text{эк}}(B) \cdot nV} \text{ (моль/л)}, \quad (2)$$

где $M_{\text{эк}}(B)$ – молярная масса эквивалентов вещества (B), г/моль.

Также могут быть использованы и другие способы выражения концентраций растворов: массовая доля, титр, моляльная концентрация, молярная (молярная) доля.

Массовая доля вещества в растворе (ω) – масса растворенного вещества в 100 г раствора, выражается в долях или процентах:

$$\omega(B) = \frac{m(B)}{m}; \quad \omega(B) = \frac{m(B)}{m} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где m – масса раствора, г, которую можно определить по формуле

$$m = V \cdot \rho, \quad (4)$$

где V – объём раствора, мл; ρ – плотность раствора г/мл.

Титр (Т) – масса растворенного вещества (B) в одном миллилитре раствора:

$$T(B) = \frac{m(B)}{V} \text{ (г/мл)}. \quad (5)$$

Моляльная концентрация (моляльность) C_m – содержание количества вещества (B) в одном килограмме растворителя:

$$C_m = \frac{n(B)}{m(H_2O)} = \frac{m(B)}{M(B) \cdot m(H_2O)} \text{ (моль/л)}, \quad (6)$$

где $m(H_2O)$ – масса растворителя, кг.

Молярная (молярная) доля χ – содержание количества моль растворенного вещества (В) к общему количеству моль всех веществ в растворе, выражается в долях или процентах:

$$\chi = \frac{n(\text{В})}{\sum n}; \quad \chi = \frac{n(\text{В})}{\sum n} \cdot 100 \% . \quad (7)$$

Основной закон, применяемый в титриметрическом анализе, – закон эквивалентов. В соответствии с законом эквивалентов количества веществ эквивалентов реагирующих соединений равны.

$$n_{\text{эк}}(\text{В}_1) = n_{\text{эк}}(\text{В}_2) . \quad (8)$$

Следствие из закона эквивалентов имеет вид

$$C_{\text{эк}}(\text{В}_1) \cdot V(\text{В}_1) = C_{\text{эк}}(\text{В}_2) \cdot V(\text{В}_2) , \quad (9)$$

где $C_{\text{эк}}(\text{В}_1)$, $C_{\text{эк}}(\text{В}_2)$ – молярные концентрации эквивалентов реагирующих веществ В_1 и В_2 , моль/л; $V(\text{В}_1)$, $V(\text{В}_2)$ – объемы реагирующих веществ В_1 и В_2 , мл.

В табл. 2.14 приведены расчетные формулы взаимосвязи между способами выражения концентрации растворов.

Таблица 2.14

Основные способы выражения состава растворов и связь между ними

ω массовая доля	C , моль/л, – молярная концентрация	$C_{\text{эк}}$, моль/л, – Молярная концентрация эквивалентов	$T(\text{В})$, г/мл, – титр
$\omega(\text{В}) = \frac{m(\text{В})}{m} \cdot 100 \%$	$C(\text{В}) = \frac{n(\text{В})}{V}$	$C_{\text{эк}} = \frac{n_{\text{эк}}(\text{В})}{V}$	$T(\text{В}) = \frac{m(\text{В})}{V}$
$\omega(\text{В}) = \frac{C(\text{В}) \cdot M(\text{В})}{1000 \cdot \rho}$	$C(\text{В}) = \frac{m(\text{В})}{M(\text{В}) \cdot V}$	$C_{\text{эк}} = \frac{m(\text{В})}{M_{\text{эк}}(\text{В}) \cdot V}$	$T(\text{В}) = \frac{C(\text{В}) \cdot M(\text{В})}{1000}$
$\omega(\text{В}) = \frac{C_{\text{эк}}(\text{В}) \cdot M_{\text{эк}}(\text{В})}{1000 \cdot \rho}$	$C(\text{В}) = f \cdot C_{\text{эк}}(\text{В})$	$M_{\text{эк}}(\text{В}) =$ $= M(\text{В}) \cdot f$	$T(\text{В}) =$ $= \frac{C_{\text{эк}}(\text{В}) \cdot M_{\text{эк}}(\text{В})}{1000}$

Примечание. $n(\text{В})$ – количество вещества (В), моль; $m(\text{В})$ – масса растворенного вещества (В), г; m – масса раствора, г; ρ – плотность раствора, г/мл; V – объем раствора, мл или л; f – фактор эквивалентности; $M(\text{В})$ – молярная масса вещества (В), г/моль; $M_{\text{эк}}(\text{В})$ – молярная масса эквивалентов вещества (В), г/моль.

Классификация методов объемного анализа по типу реакции, лежащей в основе титрования

1. *Метод нейтрализации (кислотно-основное титрование)*. В основе метода лежат кислотно-основные реакции. Метод используют для количественного определения кислот и оснований.

В методе нейтрализации в процессе титрования изменяется среда раствора, т. е. рН. Для установления точки эквивалентности (Т. Э.) используют кислотно-основные индикаторы: метилоранж, фенолфталеин и другие, окраска которых зависит от значения рН раствора.

Индикаторы представляют собой органические кислоты и основания сложного строения, характеризующиеся разной окраской молекулярной и ионизированной форм вещества. Равновесие ионизации индикатора $\text{Hind} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Ind}^-$ смещается по мере изменения концентрации H^+ в ходе титрования. Для каждого индикатора определено значение интервала рН перехода окраски (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Переход окраски индикатора в разных средах

Индикатор	рН перехода	Кислая среда	Нейтральная среда	Щелочная среда
Фенолфталеин	8,2...10	Бесцветный	Бледно-розовая	Малиновый
Метилоранж	3,1...4,4	Розовый	Оранжевый	Желтый
Лакмус	4...6	Красный	Фиолетовый	Синий

2. *Окислительно-восстановительное титрование*. В основе метода лежат окислительно-восстановительные реакции.

К окислительно-восстановительным методам относят перманганатометрию, иодометрию, броматометрию и др. В качестве титрантов в этих методах применяют растворы окислителей (KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KBrO_3 , I_2 и др.) и восстановителей ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, NaAsO_2 , SnCl_2 и др.). Эти методы находят широкое применение, например для анализа воды.

В зависимости от степени загрязнения вода содержит разную концентрацию вредных веществ – восстановителей, например органические вещества – нефтепродукты, ионы железа (II), пероксид водорода др. Эти восстановители окисляются сильными окислителями, например перманганатом, бихроматом и т. п.

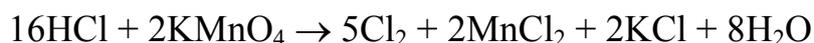
2.1. Перманганатометрическое определение. Рабочий раствор (титрант) KMnO_4 – сильный окислитель. В зависимости от условий реакции молекула может приобрести от 1 до 5 электронов:

• в щелочной среде:	• $\text{MnO}_4^- + \bar{e} \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$
• в нейтральной среде:	• $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$
• в кислой среде:	• $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

Последняя реакция имеет наибольшее значение в количественном анализе. Кроме того, ионы MnO_4^- окрашены в красно-фиолетовый цвет и восстанавливаются в почти бесцветные Mn^{2+} . Это позволяет точно зафиксировать точку эквивалентности (безындикаторное титрование). Таким образом, KMnO_4 является не только раствором титранта, но и индикатором в кислой среде.

Титрование в нейтральной, слабощелочной или слабокислой среде затруднено, т. к. образуется MnO_2 – осадок коричнево-бурого цвета. Это не позволяет точно установить точку эквивалентности.

Следует иметь в виду, что титрование проводят в сернокислой среде (раствор H_2SO_4), т. к. в присутствии соляной кислоты реакция между анализируемым веществом (Fe^{2+}) и MnO_4^- подавляется реакцией между MnO_4^- и Cl^- :

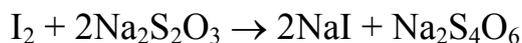


Это вызывает повышенный расход раствора KMnO_4 , и результат анализа становится недостоверным.

Раствор HNO_3 также нельзя применять, т. к. азотная кислота является сильным окислителем и будет реагировать с анализируемым веществом. Таким образом, расход на титрование KMnO_4 будет меньше, что также приведет к недостоверным результатам.



2.2. Иодометрическое определение. Основано на титриметрической реакции иода с тиосульфатом натрия:



Для определения точки эквивалентности используют в качестве индикатора крахмал, образующий с иодом комплексное соединение синего цвета. При исчезновении иода в процессе реакции наблюдается четкий переход от синего раствора к бесцветному. Особенность применения крахмала состоит в том, что его добавляют в конце титрования, когда раствор становится бледно-желтым.

Наибольшее значение иодометрия имеет для определения многих окислителей и восстановителей, например озона, который используют для обеззараживания воды и устранения некоторых ее нежелательных примесей или свойств.

3. *Метод комплексонометрии.* В основе метода находятся реакции образования комплексных соединений.

Метод комплексонометрии широко распространен для установления ионов Mg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} .

Комплексонометрия – титриметрический метод анализа, в основе которого лежит реакция взаимодействия определяемых ионов металлов с комплексоном. Комплексоны – аминополикарбоновые кислоты и их соли, способные образовывать сразу несколько связей с ионами металлов: ковалентные – Me^{n+} с карбоксильными группами, донорно-акцепторные – Me^{n+} с азотом аминогрупп.

Наибольшее значение из комплексонов имеет этилендиаминтетрауксусная кислота и ее динатриевая соль (комплексон III или трилон Б – Na_2H_2T).

Взаимодействие катиона металла с трилоном Б можно представить схемой, изображенной на рис. 2.2.

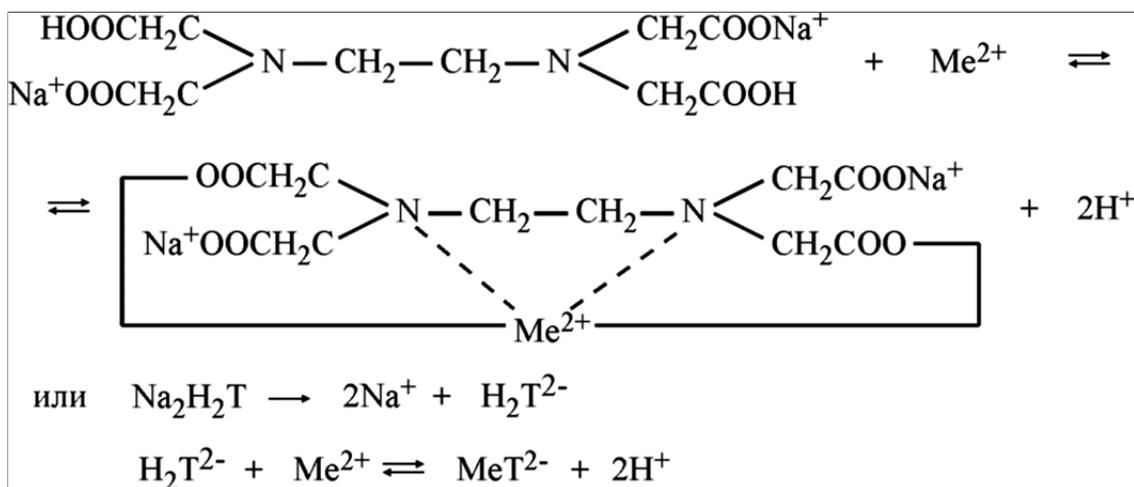
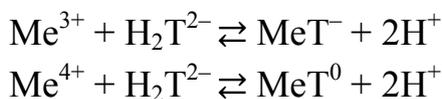


Рис. 2.2. Схема взаимодействия трилона Б с катионом Me^{2+}

При титровании определяемых металлов, имеющих разные степени окисления, они связываются в бесцветные комплексоанаты металлов, например:



Полнота протекания реакции комплексообразования увеличивается по мере связывания ионов H^+ в щелочной среде. Но в некоторых случаях требуется создание оптимального значения рН раствора, т. к. в избытке гидроксид-ионов могут образовываться нерастворимые гидроксиды определяемых металлов. Поэтому постоянство рН во время анализа поддерживают с помощью аммиачно-аммонийного буферного раствора ($NH_4OH - NH_4Cl$).

Точку эквивалентности (Т.Э.) в комплексонометрии устанавливают индикатором – эриохромом черным.

Метод применяют для определения жесткости воды.

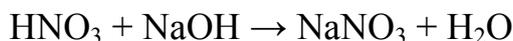
Работа 2. Кислотно-основное титрование

Методом кислотно-основного титрования могут быть определены кислоты и щелочи, содержащиеся в природных объектах, в результате жизнедеятельности человека. Например, кислота может попасть в воду, почву, а ее испарения в атмосферу из-за разлива ее при перевозке по железной дороге, или при выбросе в атмосферу большого количества газообразных веществ. Например, накопление SO_2 в атмосфере сопровождается образованием серной и сернистой кислот вследствие взаимодействия SO_2 с парами воды и кислородом. Образуется так называемый «кислотный туман».

Методика 1. Определение концентрации гидроксида натрия в растворе

Реактивы и посуда. Рабочий раствор HNO_3 (0,1 моль/л); анализируемый раствор NaOH ; раствор индикатора метилового оранжевого; вода дистиллированная; бюретка; мерные пипетки на 10 мл; мерная колба объемом 50 мл; конические колбы.

Ход работы. В основе титрования лежит реакция нейтрализации:



Для выполнения работы у преподавателя получают анализируемый раствор, содержащий щелочь. Разбавляют раствор дистиллированной водой до метки 50 мл и перемешивают. В колбы для титрования отбирают пипеткой на 10 мл раствор NaOH , добавляют 1–2 капли индикатора и медленно титруют раствором HNO_3 (0,1 моль/л) до перехода окраски раствора из желтой в оранжевую. Результаты титрования записывают в таблицу.

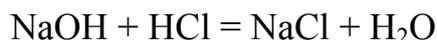
№ пробы	$V(\text{NaOH})$	$V(\text{HNO}_3)$	$V_{\text{ср}}(\text{HNO}_3) = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$	$C_{\text{эк}}(\text{NaOH})$
1				
2				
3				

Эквивалентную концентрацию гидроксида натрия определяют по закону эквивалентов (формула (9)).

Методика 2. Определение концентрации соляной кислоты в растворе

Реактивы и посуда. Фиксальный рабочий раствор NaOH (0,1 моль/л); анализируемый раствор, содержащий соляную кислоту (HCl); раствор индикатора метилового оранжевого; вода дистиллированная; бюретка; мерные пипетки на 10 мл; конические колбы.

Ход работы. В основе титрования лежит реакция нейтрализации:



Для выполнения работы получают у преподавателя анализируемый раствор, содержащий кислоту. Разбавляют раствор дистиллированной водой до метки 50 мл и перемешивают. В колбы для титрования отбирают пипеткой на 10 мл раствор HCl, добавляют 1–2 капли индикатора и медленно титруют раствором NaOH 0,1 моль/л до перехода окраски раствора из розовой в оранжевую. Результаты титрования записывают в таблицу.

№ пробы	$V(\text{HCl})$	$V(\text{NaOH})$	$V_{\text{cp}}(\text{HNO}_3) = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$	$C_{\text{экв}}(\text{HCl})$
1				
2				
3				

Эквивалентную концентрацию кислоты определяют по закону эквивалентов (формула (9)).

Работа 3. Окислительно-восстановительное титрование

Окислительно-восстановительным титрованием определяют восстановители, к одним из которых относят сероводород. Процесс его образования наблюдают на болотах, в устьях рек и при загрязнении водоемов нефтепродуктами.

Выделяющийся сероводород – бесцветный газ, растворим в воде и органических растворителях, является восстановителем, ПДК сероводорода 0,4 мг/кг почвы.

Определение основано на окислении сероводорода иодом, который образуется при взаимодействии иодида калия с KMnO_4 в кислой среде. Нижний предел обнаружения – 0,32 мг/кг почвы.

Методика 1. Определение содержания сероводорода в почве, загрязненной нефтепродуктами

Реактивы и посуда. 30%-й раствор серной кислоты; 10%-й раствор иодида калия; 1%-й раствор крахмала растворимого; 0,01 М раствор перманганата калия; 0,005 М раствор тиосульфата натрия; модельный раствор, содержащий сероводород (1 л); коническая колба на 250 мл; пипетки на 1 мл; бюретки для титрования; мерные цилиндры.

Ход работы. В коническую колбу с помощью цилиндра отмеряют 100 мл модельного раствора, содержащего сероводород, затем добавляют несколько капель 30%-го раствора H_2SO_4 , приливают 1 мл 10%-го раствора KI, взбалтывают и приливают из бюретки 0,01 М раствор KMnO_4 до появления желтой окраски. Избыток иода оттитровывают раствором тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) В конце титрования прибавля-

ют несколько капель 1%-го раствора крахмала (не появляется синее окрашивание).

Вычисления. Разность между объемами прилитого 0,01 М раствора KMnO_4 (V_1) и раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (V_2), израсходованного на титрования, соответствует количеству 0,01 М раствора иода, израсходованного на окисление H_2S в 100 мл модельного раствора.

1 мл 0,01 н раствора иода соответствует 0,17 мг H_2S .

Формула для расчета: $C(\text{H}_2\text{S}) = 2 \cdot (V_1 - V_2) \cdot 0,17$ (мг/л).

Пример расчета: 100 г почвы помещают в 200 мл дистиллированной воды, через три минуты отфильтровывают (рис. 2.1) и отмеряют мерным цилиндром пробу для анализа объемом 100 мл. Окислительно-восстановительным титрованием определяют разность между объемами прилитого 0,01 М раствора KMnO_4 и раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, которая составляет 3 мл, тогда $0,17 \cdot 3 = 0,51$ мг в 100 мл модельного раствора. Концентрацию сероводорода в почве (мг/кг) рассчитывают по формуле

$$C(\text{H}_2\text{S}) = 1000 \cdot \frac{2 \cdot 0,51}{100} = 10,2 \text{ (мг/кг)}.$$

Работа 4. Определение перманганатной окисляемости

Окисляемость воды – это количество кислорода эквивалентное количеству израсходованного окислителя (KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) на окисление содержащихся в воде органических и неорганических веществ. Различают перманганатную (KMnO_4) и бихроматную ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) окисляемость.

Методом перманганатометрии в воде могут окисляться не только органические восстановители, но и ионы NO_2^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S и др.

По значению перманганатной окисляемости оценивают пригодность воды для хозяйственных и питьевых целей. Перманганатная окисляемость должна не превышать 3,0 мг/л кислорода. Точность метода – 0,4 мг/л кислорода.

Мешающие факторы. В процессе кипения могут произойти следующие изменения первоначального фиолетового цвета раствора перманганата:

1) раствор обесцвечивается, что свидетельствует о большом содержании в данном объеме пробы восстанавливающих веществ. В таком случае определение повторяют и берут меньший объем исследуемой пробы;

2) раствор приобретает коричнево-бурый цвет, что свидетельствует о недостаточном количестве H_2SO_4 . В таком случае в раствор следует добавить еще 5 мл H_2SO_4 и продолжить определение.

Реактивы и посуда. Раствор перманганата калия (KMnO_4); 0,01 н раствор щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$); 30%-й раствор серной кислоты,

предварительно ее окисляют на холоде раствором KMnO_4 до слабо-розовой окраски для удаления возможных восстановителей; модельный раствор, содержащий мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; бюретка для титрования на 50 мл; мерные пипетки на 10, 15, 50 мл; колбы конические термостойкие на 100, 250 мл; электроплитка; стеклянная воронка.

Ход работы. В термостойкую колбу на 100 мл отмеряют пипеткой 50 мл модельного раствора, доводят общий объем до 100 мл дистиллированной водой. В колбу прибавляют 5 мл 30%-го раствора H_2SO_4 и 15 мл 0,01 н раствора KMnO_4 . Затем нагревают пробу до первых пузырьков пара, и с этого момента содержимое колбы кипятят 10 мин. При нагревании необходимо в горло колбы поместить стеклянную воронку во избежание разбрызгивания содержимого колбы. Нагревание проводят до тех пор, пока раствор не приобретет красноватый оттенок или остается после 10-минутного кипячения окрашенным в фиолетовый цвет. Это свидетельствует о том, что определение идет правильно.

В окрашенный раствор пипеткой приливают 15 мл 0,01 н раствора щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$). Содержимое колбы при этом обесцвечивается. Частично KMnO_4 расходуется на окисление органических веществ в исследуемой пробе, другая его часть на окисление щавелевой кислоты, поэтому при добавлении $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ в пробу 15 мл создается ее избыток. Этот избыток титруют раствором KMnO_4 до устойчивой слабо-розовой окраски.

Вычисления. Расчет кислорода проводят по формуле

$$\text{O}_2 = \frac{8 \cdot N \cdot (A - B) \cdot 1000}{V} \text{ (мг/л)},$$

где 8 – эквивалентная масса кислорода; N – нормальность раствора KMnO_4 (0,001 н); A – количество KMnO_4 , израсходованного на окисление органических веществ и 15 мл щавелевой кислоты, мл; B – количество KMnO_4 , израсходованного на окисление 15 мл щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), мл; V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Работа 5. Комплексометрическое титрование. Определение и устранение жесткости воды

Термин «жесткая вода» первоначально значил, что в такой воде не пенится мыло. Причиной этого является то, что жесткая вода содержит значительное количество ионов кальция и магния (Ca^{2+} и Mg^{2+}), которые образуют нерастворимые соли с анионами большинства кислот, как органических, так и неорганических. Использование жесткой воды в технических и бытовых целях приводит к осаждению солей кальция и магния на поверхности стенок тех аппаратов, где она применяется (котлы, нагревательные и отопительные приборы, трубы, бойлеры и т. п.), в ви-

де накипи. Поэтому во многих случаях жесткость воды является нежелательным явлением и ее следует устранять. Устранение жесткости воды называется ее умягчением.

Различают жесткость воды двух видов – временную и постоянную. Временная жесткость обусловлена растворенными в воде гидрокарбонатами кальция и магния, поэтому ее называют также гидрокарбонатной жесткостью. Временная жесткость может быть устранена кипячением воды; при кипячении растворимые в воде гидрокарбонаты превращаются в малорастворимые карбонаты:



Постоянная жесткость создается главным образом растворенными в воде хлоридами и сульфатами магния и кальция (CaCl_2 , MgSO_4 , MgCl_2). В отличие от временной, постоянная жесткость при кипячении не устраняется. По содержанию ионов кальция и магния выделяют четыре типа жесткости воды (табл. 2.16).

Таблица 2.16

Характеристика жесткости воды

Число ммоль/л ионов Mg^{2+} и 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. Эту задачу решают 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:

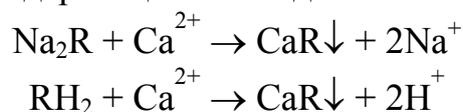


Таким образом, после выпадения осадков содержание ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} в воде уменьшается. Этот способ пригоден для устранения только временной жесткости воды, т. к. сульфаты, нитраты и хлориды этих металлов при нагревании и кипячении воды остаются в растворе. В промышленных масштабах этот метод применяют в тех случаях, когда вода подвергается нагреванию.

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), например гашеную известь или карбонат 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 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , содержащиеся в воде:



где R^{2-} – радикал полимерной цепи.

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

Методика 1. Определение и устранение жесткости воды

Реактивы и посуда. Индикаторы эриохром черный с NaCl и мурексид с NaCl; аммиачный буферный раствор pH = 9,8; 1 н раствор NaOH; трилон Б (0,1 моль/л); ионообменная смола КУ08; дистиллированная вода; бюретки вместимостью 25 мл; пипетки вместимостью 2,0; 5,0; 50 мл; конические колбы вместимостью 250 мл; воронки для бюреток; две колонки, заполненные ионообменной смолой.

Ход работы:

1. Определение общей жесткости методом комплексонометрии. В коническую колбу наливают 50 мл анализируемой воды, приливают 5 мл аммиачного буферного раствора с pH = 9,8, прибавляют на кончике шпателя несколько кристалликов индикатора эриохрома черного. Раствор перемешивают и титруют 0,1 н раствором трилона Б до перехода бордовой окраски в синюю.

Вычисления. Общую жесткость $\text{Ж}_{\text{общ}}$ в ммоль/л рассчитывают по формуле

$$\text{Ж}_{\text{общ}} = \frac{0,1 \cdot V_1 \cdot 1000}{V_2} \text{ (ммоль/л)},$$

где V_1 – объем трилона Б, мл; 0,1 н – молярная концентрация эквивалентов трилона Б, моль/л; V_2 – объем воды, взятой для анализа, мл (50 мл).

2. Комплексометрическое определение ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

В коническую колбу наливают 50 мл анализируемой воды, затем добавляют 2 мл 1 н раствора NaOH и несколько кристалликов индикатора мурексида. Раствор перемешивают и титруют 0,1 н раствором трилона Б до перехода малиновой окраски в фиолетовую.

Вычисления. Содержание Ca^{2+} в ммоль/л рассчитывают по формуле

$$C(\text{Ca}^{2+}) = \frac{V_1 \cdot 0,1 \cdot 1000}{V_2} \text{ (ммоль/л)}.$$

Концентрацию ионов магния вычисляют по формуле

$$C(\text{Mg}^{2+}) = J_{\text{общ}} - C(\text{Ca}^{2+}) \text{ (ммоль/л)}.$$

По полученным экспериментальным данным делают вывод.

3. Устранение жесткости воды ионообменными смолами. В колонку (бюретку), заполненную катионитом (H_2R или Na_2R) и дистиллированной водой, добавляют 20 мл водопроводной воды. Открывают кран бюретки и по каплям очищенную воду собирают в чистый стакан. Воду спускают до уровня катионита. Осушать катионит нельзя, слой его должен быть в воде. Затем определяют жесткость очищенной воды по методике, указанной выше (пп. 1, 2).

2.2.2. Физико-химические методы анализа

Фотоколориметрия

В этом разделе представлены теоретические основы метода фотоколориметрии и его применение для количественного определения токсичных веществ в сточных водах, воздухе, почве.

Фотоколориметрией называют методы анализа, основанные на измерении поглощения света окрашенными растворами в видимой области спектра.

Интенсивность окраски раствора находится в прямой зависимости от концентрации растворенного вещества и толщины слоя раствора. Эта зависимость выражается основным законом колориметрии: растворы одного и того же вещества при одинаковой концентрации этого вещества и толщине слоя раствора всегда поглощают равное количество световой энергии, т. е. светопоглощение таких растворов одинаковое (закон Бугера–Ламберта–Бера).

Если пучок лучей белого света пропустить через стеклянную кювету, наполненную окрашенным прозрачным раствором, то интенсивность света будет ослабевать в результате поглощения лучистой энергии окрашенными частицами. Поэтому интенсивность излучения, прошедшего через кювету с окрашенным раствором, будет меньше интенсивности пучка света, входящего в кювету.

Закон Бугера–Ламберта–Бера можно выразить уравнением

$$I_i = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l}, \quad (10)$$

где I_i – интенсивность светового потока, прошедшего через раствор; I_0 – интенсивность падающего на раствор светового потока; ε – коэффициент поглощения света – постоянная величина; l – толщина слоя раствора, см; c – концентрация раствора, моль/л.

Если уравнение закона прологарифмировать, то оно примет вид:

$$\lg \frac{I_i}{I_0} = -\varepsilon \cdot c \cdot l. \quad (11)$$

Величину $\lg \frac{I_i}{I_0}$ называют оптической плотностью раствора D :

$$D = \lg \frac{I_i}{I_0} = -\varepsilon \cdot c \cdot l. \quad (12)$$

Оптическая плотность прямо пропорциональна концентрации окрашенного раствора и толщине слоя раствора. Если графически изобразить зависимость оптической плотности от концентрации окрашенного раствора, то, откладывая по оси абсцисс концентрацию раствора, а по оси ординат его оптическую плотность, получим прямую, проходящую через начало координат (градуировочный график).

Интенсивность окраски растворов измеряют визуальным и фотокolorиметрическими методами.

Визуальная колориметрия. Метод стандартных серий

Визуальные методы в значительной степени субъективны, т. к. сравнение интенсивности окрашивания растворов проводят невооруженным глазом. К визуальным колориметрическим методам относят метод стандартных серий.

Готовят ряд стандартных растворов какого-либо вещества с постепенно изменяющимися концентрациями в определенном объеме растворителя, например 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 мг/л. Помещают объем стандартного раствора и такой же объем анализируемого раствора в пробирку или цилиндр, добавляют равные объемы необходимых реактивов. Сравнивают интенсивность полученной окраски анализируемого и стандартных растворов. Если окраска анализируемого раствора по интенсивности совпадает с цветом стандартного раствора, имеющего концентрацию, например, 0,4 мг/л данного вещества, то концентрация его в анализируемом растворе равна 0,4 мг/л. Если окраска анализируемого раствора соответствует промежуточной концентрации,

например между 0,4 и 0,5 мг/л, то концентрацию анализируемого раствора берут средней между соседними концентрациями стандартных растворов (приблизительно 0,45 мг/л).

Фотоколориметрия с использованием прибора КФК-2МП

Порядок работы на фотоколориметре КФК-2МП, снабженным микропроцессором:

1. Включают прибор, затем включают тумблер на задней стенке прибора.

2. Открывают кюветное отделение и нажимают на клавишу «Пуск» (высвечивается мигающая (,), выдерживают 15 мин).

3. Ручкой фотоприемника устанавливают длину волны. Длина волны указана в каждой работе.

4. В кюветное отделение помещают кюветы с дистиллированной водой в дальний кюветодержатель и исследуемый раствор – в ближний, крышку кюветного отделения оставляют открытой.

5. Устанавливают нулевую точку. Для этого нажимают на клавишу «Ш(0)». На цифровом табло справа от мигающей (,) высвечивается значение, которое должно быть не менее 0,01 и не более 1,000, а слева – символ «0».

6. Закрывают крышку кюветного отделения. В световой поток вводится кювета с дистиллированной водой, которая находится в дальнем гнезде кюветодержателя. Нажимают на клавишу «К(1)».

7. Ручкой вводят в световой поток кювету с исследуемым раствором и нажимают клавишу «D(5)». На цифровом табло слева от мигающей (,) появляется символ «5», означающий, что произошло измерение оптической плотности. Отсчет на цифровом табло справа от мигающей (,) соответствует оптической плотности исследуемого раствора.

8. Убирают кюветы из кюветодержателя и закрывают крышку кюветного отделения.

9. Отключают прибор, нажав на клавишу «Пуск», выключают тумблер и отсоединяют от сети.

Если в лабораторной работе не указаны длина волны и номер кюветы, то проводят экспериментально выбор светофильтра и кювет:

1. Выбор кюветы. Предварительный выбор кювет проводят визуально. Если раствор интенсивно окрашен (темный), следует использовать кюветы с малой рабочей длиной (1...5 см). В случае слабо окрашенных растворов рекомендуют работать с кюветами с большей рабочей длиной (6...10 см). При правильном выборе кюветы относительная ошибка определения концентрации раствора будет достигать минимума при значении оптической плотности в интервале 0,2...0,5.

2. Выбор светофильтра. Наливают раствор в кювету и определяют оптическую плотность для всех светофильтров. По полученным данным строят кривую, откладывая по оси абсцисс значения длин волн, по оси ординат – соответствующие значения оптической плотности раствора. Светофильтр для работы выбирают тот, при котором значение оптической плотности максимально.

Построение градуировочного графика данного вещества

Готовят ряд растворов данного вещества с известными концентрациями. Измеряют оптические плотности всех растворов на фотоколориметре КФК-2МП и строят градуировочный график, откладывая по оси абсцисс известные концентрации, а по оси ординат – экспериментально полученные значения оптической плотности. По измеренному значению оптической плотности из калибровочного графика определяют неизвестную концентрацию вещества в исследуемом растворе. При расчете концентрации необходимо учитывать разбавление или концентрирование объема пробы.

$$C = \frac{C_0 \cdot V}{V_1}, \quad (13)$$

где C – концентрация в исследуемом растворе, моль/л; C_0 – концентрация из градуировочного графика, моль/л; V – объем колбы, мл; V_1 – объем пробы, мл.

Работа 6. Определение кремния в водном растворе

Определение силикат ионов, согласно РД 52.24.433-2005 [14], основано на их взаимодействии с молибдатом аммония в кислой среде с образованием желтой кремнемолибденовой гетерополикислоты. Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на спектрофотометре ($\lambda = 410$ нм) или на фотоколориметре с фиолетовым светофильтром.

Мешающие факторы:

1. Восстановители, в том числе и сульфиды, устраняют добавлением нескольких кристаллов персульфата аммония.
2. Железо при концентрации свыше 20 мг/л.
3. Фосфаты – в процессе анализа устраняют добавлением винной кислоты.
4. Цветность устраняют компенсацией окраски во время фотометрирования. Для этого проводят измерение оптической плотности фона анализируемой воды и полученное значение вычитают из оптической плотности пробы.
5. Мутность устраняют фильтрованием.

6. Высокая минерализация воды вызывает понижение оптической плотности анализируемой пробы на 20...25 %. Для устранения этого влияния устанавливают градуировочную зависимость, используя растворы с такой же величиной минерализации.

Реактивы и посуда:

1. Молибдат аммония. Для приготовления 5%-го раствора 5,0 г $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 95 мл дистиллированной воды. Если соль плохо растворяется, то раствор слегка нагревают. Срок хранения раствора – 1 месяц.

2. Винная кислота. Для приготовления 10%-го раствора 10 г винной кислоты растворяют в 90 мл дистиллированной воды.

3. Соляная кислота. Для приготовления 0,5 М раствора к 480 мл дистиллированной воды приливают 21 мл концентрированной соляной кислоты и перемешивают.

4. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, конические колбы объемом 50 мл, мерные пипетки на 1,0; 5,0; 10 мл, цилиндры.

Ход работы. В сухую коническую или плоскодонную колбу вместимостью 50 мл наливают 25 мл тщательно перемешанной пробы или меньший объем пробы, доведенный до 25 мл дистиллированной водой. К пробе добавляют 1 мл 0,5 М раствора соляной кислоты, 2,5 мл 5%-го раствора молибдата аммония (не допуская перерыва), перемешивают и через 10 мин приливают 2,5 мл 10%-го раствора винной кислоты. Пробу перемешивают и через 10...15 мин измеряют оптическую плотность на фотоколориметре при $\lambda = 410$ нм в кюветах с толщиной поглощающего слоя $l = 1$ см относительно дистиллированной воды.

Вычисления. Расчет результатов проводят по формуле

$$C = \frac{D - D_0}{\varepsilon} \cdot \frac{25}{V_{\text{пр}}} \cdot 28\,000,$$

где C – концентрация кремния, мг/л; D, D_0 – оптическая плотность пробы и холостой пробы соответственно; ε – коэффициент экстинкции, л/(моль·см); 25 – объем, до которого доводится проба перед введением реактивов, мл; $V_{\text{пр}}$ – объем пробы взятый для анализа, мл; 28 000 – молекулярный вес кремния, мг/моль.

Пример построения градуировочного графика. Для приготовления стандартной шкалы используют государственный стандартный образец (ГСО) – 1,0 мг/мл (1000 мг/л). Раствор I готовят из ГСО. Содержимое ампулы (7,5 мл) наливают в мерную колбу и разбавляют дистиллированной водой до 100 мл. Концентрация кремния в полученном растворе будет равна 75 мг/л ($2,69 \cdot 10^{-3}$ моль/л) согласно расчету:

$$\frac{7,5 \text{ мл} \cdot 1000 \text{ мг/л}}{100 \text{ мл}} = 75 \text{ мг/л}.$$

Градуировочную шкалу готовят в мерных колбах вместимостью 25 мл. Автоматической пипеткой отбирают последовательно 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1 мл раствора I и доводят объем колбы до метки дистиллированной водой для получения соответствующих значений концентраций: 0; $4,29 \cdot 10^{-5}$; $8,57 \cdot 10^{-5}$; $12,86 \cdot 10^{-5}$; $16,07 \cdot 10^{-5}$; $19,29 \cdot 10^{-5}$; $22,50 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Далее выполняют определение кремния по методике, описанной выше. Полученные значения оптической плотности растворов записывают в табл. 2.17.

Таблица 2.17

Значения концентрации и оптической плотности для построения градуировочного графика

Концентрация кремния	$C \cdot 10^{-5}$, моль/л	0	4,29	8,57	12,86	16,07	19,29	22,50
	мг/л		1,2	2,4	3,6	4,5	5,4	6,3
Оптическая плотность D	0,018	0,018	0,076	0,125	0,18	0,220	0,254	0,295
			0,073	0,123	0,18	0,210	0,26	0,30
$D_{\text{cp}} - D_0$	0	0	0,058	0,107	0,162	0,202	0,236	0,277
			0,055	0,105	0,162	0,202	0,242	0,282

Пример градуировочного графика представлен на рис. 2.3.

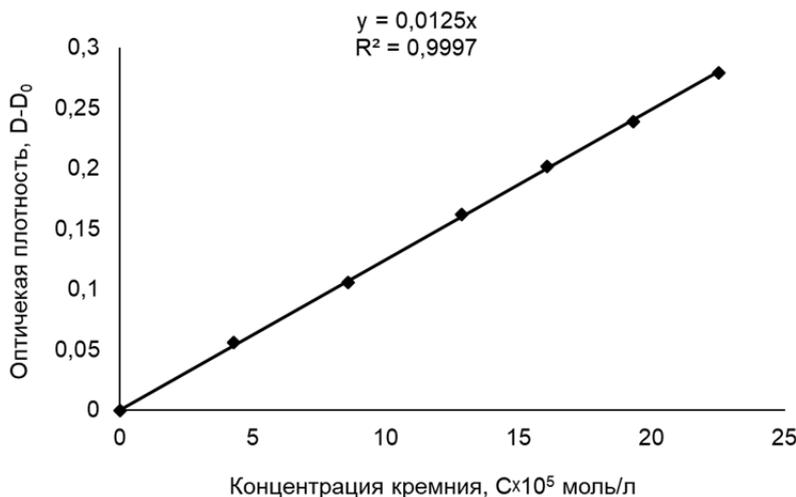


Рис. 2.3. Градуировочный график определения кремния при длине волны 410 нм

Из графика (рис. 2.3) определяют коэффициент экстинкции. Для этого строят линию тренда – получают линейную зависимость. Значение среднего квадратичного отклонения (R) должно быть в интервале от 0,95 до 1,0. Полученное значение коэффициента экстинкции на графике составило $\epsilon = 1250 \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{см})$. Затем проводят расчет по формуле (13) и определяют концентрацию кремния.

Работа 7. Определение ионов никеля в водном растворе

Определение ионов никеля [17] основано на их взаимодействии с диметилглиоксимом в присутствии окислителя с образованием комплексного соединения винно-красного цвета. Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на спектрофотометре ($\lambda = 440$ нм).

Мешающие факторы:

1. Ионы меди и кобальта устраняют встряхиванием хлороформного экстракта с разбавленным раствором аммиака. Указанные ионы переходят в виде аммиакатов в водную фазу. В экстракте остаются лишь малые количества ионов меди и кобальта, которые обычно не мешают определению, поскольку при рекстракции соляной кислотой никель переходит в водную фазу, а примеси этих металлов остаются в хлороформе.

2. Органические вещества устраняют, разрушая их с помощью УФ-облучения.

3. Ионы железа (II) окисляют до ионов железа (III) добавлением персульфата аммония перед стадией УФ-разложения органической матрицы.

Реактивы и посуда:

1. Стандартный раствор, содержащий ионы никеля. Растворяют 239 мг $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 100 мл воды, получают концентрацию ионов Ni(II) 500 мг/л.

2. Рабочий раствор. В мерной колбе разбавляют 1 мл стандартного раствора дистиллированной водой до 100 мл, получают концентрацию ионов Ni(II) 50 мг/л.

3. 25%-й раствор аммиака.

4. 1%-й спиртовой раствор диметилглиоксима.

5. 3%-й раствор сульфата аммония.

6. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 2,0; 5,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. Мерной пипеткой отбирают 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 мл рабочего раствора, содержащего ионы Ni(II) , в мерные колбы на 50 мл. К объему пробы приливают 5 мл 3%-го раствора сульфата аммония, 3 мл 25%-го раствора аммиака и 1 мл диметилглиоксима. Через 10 мин измеряют значение оптической плотности при $\lambda_{\text{max}} = 440$ нм. Результаты заносят в таблицу и строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7
V , мл	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$C(\text{Ni}^{2+})$, мг/л	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
D_i	D_0						
$\Delta D = D_i - D_0$							

Ход работы. В мерную колбу 50 мл отбирают мерной пипеткой 10 мл исследуемой воды, содержащей ионы никеля. К объему пробы приливают 5 мл 3%-го раствора сульфата аммония, 3 мл 25%-го раствора аммиака и 1 мл диметилглиоксима. Через 10 мин измеряют значение оптической плотности при $\lambda_{\max} = 440$ нм. По измеренному значению оптической плотности из градуировочного графика определяют концентрацию ионов Ni(II) и с учетом разбавления рассчитывают концентрацию никеля в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 8. Определение хрома (VI) в водном растворе

Соединения хрома широко используют в сталелитейной промышленности при производстве стекла, резины, керамики, кожаных изделий, при крашении тканей и т. д. Хром является жизненно важным элементом, но при избыточном поступлении в организм он может стать опасным токсикантом. Соединения хрома токсичны для человека. Шестивалентный хром является канцерогеном (I класса опасности). Опухоли легких образуются после длительного (15...20 лет) контакта с повышенными концентрациями хроматов (Cr^{+6}).

Метод определения ионов хрома (VI) [15] основан на измерении окрашенного (красно-фиолетового) комплексного соединения, образующегося в результате реакции 1,5-дифенилкарбазида с бихромат-ионами, содержащимися в пробе анализируемой воды в кислой среде. Измерение оптической плотности проводят при длине волны 540 нм.

Мешающие факторы:

1. Железо (III) свыше 1 мг/л – добавляют концентрированную ортофосфорную кислоту.
2. Высокое содержание солей кальция – рекомендуют вместо серной кислоты использовать трихлоруксусную кислоту.
3. Если в пробе присутствует видимый осадок, то его фильтруют через фильтр «синяя лента».

Реактивы и посуда:

1. Стандартный раствор дихромата калия. Растворяют 28,2 мг $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в мерной колбе объемом 100 мл, что соответствует концентрации ионов Cr^{6+} – 100 мг/л.
2. Рабочий раствор. Отбирают 10 мл стандартного раствора, содержащего ионы хрома (VI) и разбавляют в мерной колбе на 100 мл дистиллированной водой, что соответствует концентрации Cr^{6+} – 10 мг/л.
3. 0,1%-й спиртовой раствор дифенилкарбазида.
4. 2 н раствор серной кислоты.
5. Гидроксид калия или гидроксид натрия, 0,1 н раствор.
6. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 2,0; 5,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. Мерной пипеткой отбирают 0,2; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 мл рабочего раствора, содержащего ионы хрома (VI), в мерные колбы на 50 мл. К объему пробы приливают 0,5 мл 2 н H₂SO₄ и 0,4 мл раствора дифенилкарбазида и через 10...15 мин измеряют оптическую плотность раствора при длине волны $\lambda = 540$ нм. Результаты эксперимента заносят в таблицу и строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
V , мл	0	0,2	0,4	0,6	1,0	1,5	2,0	3,0
$C(\text{Cr}^{6+})$, мг/л	0	0,04	0,08	0,12	0,2	0,3	0,4	0,6
D_i	D_0							
$\Delta D = D_i - D_0$								

Ход работы. В мерную колбу 50 мл отбирают мерной пипеткой 10 мл исследуемой воды, содержащий ионы хрома. К объему пробы приливают 0,5 мл 2 н H₂SO₄ и 0,4 мл раствора дифенилкарбазида и через 10...15 мин измеряют оптическую плотность раствора при $\lambda = 540$ нм. По измеренному значению оптической плотности из градуировочного графика определяют концентрацию ионов Cr (VI) и с учетом разбавления рассчитывают концентрацию ионов хрома в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 9. Определение общего железа в растворе

Железо присутствует в поверхностных и подземных водах, его концентрация зависит от геологического строения и гидрологических условий бассейна. Высокое содержание железа в поверхностных водах указывает на загрязнение их шахтными или промышленными сточными водами.

Определение общего содержания ионов железа, согласно ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 [16], основано на реакции солей железа с сульфосалициловой кислотой с образованием желтого комплекса. Измерение оптической плотности проводят при длине волны 425 нм.

Мешающие факторы:

1. Собственная окраска пробы. Устраняют окислением или проводят холостой опыт, в котором окрашенную пробу обрабатывают так же, как при анализе, но без сульфосалициловой кислоты.

2. Высокие концентрации меди и алюминия. В этом случае выбирают другой метод анализа пробы.

3. Высокое содержание органических веществ. Устраняют выпариванием пробы с азотной и серной кислотами.

Реактивы и посуда:

1. Стандартный раствор FeSO₄ · 7H₂O. Растворяют 49,6 мг FeSO₄ · 7H₂O в небольшом количестве дистиллированной воды, добавляют 0,2 мл концентрированной HCl и доводят объем в колбе до 100 мл дистиллированной водой, концентрация ионов железа (II) составит 100 мг/л.

2. Рабочий раствор. Готовят путем разбавления 10 мл стандартного раствора $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл, концентрация ионов железа (II) составит 10 мг/л.

3. Стандартный раствор $\text{NH}_4 \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Растворяют 86 мг $\text{NH}_4 \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ в небольшом количестве дистиллированной воды, добавляют 0,2 мл концентрированной HCl и доводят объем до 100 мл дистиллированной водой, концентрация ионов железа (III) составит 100 мг/л.

4. Рабочий раствор. Готовят путем разбавления 10 мл стандартного раствора $\text{NH}_4 \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл, концентрация ионов железа (II) составит 10 мг/л.

5. 10%-й водный раствор сульфосалициловой кислоты.

6. 25%-й раствор аммиака.

7. Железоаммонийные квасцы $\text{NH}_4 \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и сульфат железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

8. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 2,0; 5,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. Мерной пипеткой отбирают 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5; 10 мл рабочего раствора железа (II) или (III) в мерные колбы на 50 мл. К объему пробы приливают 5 мл раствора сульфосалициловой кислоты и 5 мл аммиака, объем колбы доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Через 5 мин измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 425$ нм.

Результаты заносят в таблицу и строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
V , мл	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	7,5	10
$C(\text{Fe}^{2+})$ или $C(\text{Fe}^{3+})$, мг/л	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
D_i	D_0							
$\Delta D = D_i - D_0$								

Ход работы. В мерную колбу на 50 мл помещают 5 мл анализируемой пробы, содержащей ионы железа, затем добавляют 5 мл водного раствора сульфосалициловой кислоты и 5 мл аммиака, объем колбы доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Через 5 мин измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 425$ нм. По измеренному значению оптической плотности из градуировочного графика определяют общую концентрацию ионов железа и с учетом разбавления рассчитывают концентрацию ионов железа в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 10. Определение азотсодержащих веществ

Определение ионов аммония в растворе

Аммиак и его соли являются продуктами жизнедеятельности микроорганизмов и из почвы попадают в грунтовые воды. В питьевую воду эти вещества могут попадать в ходе водоподготовки. В поверхностных водах аммиак образуется в небольших количествах в результате разложения белковых веществ в период вегетации. Повышенное содержание аммиака в воде также может быть обусловлено сбросом бытовых сточных вод и некоторых промышленных вод (отходы производства).

Метод, согласно ПНД Ф 14.1:2:4.262-10 [17], основан на способности аммиака и ионов аммония взаимодействовать с реактивом Несслера с образованием желто-коричневого комплексного соединения. Измерение оптической плотности проводят при длине волны 400 нм.

Мешающие факторы:

1. Остаточный хлор в количестве более 0,5 мг/л. Устраняют добавлением эквивалентного количества 0,01 н раствора серноватистокислого натрия.
2. Жесткость. Устраняют добавлением виннокислого калия-натрия.
3. Цветность и мутность. Устраняют добавлением 5 мл гидроксид алюминия к 250 мл пробы, перемешивают, после осветления отбирают прозрачный слой для анализа.

Реактивы и посуда:

1. Гидроокись алюминия, суспензия. Взвешивают 125 г алюмокалиевых квасцов $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, с погрешностью не более 0,5 г и растворяют в 1 л дистиллированной воды. Раствор нагревают до 60 °С и постепенно прибавляют 55 мл 25 %-го раствора аммиака при постоянном перемешивании. После отстаивания осадок переносят в большой стакан и промывают декантацией сначала дистиллированной водой, затем бидистиллированной водой, до отсутствия реакции на аммиак.

2. Стандартный раствор аммиака. Растворяют 0,0743 г соли NH_4Cl в дистиллированной воде в мерной колбе на 250 мл и получают раствор с концентрацией ионов аммония 100 мг/л.

3. Рабочий раствор NH_4Cl . Разбавляют 5 мл стандартного раствора в колбе на 100 мл дистиллированной водой, концентрация ионов аммония составит 5 мг/л.

4. Реактив Несслера.

5. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 50 мл наливают 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10 мл рабочего раствора NH_4Cl с концен-

трацией 5 мг/л и 2 мл реактива Несслера, содержимое доводят до метки дистиллированной водой, хорошо перемешивают и измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 400$ нм. Результаты заносят в таблицу и по полученным значениям строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7
V , мл рабочего раствора	0	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	10
C , NH_4^+ , мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0
D_i	D_0						
$\Delta D = D_i - D_0$							

Ход работы. В мерную колбу на 50 мл помещают 5 мл анализируемого раствора и приливают 2 мл реактива Несслера, содержимое колбы доводят до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивают и измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 400$ нм. Из градуировочного графика определяют концентрацию аммиака. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию аммиака в исследуемой воде по формуле (13).

Определение нитрит ионов в растворе

Основной причиной загрязнения вод нитритами считается деятельность человека. К источникам нитритов в воде относятся: азотсодержащие удобрения, которые вносятся в почву в огромных количествах; стоки и выбросы производственных предприятий; канализационные источники; отходы животноводства; естественные источники (биологическое разложение). Все эти факторы влияют на содержание нитритов в воде. Внесенные удобрения вымываются из почвы, попадая в реки, озера, моря и подземные воды. В зависимости от рельефа местности, глубины залегания подземных вод и типа почвы, в водоемы попадет различное количество загрязнений. Например, на глиняной местности из-за структуры почвы загрязнение воды нитритами практически не происходит. Загрязнение воды антропогенными факторами происходит при плохой очистке сточных вод и атмосферных выбросов производственными предприятиями.

Сущность метода, согласно ГОСТ 33045-2014 [18], заключается во взаимодействии нитритов в исследуемой пробе воды с сульфаниловой кислотой в присутствии 1-нафтиламина с образованием красно-фиолетового окрашенного соединения. Измерение оптической плотности проводят при длине волны 520 нм.

Мешающие факторы. Цветность и мутность. Устраняют добавлением 5 мл гидроокиси алюминия к 250 мл пробы, перемешивают, после осветления отбирают прозрачный слой для анализа.

Реактивы и посуда:

1. Гидроокись алюминия, суспензия. Взвешивают 125 г алюмокалиевых квасцов $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, с погрешностью не более 0,5, г и растворяют в 1 л дистиллированной воды. Раствор нагревают до 60 °С и постепенно прибавляют 55 мл 25%-го раствора аммиака при постоянном перемешивании. После отстаивания осадок переносят в большой стакан и промывают декантацией сначала дистиллированной водой, затем бидистиллированной водой, до отсутствия реакции на аммиак.

2. 12%-й раствор уксусной кислоты. В мерную колбу на 200 мл добавляют 25 мл ледяной уксусной кислоты и доводят до метки дистиллированной водой.

3. Реактив Грисса. В 100 мл 12%-го раствора уксусной кислоты растворяют 10 г сухого реактива Грисса.

4. Стандартный раствор $NaNO_2$. Растворяют 1,497 г азотистокислого натрия в мерной колбе вместимостью 1 л дистиллированной водой.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 50 мл наливают 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10 мл рабочего раствора $NaNO_2$ с концентрацией 5 мг/л, содержимое доводят до метки дистиллированной водой и 2 мл реактива Грисса, хорошо перемешивают и через 40 мин измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 520$ нм. Результаты заносят в таблицу и по полученным значениям строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7
V , мл рабочего раствора	0	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	10
C , NO_2^- , мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0
D_i	D_0						
$\Delta D = D_i - D_0$							

Ход работы. В мерную колбу на 50 мл наливают 20 мл анализируемого раствора, содержимое колбы доводят до метки дистиллированной водой, и приливают 2 мл реактива Грисса, хорошо перемешивают и измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 520$ нм. Из градуировочного графика определяют концентрацию нитрит-иона. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию нитрит-иона в исследуемой воде по формуле (13).

Определение нитрат ионов в воде

Превышение концентрации нитратов наиболее часто наблюдается в воде из колодцев, неглубоких скважин, рек и озер, поэтому при использовании воды из поверхностных и неглубоких подземных источников рекомендуется сделать анализ воды на нитраты.

Метод, согласно ГОСТ 33045-2014 [18], основан на реакции нитрат-ионов с салициловокислым натрием в присутствии серной кислоты с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет. Измерение оптической плотности проводят при длине волны 410 нм.

Мешающие факторы:

1. Взвешенные, окрашенные органические вещества и железо более 5 мг/л. Устраняют добавлением 3 мл гидроокиси алюминия, пробу перемешивают, отстаивают и фильтруют через фильтр «белая лента», первую порцию фильтрата отбрасывают.

2. Хлориды – более 200 мг/л. Устраняют добавлением сернокислого серебра в количестве, эквивалентном содержанию хлорид-иона. Осадок хлорида серебра отфильтровывают через фильтр «белая лента».

3. Нитриты более – 2 мг/л. Устраняют добавлением 0,05 г сернокислого аммония и упаривают досуха на водяной бане, доводят до первоначального объема дистиллированной водой.

Реактивы и посуда:

1. Гидроокись алюминия, суспензия. Взвешивают 125 г алюмокалиевых квасцов $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, с погрешностью не более 0,5 г, и растворяют в 1 л дистиллированной воды. Раствор нагревают до 60 °С и постепенно прибавляют 55 мл 25%-го раствора аммиака при постоянном перемешивании. После отстаивания осадок переносят в большой стакан и промывают декантацией сначала дистиллированной водой, затем бидистиллированной водой, до отсутствия реакции на аммиак.

2. Стандартный раствор аммиака готовят из ГСО. Объем ГСО, равный 5,6 мл с концентрацией нитрат-ионов 1 мг/мл, разбавляют до 100 мл дистиллированной водой.

3. 0,5%-й раствор натрия салициловокислого. Готовят путем растворения навески массой 0,5 г в 100 мл дистиллированной воды.

4. Раствор гидроксида натрия и сегнетовой соли (калий-натрий виннокислый). Смесь из 400 г едкого натрия и 60 г сегнетовой соли помещают в стакан емкостью 1000 мл, растворяют в 500 мл дистиллированной воды, охлаждают и переносят в мерную колбу вместимостью 1000 мл и доводят дистиллированной водой до метки.

5. Серная кислота концентрированная (хч).

6. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, конические колбы объемом 50 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 50 мл наливают 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10 мл рабочего раствора $NaNO_3$ с концентрацией 5 мг/л и 2 мл раствора салициловокислого натрия и выпаривают на водяной бане досуха. После охлаждения сухой остаток увлажняют 2 мл концентрированной серной кислоты и оставляют на 10 мин.

Прибавляют 15 мл дистиллированной воды и 15 мл раствора едкого натрия и сегнетовой соли. Растворы охлаждают под холодной струей воды, доводят объем до метки и измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 410$ нм. Результаты заносят в таблицу и по полученным значениям строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7
V , мл рабочего раствора	0	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	10
C , NO_3^- , мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0
D_i	D_0						
$\Delta D = D_i - D_0$							

Ход работы. В фарфоровую чашку наливают 10 мл исследуемой воды и прибавляют 2 мл раствора салициловокислого натрия и выпаривают на водяной бане досуха. После охлаждения сухой остаток увлажняют 2 мл концентрированной серной кислоты, оставляют на 10 мин. Затем добавляют 15 мл дистиллированной воды, и полученное количество переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл. Прибавляют 15 мл раствора едкого натрия и сегнетовой соли. Раствор охлаждают под холодной струей воды, доводят объем до метки дистиллированной водой и измеряют оптическую плотность при длине волны $\lambda = 410$ нм. Из градуировочного графика определяют концентрацию нитрат-ионов. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию нитрат-иона в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 11. Нефелометрическое определение хлорид-ионов в водном растворе

Обнаружение большого количества хлоридов является показателем загрязнения воды бытовыми или некоторыми промышленными сточными водами.

Метод, согласно ГОСТ 10671.7-2016 [19], основан на измерении интенсивности помутнения пробы воды, содержащей хлорид-ионы, при взаимодействии с ионами серебра в кислой среде. Измерение оптической плотности проводят при длине волны 400 нм.

Реактивы и посуда:

1. Хлорид натрия стандартный раствор. Растворяют 58,5 мг NaCl в дистиллированной воде и доводят объем до 100 мл дистиллированной водой, концентрация хлорид ионов составит 355 мг/л.

2. Рабочий раствор. Разбавляют 10 мл стандартного раствора дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл, концентрация хлорид ионов составит 35,5 мг/л.

3. 2 н раствор серной кислоты.

4. 0,05 М раствор нитрата серебра.

5. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,0; 5,0; 7,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 50 мл наливают 1,0; 2,0; 5,0; 7,0; 10 мл рабочего раствора, содержащего хлорид-ионы. Добавляют 5 мл 2 н раствора H_2SO_4 и 5 мл 0,05 М раствора $AgNO_3$, через 10 мин измеряют значение оптической плотности при длине волны $\lambda = 400$ нм. Данные заносят в таблицу, строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6
V , мл	0	1	2	5	7	10
Cl^- , мг/л	0	0,7	1,4	3,5	5,0	7,0
D_i	D_0					
$\Delta D = D_i - D_0$						

Ход работы. В мерную колбу на 50 мл приливают 5 мл анализируемого раствора, затем добавляют 5 мл 2 н раствора H_2SO_4 и 5 мл 0,05 М раствора $AgNO_3$, через 10 мин измеряют значение оптической плотности при $\lambda = 400$ нм. По значению оптической плотности из градуировочного графика находят концентрацию хлорид-ионов, мг/л. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию хлорид-ионов в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 12. Определение нитрат-ионов в почве

Основная причина высокой концентрации нитрат-ионов в почве – это большое введение азотистых удобрений. При чрезмерном увлечении азотными подкормками в кочанах, плодах и корнеплодах накапливается азот, снижается количество сахаров, резко повышается содержание нитратов, вредных для здоровья людей. Сами нитраты высокой токсичностью не обладают, но под воздействием микрофлоры кишечника они переходят в нитриты, которые взаимодействуют с гемоглобином крови и лишают его возможности транспортировать кислород. Избыточные нитраты в организме преобразуются в сильные канцерогены – нитрозамины. Поэтому внесение удобрений следует проводить только после анализа почвы, только тогда будет получен положительный эффект как для растений, так и для здоровья человека. Плодородие почвы определяют по содержанию азота (табл. 2.18).

Таблица 2.18

Плодородие почвы в зависимости от содержания азота

Плодородие почвы	Содержание азота, мг/кг
хорошее	60
среднее	40...60
малое	<40

Метод основан на реакции нитратов с салицилатом натрия в среде серной кислоты с образованием окрашенной в желтый цвет соли нитро-салициловой кислоты. Оптическую плотность определяют при длине волны $\lambda = 400$ нм.

Реактивы и посуда:

1. Водную вытяжку из почвы готовят по методике, описанной в методике 2, с. 34.

2. Стандартный раствор нитрата калия. Растворяют 163 мг KNO_3 , (предварительно высушенного при 105°C) в дистиллированной воде в мерной колбе на 100 мл, концентрация нитрат-ионов составит 1 г/л.

3. Рабочий раствор. Разбавляют 1 мл стандартного раствора дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл, концентрация нитрат-ионов составит 10 мг/л.

4. 10 н раствор гидроксида натрия. Растворяют 400 г NaOH в небольшом количестве дистиллированной воды и после охлаждения, объем доводят дистиллированной водой до 1 л.

5. 0,5%-й водный раствор свежеприготовленного салицилата натрия.

6. 96%-й раствор концентрированной серной кислоты.

7. Водяная баня, мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,0 мл, цилиндры, фарфоровая чашка.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 50 мл наливают 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 мл рабочего раствора, содержащего нитрат-ионы, затем прибавляют 7 мл 10 н раствора NaOH и доводят до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивают. Измеряют значение оптической плотности при длине волны $\lambda_{\text{min}} = 400$ нм. Данные заносят в таблицу и строят градуировочный график.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
V , мл	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$C(\text{NO}_3^-)$, мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
D_i	D_0							
$\Delta D = D_i - D_0$								

Ход работы. В фарфоровую чашку помещают 10 мл пробы, затем прибавляют 1 мл раствора салицилата натрия и выпаривают на водяной бане досуха. После охлаждения к сухому остатку прибавляют 1 мл серной кислоты и оставляют на 10 мин. Разбавляют дистиллированной водой и все содержимое переносят в мерную колбу объемом 50 мл. Затем прибавляют 7 мл 10 н раствора NaOH и доводят до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивают. Измеряют значение оптической

плотности при длине волны $\lambda_{\min} = 400$ нм. По значению оптической плотности из градуировочного графика находят концентрацию нитрат-иона.

Вычисления. Расчет результатов проводят в соответствии с примером: готовят водную вытяжку из почвы массой 30 г в 150 мл воды, для анализа берут 25 мл раствора. Расчет концентрации азота проводят по формуле

$$C(\text{N}) = \frac{C \frac{V}{V_1} \cdot 0,15 \cdot \text{Ar}(\text{N})}{0,03 \cdot \text{Mr}(\text{NO}_3^-)} \text{ (мг/кг)},$$

где C – концентрация нитрат-иона, взятая из калибровочного графика, мг/л; $\frac{V}{V_1}$ – отношение объема колбы к объему водной вытяжки,

взятой для анализа; 0,15 – объем водной вытяжки, л; 0,03 – навеска почвы, взятой для приготовления водной вытяжки, кг; $\text{Ar}(\text{N})$ – относительная атомная масса азота, 14; $\text{Mr}(\text{NO}_3^-)$ – относительная молекулярная масса нитрат-иона, 62 г/моль.

Полученные значения в исследуемой почве сравнивают с данными, представленными в таблице (табл. 2.18).

Работа 13. Определение аэрозоля серной кислоты и растворимых сульфатов

Максимальный антропогенный вклад в загрязнение атмосферы взвешенными частицами приходится на сульфаты и серную кислоту, образующиеся в результате сгорания угля и нефтепродуктов. Загрязнение атмосферы взвешенными частицами может происходить и естественным путем в процессе жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов и вулканической деятельности. В водоемах повышенное содержание сульфатов обусловлено сбросом в них сточных вод с неорганическими и органическими соединениями серы.

Метод определения аэрозоля серной кислоты и растворимых сульфатов основан на взаимодействии сульфатов с хлористым барием. Количество сульфатов устанавливают по интенсивности помутнения растворов. Оптическую плотность измеряют при длине волны $\lambda = 400$ нм.

Этот метод применим для оценки количественного содержания сульфатов в поверхностных и грунтовых водах.

Реактивы и посуда:

1. Сульфат калия стандартный раствор. Растворяют 177,6 мг K_2SO_4 в дистиллированной воде и доводят объем до 100 мл, концентрация сульфат-ионов составит 1 г/л.

2. Рабочий раствор. Готовят разбавлением 10 мл стандартного раствора дистиллированной водой в колбе на 100 мл, концентрация сульфат-ионов составит 100 мг/л.

3. 30%-й раствор соляной кислоты.

4. 10%-й раствор хлористого бария. В мерной колбе на 100 мл растворяют 10 г BaCl_2 в дистиллированной воде.

5. Мерные колбы, объемом 50 и 100 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 50 мл наливают 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,0; 10 мл рабочего раствора, содержащего сульфат-ионы, затем приливают 0,5 мл раствора HCl и 5 мл раствора BaCl_2 , через 10 мин измеряют значение оптической плотности при $\lambda = 400$ нм, данные заносят в таблицу.

№	1	2	3	4	5	6	7
V рабочего раствора, мл	0	1	2	3	5	7	10
SO_4^{2-} , мг/л	0	2	4	6	10	14	20
D_i	D_0						
$\Delta D = D_i - D_0$							

Ход работы. В мерную колбу на 50 мл приливают 5 мл анализируемого раствора, затем приливают 0,5 мл раствора HCl и 5 мл раствора BaCl_2 , через 10 мин измеряют значение оптической плотности при длине волны $\lambda = 400$ нм. По значению оптической плотности из градуировочного графика находят концентрацию сульфат-ионов, мг/л. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию сульфат-ионов в исследуемой воде по формуле (13).

2.2.3. Экстракционный метод

Экстракция. Основные понятия

Основной областью применения экстракционных методов до середины прошлого столетия являлась только органическая химия. Однако, с развитием ядерной технологии, стало все больше появляться научных трудов в области экстракции микроэлементов. Впервые И.М. Кольтгоф и Е.Б. Сендел количественно описали экстракцию с химических позиций в 1941 г. Экстракционные методы анализа универсальны, большинство соединений экстрагируются. Данные методы позволяют извлекать в экстракт как отдельные элементы, так и группы элементов.

Экстракцией называют процесс распределения вещества между двумя несмешивающимися растворителями. Одним из них является вода, а другим – органический растворитель. Ввиду того, что экстракция

является гетерогенным процессом, она подчиняется правилу фаз Гиббса: $N + F = K + 2$, где N – число фаз; F – число степеней свободы; K – число компонентов. При экстракции обычно образуются две фазы ($N = 2$) и одно распределяемое вещество ($K = 1$).

Экстракционные методы не требуют сложного и дорогостоящего оборудования. Для проведения процесса экстракции используют делительную воронку, в которой проводят смешивание пробы и растворителя путем тщательного встряхивания вручную или с помощью механических устройств. После отстаивания и разделения фаз нижнюю фазу сливают через кран в делительной воронке. При необходимости экстракцию повторяют для более полного извлечения нужного компонента.

Экстракция является сложным физико-химическим процессом, для понимания которого необходимо знание основ химической термодинамики, теории растворов, химической кинетики. Основная задача экстракции состоит в процессе селективного переноса компонента из водной фазы в органическую, что требует тщательного подбора условий, например pH. Экстрагируемый компонент должен образовывать устойчивые соединения с органическими растворителями.

Химические термины, используемые в методиках по экстракции

Экстракт – отделенная органическая фаза, содержащая извлеченное из другой фазы вещество.

Реэкстракция – процесс обратного извлечения экстрагированного вещества из экстракта в водную фазу. Отделенную водную фазу, содержащую извлеченное из экстракта вещество, называют реэкстрактом.

Экстрагент – органический растворитель (содержащий или не содержащий другие компоненты), который извлекает вещество из водной фазы.

Реагент – составная часть экстрагента, химически взаимодействующая с извлекаемым элементом, причем это взаимодействие является основным фактором, определяющим процесс экстракции.

Реэкстрагент – водный раствор или вода, применяемые для извлечения экстрагированного вещества из экстракта.

Разбавитель – инертный органический растворитель, применяемый для улучшения физических или экстракционных свойств экстрагента.

Промывка – процесс частичного или полного удаления примесей из отделенной фазы, содержащей основное вещество, т. е. из экстракта или реэкстракта.

Промывной раствор – водный или органический раствор, используемый для промывки.

Периодическая экстракция – экстракция вещества из одной и той же фазы, проводимая отдельными порциями свежего экстрагента.

Непрерывная экстракция – экстракция, проводимая при непрерывном и относительном перемещении двух фаз (одна из фаз остается неподвижной).

Условия процесса экстракции

Во-первых, необходимо учитывать растворимость соединения металла, который экстрагируется. Его растворимость в органическом растворителе должна быть выше, чем в воде. Растворимость зависит от природы вещества, температуры и давления.

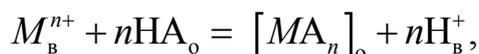
Во-вторых, заряд соединения. Заряженные соединения не могут переходить в органический растворитель. Поэтому при извлечении ионов металла их необходимо перевести в незаряженный комплекс или в ионный ассоциат.

В-третьих, экстрагирующееся соединение должно быть гидрофобным и не содержать гидрофильных групп, например карбоксильных.

Количественные характеристики процесса экстракции

Химические реакции, лежащие в основе процесса экстракции, являются обратимыми, поэтому к процессу экстракции применяют закон действующих масс для химического равновесия. Константу равновесия в этом случае называют константой экстракции ($K_{\text{экс}}$) – константа равновесия гетерогенной реакции экстракции.

Например, для внутрикомплексного соединения, экстракция которого протекает по уравнению



константа экстракции равна:

$$K_{\text{экс}} = \frac{[\text{MA}_n]_{\text{о}} \cdot [\text{H}_{\text{в}}^{+}]^n}{[M_{\text{в}}^{n+}] \cdot [\text{HA}_{\text{о}}]^n}.$$

Индексы обозначают органическую (о) и водную (в) фазы. Органический реагент (НА) растворим в органическом растворителе.

Наряду с законом действия масс, к экстракционным системам применим закон распределения, согласно которому при постоянной температуре и давлении отношение равновесных концентраций вещества в двух несмешивающихся фазах является постоянной величиной, не зависящей от общей концентрации вещества. Эта величина называется коэффициентом распределения.

Коэффициент распределения D – отношение суммарной аналитической концентрации элемента в органической фазе к суммарной аналитической концентрации его в водной фазе. Форма существования элемента во внимание не принимается.

Фактор разделения S – отношение коэффициентов распределения двух разделяемых веществ, причем большего коэффициента к меньшему:

$$S = \frac{D_1}{D_2}.$$

Степень извлечения R (% экстракции) – процент вещества, экстрагированного при данных условиях от общего количества вещества. С коэффициентом распределения процент экстракции связан соотношением

$$R = \frac{100 \cdot D}{D + \frac{V_B}{V_0}},$$

где V_B и V_0 – равновесные объемы водной и органической фаз.

Произведение коэффициентов их распределения должно быть близко к единице.

Одним из важных факторов, влияющих на экстракцию, является время контакта фаз. Скорость экстракции зависит от скорости химических реакций, протекающих в системе, в частности от скорости массопереноса вещества между двумя фазами. При этом для ускорения экстракции необходимо использовать различные факторы. Если наиболее медленным является массоперенос, следует увеличить скорость перемешивания фаз. Кроме того, на скорость химических реакций влияет увеличение концентрации взаимодействующих компонентов, при этом подавляется влияние мешающих реакций, например гидролиза и полимеризации. Экстракционное равновесие быстро достигается при извлечении ионных ассоциатов, когда при экстракции не меняется внутренняя координационная сфера центрального атома металла, а происходит только взаимодействие ионов. Наиболее медленно экстракция протекает в случае металлов, образующих кинетически инертные комплексы, например хрома (III) или некоторых платиновых металлов.

Классификация экстракционных процессов

В основе классификации методов и процессов экстракции лежат различные классификационные признаки. Если решаются технологические задачи, за основу берут характер перемещения фаз. В этом случае говорят о периодической и противоточной (непрерывной) экстракции. Широко распространенной является классификация, основу которой составляет тип используемого экстрагента. Поскольку в основном различают три типа экстрагентов: кислотные, основные и нейтральные, то им соответствуют три типа экстракции: катионообменная, анионообменная и координационная. Существуют и многие другие подходы и системы классификации методов и процессов экстракции. Самой распространен-

ной группой извлекаемых соединений являются комплексы, экстракция которых связана с вытеснением ионов водорода из молекулы реагента. Для понимания механизма такой экстракции целесообразно рассмотреть отдельно экстракцию внутрикомплексных соединений и экстракцию ионов металлов карбоновыми кислотами, которые представляют одно направление – катионообменную экстракцию.

Большую группу составляют комплексные соединения, извлекаемые по механизму анионообменной и координационной экстракции (табл. 2.19).

Таблица 2.19

Типы экстракционных реакций и группы извлекаемых соединений

Тип экстракции	Группа извлекаемых соединений
Простое физическое распределение	Координационно-несольватированные комплексы
Катионообменная экстракция	Комплексы металлов с карбоновыми кислотами; <ul style="list-style-type: none"> • внутрикомплексные соединения (хелаты); • координационно-несольватированные ионные ассоциаты
Анионообменная экстракция	Комплексные кислоты и их соли, извлекаемые: <ul style="list-style-type: none"> • кислородсодержащими растворителями; • аминами, солями четвертичных аммониевых оснований; • металлоорганическими соединениями
Координационная экстракция	Координационно-сольватированные нейтральные (смешанные) комплексы

Основными преимуществами экстракционного метода являются высокая избирательность и чистота разделения, возможность работы как с большими, так и с самыми малыми концентрациями, отсутствие загрязнений продуктов, легкость технологического и аппаратного оформления, возможность осуществления непрерывного процесса, автоматизации и, наконец, высокая производительность. Эти особенности делают экстракционный метод перспективным для применения в различных отраслях промышленности.

Работа 14. Определение содержания цинка дитизоновым методом

Метод, согласно ГОСТ 18293-72 [20], основан на образовании окрашенного в красный цвет соединения цинка с дальнейшим извлечением дитизоната цинка в слой четыреххлористого углерода (при pH 4,5...4,8).

Мешающие факторы:

1. Ионы железа (III) в пробе исследуемой воды более 0,05 мг и ионы железа (II) более 0,03 мг. Устраняют разбавлением очищенной дистиллированной водой с последующей фильтрацией через плотный фильтр, промытый горячей дистиллированной водой.

2. Медь, более 0,001 мг. Связывают в комплекс добавлением серноватисто-кислого натрия из расчета на каждые 10 мкг меди в исследуемой воде добавляют 5 мл 20%-го раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Реактивы и посуда (все реактивы готовят на бидистиллированной воде):

1. 18%-й раствор соляной кислоты, марки о. с. ч. или готовят из фиксаля.

2. Ацетатный буфер. Смешивают равные объемы 2 н раствора ацетата натрия и 2 н раствора уксусной кислоты и при необходимости проводят очистку аналогично очистке бидистиллированной воды.

3. 2 н раствор Ацетата натрия. Растворяют 68 г $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в 250 мл бидистиллированной воды.

4. 2 н раствор уксусной кислоты. Готовят путем разбавления 30 мл уксусной кислоты в 250 мл бидистиллированной воды.

5. 20%-й раствор тиосульфат натрия. Растворяют 20 г $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в 100 мл бидистиллированной воды и при необходимости проводят очистку аналогично очистке бидистиллированной воды.

6. Растворы дитизона. Дитизон предварительно очищают в соответствии с ГОСТ 18293-72. 0,01%-й раствор дитизона готовят из 0,5 г очищенного дитизона в 500 мл раствора CCl_4 ; 0,001%-й и 0,002%-й растворы дитизона готовят из 10 и 20 мл 0,01%-го раствора дитизона соответственно и разбавляют до 100 мл раствором CCl_4 .

7. Рабочий раствор I. Готовят разбавлением 5 мл ГСО с концентрацией 1000 мг/л бидистиллированной водой в колбе на 50 мл, концентрация цинка составит 78 мг/л.

8. Рабочий раствор II. Готовят разбавлением 1 мл рабочего раствора I бидистиллированной водой в колбе на 100 мл, концентрация цинка составит 0,78 мг/л.

9. Делительные воронки объемом 250 мл, мерные колбы объемом 100 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,5; 3,5; 4,0; 5,0; 6,5 мл, цилиндры.

10. Очистка посуды. Посуду промывают хромовой смесью. На три части (по массе) бихромата калия берут четыре части концентрированной серной кислоты и 15 частей воды. Бихромат калия сначала растворяют в воде (можно при небольшом нагревании), охлаждают, а затем к полученному раствору медленно приливают серную кислоту. Раствор при этом разогревается и из оранжевого становится коричневым.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 100 мл наливают 1,0; 2,5; 3,5; 5,0; 6,5 мл рабочего раствора II, содержащего ионы цинка. Затем доводят объем пробы бидистиллированной водой до 100 мл, помещают в делительную воронку и добавляют 1–2 капли 18%-го раствора HCl , 5 мл ацетатного буфера, 1 мл 20 %-го раствора тиосульфата

натрия и 4 мл 0,002%-го раствора дитизона в растворе CCl_4 . Полученный раствор встряхивают в течение 2 мин, затем экстракт сливают в мерный цилиндр объемом 25 мл. К оставшейся пробе в делительной воронке добавляют 2 мл 0,002%-го раствора дитизона в CCl_4 и встряхивают 2 мин, а затем сливают к первому экстракту в цилиндр. Объем пробы в цилиндре доводят до 15 мл раствором CCl_4 . Измеряют значение оптической плотности при $\lambda = 540$ нм, данные заносят в таблицу.

№	1	2	3	4	5	6
V рабочего раствора, мл	0	1	2,5	3,5	5,0	6,5
Zn^{2+} , мг/л	0	0,008	0,020	0,028	0,039	0,051
D_i	D_0					
$\Delta D = D_i - D_0$						

Ход работы. Перед приготовлением растворов бидистиллированную воду проверяют на наличие катионов тяжелых металлов следующим способом: в делительную воронку на 250 мл помещают 100...150 мл бидистиллированной воды, 10...20 мл 0,001%-го раствора дитизона в CCl_4 и встряхивают 2 мин. Экстракцию повторяют до тех пор, пока зеленый цвет дитизонового раствора не перестанет изменяться. Затем в бидистиллированную воду добавляют 10 мл CCl_4 и встряхивают для очистки от следов дитизона.

100 мл пробы или меньшее ее количество, доведенное до 100 мл бидистиллированной водой, помещают в делительную воронку и добавляют 1–2 капли 18%-го раствора HCl , 5 мл ацетатного буфера, 1 мл 20%-го раствора тиосульфата натрия и 4 мл 0,002%-го раствора дитизона в CCl_4 . Полученный раствор встряхивают в течение 2 мин, затем экстракт сливают в мерный цилиндр объемом 25 мл. К оставшейся пробе в делительной воронке добавляют 2 мл 0,002%-го раствора дитизона в CCl_4 и встряхивают 2 мин., а затем сливают к первому экстракту в цилиндр. Объем пробы в цилиндре доводят до 15 мл раствором CCl_4 . Измеряют значение оптической плотности при длине волны $\lambda = 540$ нм. По значению оптической плотности из градуировочного графика находят концентрацию ионов цинка. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию ионов цинка в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 15. Определение содержания серебра дитизиновым методом

Метод, согласно ГОСТ 18293-72 [20], основан на образовании окрашенного в желтый цвет соединения серебра с дитизоном и дальнейшем извлечении дитизоната серебра в слой четыреххлористого углерода при pH 1,5...2,0. Комплексные соединения серебра с органически-

ми веществами подземных вод предварительно разрушают персульфатом аммония.

Мешающие факторы:

1. Медь. Устраняют связыванием в комплекс трилоном Б.

2. Ртуть. Восстанавливают из Hg^{2+} до Hg^+ аскорбиновой кислотой в азотнокислой среде. В делительную воронку наливают исследуемую воду, добавляют персульфат аммония для разрушения органических веществ, затем две капли очищенного 31%-го раствора HNO_3 , 0,5 мл раствора AgNO_3 , содержащего 1 мкг/мл Ag^+ (катализатор) и 5 мл свежеприготовленного 20%-го раствора аскорбиновой кислоты. Далее анализ продолжают по методике. При обработке результатов введенные 0,5 мкг серебра вычитают. Одновалентная ртуть не влияет на количественную оценку содержания ионов серебра.

3. Хлориды в концентрации до 300 мг/л не мешают определению.

Реактивы и посуда (все реактивы готовят на бидистиллированной воде):

1. 20%-й раствор аскорбиновой кислоты. Растворяют 20 г реактива в 80 мл бидистиллированной воды.

2. 0,01%-й раствор дитизонf. Растворяют 0,05 г очищенного дитизона (см. работу 14) в 500 мл раствора CCl_4 . 0,0005%-й раствор дитизона готовят разбавлением 5 мл 0,01%-го раствора дитизона 95 мл бидистиллированной воды.

3. 0,2 н раствор трилона Б. Растворяют 36 г трилона Б в 1 л бидистиллированной воды.

4. 25%-й раствор аммония надсернистого (персульфат). Растворяют 100 г персульфата аммония в 300 мл бидистиллированной воды и очищают от ионов тяжелых металлов. Для этого раствор фильтруют в делительную воронку, в которую предварительно добавляют несколько миллилитров раствора диэтилдитиокарбамата свинца (ДЭТКа Рb) в растворе CCl_4 и энергично встряхивают 1...2 мин. Экстрагирование ДЭТКа Рb повторяют, пока органический слой не станет бесцветным.

5. 31%-й раствор азотной кислоты, о. с. ч.

6. 49%-й раствор серной кислоты, о. с. ч.

7. Рабочий раствор I. Навеску AgNO_3 растворяют в мерной колбе на 50 мл в небольшом количестве бидистиллированной воды и добавляют 1 каплю HNO_3 , затем объем раствора доводят до метки, концентрация серебра составит 2140 мг/л.

8. Рабочий раствор II. Готовят путем разбавления 2,5 мл рабочего раствора I нитрата серебра бидистиллированной водой в колбе на 50 мл и получают раствор с концентрацией 107 мг/л.

9. Рабочий раствор III. Готовят путем разбавления 0,5 мл рабочего раствора II нитрата серебра бидистиллированной водой в колбе на 50 мл и получают раствор с концентрацией 1,07 мг/л.

10. Делительные воронки объемом 250 мл, конические колбы объемом 300 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,0; 5,0; 10 мл, цилиндры.

Построение градуировочного графика. В коническую колбу на 300 мл наливают 1,0; 2,0; 5,0; 10 мл рабочего раствора III, содержащего ионы серебра. Добавляют 10 мл 49%-го раствора H_2SO_4 , 1 мл 25%-го раствора персульфата аммония. Пробу кипятят 10 мин (считая с момента закипания), охлаждают водой и доводят объем пробы в мерном цилиндре бидистиллированной водой до 200 мл. Раствор переносят в делительную воронку на 250...300 мл и добавляют 5 мл 0,2 н раствора трилона Б, затем перемешивают, добавляют 2 мл 0,0005%-го раствора дитизона и встряхивают 1 мин. Окраска дитизона в присутствии серебра изменяется от зеленой до желтой. После отстаивания нижний окрашенный слой дитизоната серебра сливают в мерный цилиндр объемом 10 мл, а затем объем экстракта доводят до 5 мл раствором CCl_4 . Измеряют значение оптической плотности при $\lambda = 400$ нм, данные заносят в таблицу.

№	1	2	3	4	5	6
V рабочего раствора, мл	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ag^+ , мг/л	0	0,0011	0,0022	0,0032	0,0043	0,0054
D_i	D_0					
$\Delta D = D_i - D_0$						

Ход работы. Перед приготовлением растворов бидистиллированную воду проверяют на наличие катионов тяжелых металлов следующим способом: в делительную воронку на 250 мл помещают 100...150 мл бидистиллированной воды и 10...20 мл 0,001%-го раствора дитизона в CCl_4 и встряхивают 2 мин. Экстракцию повторяют до тех пор, пока зеленый цвет дитизонного раствора не перестанет изменяться. Затем в бидистиллированную воду добавляют 10 мл CCl_4 и встряхивают для очистки от следов дитизона.

В коническую колбу на 300 мл помещают 200 мл предварительно профильтрованной пробы, 10 мл 49%-го раствора H_2SO_4 , 1 мл 25%-го персульфата аммония. Пробу кипятят 10 мин (считая с момента закипания), охлаждают водой и доводят объем пробы в мерном цилиндре бидистиллированной водой до 200 мл. Раствор переносят в делительную воронку на 250...300 мл и добавляют 5 мл 0,2 н раствора трилона Б, затем перемешивают, добавляют 2 мл 0,0005%-го раствора дитизона и встряхивают 1 мин. Окраска дитизона в присутствии серебра изменяется

от зеленой до желтой. После отстаивания нижний окрашенный слой дитизоната серебра сливают в мерный цилиндр объемом 10 мл, а затем объем экстракта доводят до 5 мл раствором CCl_4 . Измеряют значение оптической плотности при длине волны $\lambda = 400$ нм. По значению оптической плотности из градуировочного графика находят концентрацию ионов серебра. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию ионов серебра в исследуемой воде по формуле (13).

Работа 16. Определение содержания свинца плюмбоновым методом

Метод, согласно ГОСТ 18293-72 [20], основан на образовании (при pH 7,0...7,3) окрашенного в желто-оранжевый цвет соединения свинца с сульфарсазеном (плюмбоном). Свинец предварительно экстрагируют дитизоном в четыреххлористом углероде при pH 9,2...9,6. Образовавшийся дитизонат свинца разрушается соляной кислотой, ионы свинца переходят в водный раствор, в котором определяется свинец.

Мешающие факторы:

1. Железо (III), марганец (IV) и молибден. Устраняют в ходе анализа предварительной экстракцией свинца дитизоном в присутствии гидроксиламина солянокислого.

2. Медь, кадмий, кобальт и никель. Проводят реэкстракцию свинца 0,05 н раствором соляной кислоты.

3. Цинк. Проводят комплексование цинка железосинеродистым калием. При содержании цинка менее 0,05 мг/л, его мешающее влияние устраняют в ходе анализа. При содержании цинка более 0,5 мг/л проводят предварительное выделение свинца из раствора путем осаждения его карбонатом кальция.

4. Для предотвращения выпадения гидратов окисей металлов прибавляют калий-натрий виннокислый.

Реактивы и посуда (все реактивы готовят на бидистиллированной воде):

1. 3%-й раствор аскорбиновой кислоты. Растворяют 3 г аскорбиновой кислоты в 100 мл бидистиллированной воды, для анализа используют свежеприготовленный раствор.

2. 20%-й раствор гидроксиламина солянокислого. Растворяют 20 г солянокислого гидроксиламина в 50 мл бидистиллированной воды, добавляют 3–4 капли 0,1%-го раствора фенолового красного, а затем по каплям добавляют очищенный раствор аммиака до появления розовой окраски.

3. Растворы дитизона. Дитизон предварительно очищают по ГОСТ 18293-72 определение цинка [20]. 0,01%-й раствор дитизона готовят из 0,5 г очищенного дитизона в 500 мл раствора CCl_4 .

4. 10%-й раствор калия железосинеродистого. Растворяют 10 г реактива в 90 мл бидистиллированной воды.

5. 1%-й раствор калия железосинеродистого. Разбавляют 10 мл 10%-го раствора калий железосинеродистого 90 мл бидистиллированной воды. Растворы используют свежеприготовленными.

6. 25%-й раствор гидроокиси натрия. Растворяют 25 г NaOH в 75 мл бидистиллированной воды.

7. Натрий тетраборнокислый (бура), 0,05 М. Растворяют 19,07 г буры в 1 л бидистиллированной воды.

8. 33%-й раствора натрия-калия виннокислого. Растворяют 50 г калий-натрия виннокислого в 100 мл бидистиллированной воды.

9. 0,05%-й раствор сульфарсазена (плюмбон). Растворяют 0,05 г плюмбона в 100 мл 0,05 М раствора буры.

10. 0,05 н и 2 н растворы соляной кислоты. Готовят из фиксанала, разбавляя бидистиллированной водой.

11. 33%-й раствор натрия лимоннокислого. Растворяют 50 г лимоннокислого натрия в 100 мл бидистиллированной воды, добавляют 3–4 капли 0,1%-го раствора фенолового красного и по каплям добавляют очищенный раствор аммиака до появления розовой окраски.

12. 0,1%-й раствор фенолового красного. Растворяют 0,1 г реактива в 100 мл 20%-го раствора этилового спирта.

13. 1 н раствор кальция хлористого. Растворяют 110 г реактива в 1 л бидистиллированной воды.

14. Рабочий раствор I. Готовят разбавлением 5 мл ГСО с концентрацией 1000 мг/л дистиллированной водой в колбе на 50 мл, концентрация свинца составит 100 мг/л.

15. Рабочий раствор II. Готовят разбавлением 1 мл рабочего раствора I бидистиллированной водой в колбе на 100 мл, концентрация свинца составит 1,0 мг/л.

16. Делительные воронки объемом 250 мл, конические колбы, объемом 300 мл, мерные пипетки на 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 10 мл, цилиндры, коническая пробирка.

17. Очистка посуды. Посуду промывают хромовой смесью. На три части (по массе) бихромата калия берут четыре части концентрированной серной кислоты и 15 частей воды. Бихромат калия сначала растворяют в воде (можно при небольшом нагревании), охлаждают, а затем к полученному раствору медленно приливают серную кислоту. Раствор при этом разогревается и из оранжевого становится коричневым.

Построение градуировочного графика. В мерные колбы на 100 мл наливают 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 мл рабочего раствора II, содержащего ионы свинца. Далее пробы помещают в делительную воронку на 250 мл,

добавляют 1 мл 20%-го раствора солянокислого гидроксилamina, 1 мл 33%-го раствора калия-натрия виннокислого (при больших содержаниях кальция и магния количество виннокислого калия-натрия увеличивают до 5 мл) и 5 мл 33%-го раствора натрия лимоннокислого, затем перемешивают, добавляют 2–3 капли 0,1%-го фенолового красного и по каплям очищенный концентрированный аммиак до перехода окраски раствора из желтой в розовую и две капли избытка аммиака.

Добавляют 1...2 мл 0,01%-го раствора дитизона и встряхивают 2 мин. Окраска раствора изменяется от зеленой до красной. После разделения жидкостей экстракт сливают в мерный цилиндр объемом 25 мл, а к водному раствору, оставшемуся в делительной воронке, добавляют 1...2 мл 0,01%-го дитизона, после чего раствор встряхивают 2 мин, экстракт дитизоната сливают к первому экстракту в цилиндр. Эту операцию повторяют до тех пор, пока окраска раствора дитизона не перестанет изменяться. Необходимо следить, чтобы вместе с экстрактом дитизоната свинца не был спущен водный раствор. Если немного водного раствора попадет в цилиндр, то его нужно осторожно удалить фильтровальной бумагой, не затрагивая слой органического растворителя.

Экстракт дитизоната свинца переносят из пробирки в делительную воронку вместимостью 250 мл и добавляют 3 мл 0,05 н раствора соляной кислоты, а затем экстрагируют в течение 2 мин (свинец переходит в водную фазу). После разделения жидкостей нижний слой сливают к первому экстракту в цилиндр, а солянокислый раствор свинца сливают в коническую пробирку (для удаления мелких капелек раствора дитизона).

Экстракт, содержащий дитизонат свинца, помещают в делительную воронку, добавляют 3 мл 0,05 н раствора соляной кислоты и экстрагируют в течение 2 мин. После разделения жидкостей нижний слой сливают в стакан для сбора отходов, а солянокислый раствор свинца присоединяют к первой порции в коническую пробирку. Объединенному раствору в конической пробирке дают постоять 5...10 мин, время от времени встряхивая для быстрого оседания капелек очищенного четыреххлористого углерода на дно пробирки. Затем отбирают пипеткой 5 мл раствора свинца и помещают в колбу объемом 25 мл, добавляют 0,2 мл раствора железистосинеродистого калия и 4,5 мл 0,05 н раствора тетраборнокислого натрия, перемешивают. Затем добавляют 0,5 мл 0,05%-го раствора плюмбона и вновь тщательно перемешивают содержимое колбы. Полученный раствор оставляют на 30 мин для появления окраски. Измерение оптической плотности проводят с зеленым светофильтром ($\lambda = 515$ нм), данные заносят в таблицу.

№	1	2	3	4	5	6	7
V рабочего раствора, мл	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Pb, мг/л	0	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,005
D_i	D_0						
$\Delta D = D_i - D_0$							

Ход работы. Перед приготовлением растворов бидистиллированную воду проверяют на наличие катионов тяжелых металлов следующим способом: в делительную воронку на 250 мл помещают 100...150 мл бидистиллированной воды и 10...20 мл 0,001%-го раствора дитизона в CCl_4 и встряхивают 2 мин. Экстракцию повторяют до тех пор, пока зеленый цвет дитизинового раствора не перестанет изменяться. Затем в очищенную воду добавляют 10 мл CCl_4 и встряхивают для очистки от следов дитизона.

1. Если содержание цинка более 0,5 мг/л, то проводят предварительное выделение свинца из раствора путем осаждения его с карбонатом кальция. Для этого 1000 мл подкисленной исследуемой воды помещают в мерную колбу на 1 л, добавляют 3 мл 10%-го калия железистосинеродистого, отстаивают пробу 10 мин, а затем ее нейтрализуют 25%-м раствором NaOH по бумаге конго (от фиолетового цвета в красный), при этом хорошо перемешивают воду после каждого добавления щелочи.

С помощью цилиндра в пробу добавляют 10 мл 1 н раствора углекислого натрия, затем перемешивают и добавляют 10 мл 1 н раствора хлористого кальция, после чего снова перемешивают и оставляют стоять 12...18 ч (если осадок не выпадает в течение 30 мин, добавляют 10 мл углекислого натрия, затем перемешивают и оставляют стоять 12...18 ч).

После отстаивания осадок карбоната обычно плотно пристает ко дну и стенкам колбы. На следующий день, после осаждения, раствор отфильтровывают через фильтр «белая лента» диаметром 5...7 см. Фильтры готовят заранее: для этого обрабатывают пачку фильтров 2 н раствором соляной кислоты, промывают бидистиллированной водой и сушат. Осадок карбонатов на фильтре и в колбе растворяют в 10 мл 2 н раствора соляной кислоты. На этом этапе вода частично освобождается от цинка.

Кислый раствор помещают в делительную воронку, тщательно смывая бидистиллированной водой содержимое колбы и фильтра. Добавляют 1 мл раствора солянокислого гидроксилamina (для восстановления Mn^{4+} и Fe^{3+}), 1 мл 33%-го раствора калия-натрия виннокислого и 5 мл 33%-го раствора натрия лимоннокислого. Раствор доводят до 100 мл бидистиллированной водой. Содержимое воронки перемешивают, добавляют 2–3 капли 0,1%-го раствора фенолового красного и по каплям очищенный концентрированный аммиак и продолжают анализ в соответствии с п. 2.

2. Если содержание цинка менее 0,5 мг/л, то 100 мл пробы помещают в делительную воронку на 150...200 мл, добавляют 1 мл 20%-го

раствора солянокислого гидроксилamina, 1 мл 33%-го раствора калия-натрия виннокислого (при больших содержаниях кальция и магния количество виннокислого калия-натрия увеличивают до 5 мл) и 5 мл 33%-го раствора натрия лимоннокислого, затем перемешивают, добавляют 2–3 капли 0,1%-го фенолового красного и по каплям приливают очищенный концентрированный аммиак до перехода окраски раствора из желтой в розовую и добавляют две капли избытка аммиака.

Добавляют 1...2 мл 0,01 %-го раствора дитизона и встряхивают 2 мин. Окраска раствора изменяется от зеленой до красной. После разделения жидкостей экстракт сливают в мерный цилиндр объемом 25 мл, а к водному раствору, оставшемуся в делительной воронке, добавляют 1...2 мл 0,01%-го дитизона, после чего раствор встряхивают 2 мин, экстракт дитизоната сливают к первому экстракту в цилиндр. Эту операцию повторяют до тех пор, пока окраска раствора дитизона не перестанет изменяться. Необходимо следить, чтобы вместе с экстрактом дитизоната свинца не был спущен водный раствор. Если немного водного раствора попадет в цилиндр, то его нужно осторожно удалить фильтровальной бумагой, не затрагивая слой органического растворителя.

Экстракт дитизоната свинца переносят из цилиндра в делительную воронку вместимостью 250 мл и добавляют 3 мл 0,05 н раствора соляной кислоты, а затем экстрагируют в течение 2 мин (свинец переходит в водную фазу). После разделения жидкостей нижний слой сливают к первому экстракту в цилиндр, а солянокислый раствор свинца сливают в коническую пробирку (для удаления мелких капелек раствора дитизона).

Экстракт, содержащий дитизонат свинца, помещают в делительную воронку, добавляют 3 мл 0,05 н раствора соляной кислоты и экстрагируют в течение 2 мин. После разделения жидкостей нижний слой сливают в стакан для сбора отходов, а солянокислый раствор свинца присоединяют к первой порции в коническую пробирку. Объединенному раствору в конической пробирке дают постоять 5...10 мин, время от времени встряхивая для быстрого оседания капелек очищенного четыреххлористого углерода на дно пробирки. Затем отбирают пипеткой 5 мл раствора свинца и помещают в колбу объемом 25 мл, добавляют 0,2 мл раствора железистосинеродистого калия и 4,5 мл 0,05 н раствора тетраборнокислого натрия, перемешивают. Затем добавляют 0,5 мл 0,05%-го раствора плюмбона и вновь тщательно перемешивают содержимое колбы. Полученный раствор оставляют на 30 мин для появления окраски. Измерение оптической плотности проводят с зеленым светофильтром ($\lambda = 515$ нм). По значению оптической плотности из градуировочного графика находят концентрацию ионов свинца. С учетом разбавления рассчитывают концентрацию ионов свинца в исследуемой воде по формуле (13).

Глава 3. ПРИМЕРЫ МИНИ-ПРОЕКТОВ ДЛЯ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА БАКАЛАВРИАТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЯ»

Мини-проект 1. Изучение качественного состава в продуктах питания и бытовой химии

Задание: кратко сформулировать актуальность исследования и цель работы; выбрать объекты исследования (3–4 источника, например шампунь разных марок или продукты питания); провести качественный анализ на выбранный(-е) ион(-ы) в объекте исследования; экспериментальные результаты представить в виде таблицы (табл. 3.1); сформулировать выводы о наличии определяемых ионов; сделать отчет в формате презентации.

Роль преподавателя: обсудить основные понятия: химический анализ, качественный анализ; напомнить информацию о качественных реакциях на различные катионы и анионы; выдать студентам необходимую химическую посуду для проведения эксперимента и реактивы; обсудить форму представления результатов работы.

Роль студента: каждый студент самостоятельно выбирает объект(-ы) и ион(-ы) для определения. Задача студента – установить наличие исследуемых ионов в выбранном объекте(-ах). Пример 1: наличие ионов $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, NO_3^- в курином яйце, гречневой/ячневой/овсяной крупах, моркови, яблоке, соке. Пример 2: наличие SO_4^{2-} , Cl^- ионов в шампунях различных марок. Выбрав объект, каждый студент проводит качественные реакции на наличие выбранных ионов. Самостоятельно организует рабочее место (выбирает реактивы, посуду).

Сложность качественного анализа состоит в том, что студент знает с точки зрения теории, что он должен наблюдать, но на практике возникает много вопросов (например, несовпадение цвета с эталонным образцом). Многие химические реакции неоднозначны, и для вывода об их протекании необходимо повторение эксперимента, изменение порядка смешивания реагентов, расчет необходимого количества, что требует от студента применения теоретических знаний. С целью получения положительного результата студенты консультируются друг с другом и совместно решают возникшие трудности, например при подборе нужного количества реактивов. Исследовательская деятельность студентов заключается в проведении химических реакций, фиксации и интерпретации наблюдений, сопоставлении полученных данных с теорией, формулировании выводов и представлении результатов перед аудиторией.

Таким образом, мини-проект является как индивидуальной, так и командной работой. Студент получает навык проведения эксперимента,

который включает применение теоретического материала (химические свойства соединений), получение результата и представление его в виде доклада на 3...5 мин.

Таблица 3.1

Полученные экспериментальные данные

№	Объект (марка/наименование и др.)	Обнаруженные ионы	Наличие/отсутствие ионов
1			
...			

Представление работы: объем презентации – 7 слайдов. На первом слайде нужно указать название мини-проекта, его авторов и в рамках какого модуля выполнялась данная работа. На втором – представить теоретическую часть (кратко излагается теоретический материал, который был использован при выполнении проекта). На третьем – цель и задачи проекта. На четвертом – методическую часть, в которой следует перечислить химическую посуду, оборудование, методы и методики анализа, которые использовали при выполнении проекта. На пятом и шестом слайдах – экспериментальную часть: результаты эксперимента в виде таблицы (табл. 3.1), химические реакции, наблюдения. На седьмом – заключение или выводы по работе.

**Мини-проект 2. Мониторинг содержания железа
в питьевых источниках водоснабжения**

Задание: кратко сформулировать актуальность исследования и цель работы; выбрать объекты исследования (3–4 источника); провести количественный анализ ионов железа методом фотоколориметрии; экспериментальные результаты представить в виде таблицы (табл. 3.2); сформулировать выводы о целесообразности использования воды в качестве питьевой; при необходимости предложить и описать наиболее доступные способы обезжелезивания воды; сделать отчет в формате презентации.

Роль преподавателя: обсудить выбор объектов исследования (при необходимости предложить объекты для исследования, например: водопроводная вода из различных населенных пунктов Томской области (Мельниково, Тайга, Шегарка), напомнить и обсудить основные понятия метода фотоколориметрии: закон Бугера–Ламберта–Бера, оптическая плотность, градуировочный график, расчет концентрации с учетом разбавления; напомнить технику безопасности и порядок работы на фотоколориметре; выдать студентам необходимую химическую посуду и оборудование для проведения эксперимента (фотоколориметр КФК-2МП,

мерные колбы объемом 50 и 100 мл; мерные пипетки на 2, 5, 10 мл; цилиндры; фотоколориметр; кюветы № 1) и реактивы (стандартный раствор $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; рабочий раствор $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; стандартный раствор $\text{NH}_4 \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; рабочий раствор $\text{NH}_4 \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 10%-й водный раствор сульфосалициловой кислоты; 25%-й раствор аммиака); обсудить форму представления результатов работы.

Роль студента: студенты объединяются в микрогруппы по 2–3 человека, задача – определить концентрацию ионов железа в 3–4 пробах водопроводной воды из разных источников. Предварительно студентам необходимо провести литературный обзор и сформулировать актуальность и цель работы. В часы аудиторного занятия студенты строят градуировочный график. Для этого каждая микрогруппа готовит 1–2 раствора из серии, данных преподавателем, значений концентраций. Затем методом фотоколориметрии определяет оптическую плотность приготовленных растворов, и отмечает полученные значения на общем графике. Особенность построения градуировочного графика заключается в том, что каждый студент несет ответственность за правильность, точность приготовления раствора и полученное значение оптической плотности.

После построения градуировочного графика каждая микрогруппа измеряет оптическую плотность своих объектов исследования и по графику определяет концентрацию ионов железа.

При выполнении работы студенты всех микрогрупп консультируются друг с другом. Таким образом, происходит закрепление теоретических знаний, формируется умение сопоставлять полученные данные с теорией, делать выводы, представлять полученные результаты перед аудиторией и нести за них ответственность.

Таким образом, данный мини-проект включает как индивидуальную, так и командную работу. Студент получает навык проведения эксперимента от начала до конца, который включает применение теоретического материала, получение экспериментальных данных, анализ и представление полученных результатов в виде выводов и рекомендаций.

Таблица 3.2

Полученные экспериментальные данные

№	Место взятия пробы	Содержание $\text{Fe}^{2+, 3+}$ мг/л

Представление работы: объем презентации – 7 слайдов. На первом слайде нужно указать название мини-проекта, его авторов и в рамках какого модуля выполнялась данная работа. На втором – представить теоретическую часть (кратко излагается теоретический материал, который был использован при выполнении проекта). На третьем – цель и задачи проекта. На четвертом – методическую часть, в которой следует перечислить химическую посуду, оборудование, методы и методики анализа, которые использовали при выполнении проекта. На пятом и шестом слайдах – экспериментальную часть: результаты эксперимента в виде таблицы (табл. 3.2), химические реакции, наблюдения. На седьмом – заключение или выводы по работе.

Мини-проект 3. Определение качества воды из природных источников Сибири

Задание: кратко сформулировать актуальность исследования и цель работы; выбрать объекты исследования (3–4 источника); для исследуемых образцов: определить рН; провести качественный и количественный анализ на содержание нитрат-, хлорид-, и сульфат-анионов, катионов железа и аммония; установить общую жесткость воды. Исследования проводить методами рН-метрии, фотоколориметрии, титрования. Экспериментальные результаты представить в виде таблицы (табл. 3.3); сформулировать выводы о качестве воды исследуемых образцов, сравнивая со значениями ПДК; предположить возможные источники загрязнения и обосновать свои предположения, сделать устный отчет (доклад) о проделанной работе в формате презентации.

Роль преподавателя: обсудить выбор объектов исследования (при необходимости предложить объекты для исследования, например вода из различных родников города Томска и Томской области: родник в Михайловской роще города Томска, родник в поселке Светлом города Томска, родник «Звездный ключ» в окрестностях села Батурино Томского района); напомнить и обсудить основные понятия метода фотоколориметрии: закон Бугера–Ламберта–Бера, оптическая плотность, градуировочный график, расчет концентрации с учетом разбавления; метода титрования: кислотно-основное титрование, закон эквивалентов, жесткость воды; напомнить технику безопасности и порядок работы на фотоколориметре и рН-метре; выдать студентам необходимую химическую посуду, реактивы и оборудование для проведения эксперимента; обсудить форму представления результатов работы.

Роль студента: студенты объединяются в группы от 2 до 4 человек, после чего группы распределяют методы, которыми будут проводить исследования образцов воды. У каждой группы своя задача. Первая группа рН-метром измеряет рН всех образцов. Задача второй группы – установить общую жесткость воды методом титрования. Третья и четвертая группа определяют концентрацию ионов железа, аммония, нитрат-, и хлорид-ионов методом фотоколориметрии с использованием фотоколориметра КФК-2МП.

Предварительно студентам необходимо провести литературный обзор и сформулировать актуальность и цель работы, повторить методики проведения рН-метрии, фотоколориметрии, титрования. В часы аудиторного занятия каждая группа студентов выполняет свой эксперимент (рН-метрию, фотоколориметрию, титрование) со всеми образцами. Полученные данные студенты заносят в общую таблицу результатов (табл. 3.3).

При выполнении работы студенты внутри каждой группы консультируются друг с другом с целью уточнить неясные моменты, выработать стратегию действий. Между группами также происходит взаимодействие с целью обмена данными, формулировки выводов, распределения ответственности при подготовке отчета (доклада). Таким образом, происходит закрепление теоретических знаний, формируется умение сопоставлять полученные результаты с теорией, делать выводы, представлять итоги работы перед аудиторией и нести за них ответственность.

Таким образом, данный мини-проект – это исследовательская работа, основанная на комплексе физико-химических методов исследования. Проект предполагает как индивидуальную, так и командную работу, каждый студент получает навык проведения эксперимента от начала до конца, который включает умение применять теоретический материал на практике, самостоятельно получать и анализировать экспериментальные данные, представлять полученные результаты в виде обоснованных выводов.

Таблица 3.3

Полученные экспериментальные данные

№	Источник	рН	Ж, ммоль/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	ΣFe ^{2+, 3+} , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л
1							
2							
ПДК		6...9	7	40	0,1	0,5	300

Представление работы: объем презентации – 7 слайдов. На первом слайде нужно указать название мини-проекта, его авторов и в рамках какого модуля выполнялась данная работа. На втором – представить

теоретическую часть (кратко излагается теоретический материал, который был использован при выполнении проекта). На третьем – цель и задачи проекта. На четвертом – методическую часть, в которой следует перечислить химическую посуду, оборудование, методы и методики анализа, которые использовали при выполнении проекта. На пятом и шестом слайдах – экспериментальную часть: результаты эксперимента в виде таблицы (табл. 3.3), химические реакции, наблюдения. На седьмом – заключение или выводы по работе.

Мини-проект 4. Изучение качественного состава монет

Задание: кратко сформулировать актуальность исследования и цель работы; выбрать объекты исследования (3–4 источника, например монеты одинакового достоинства, но разного года выпуска или разного номинала, но одного года выпуска); провести качественный анализ в объектах исследования; экспериментальные результаты представить в виде таблицы (табл. 3.4); сформулировать выводы о качественном составе монет; сделать отчет в формате презентации.

Роль преподавателя: обсудить основные понятия: химический анализ, качественный анализ; напомнить информацию о качественных реакциях на различные катионы металлов; выдать студентам необходимую химическую посуду для проведения эксперимента и реактивы; обсудить форму представления результатов работы.

Роль студента: каждый студент сам выбирает объекты исследования. Задача студента – установить качественный состав монет. Пример 1: состав монет номиналом 10 рублей 1993, 2009, 2015 и 2020 гг. выпуска. Пример 2: монеты номиналом 10 копеек, 1 рубль, 10 рублей одного года выпуска. Выбрав объект, студент изучает источники литературы, для того чтобы оценить возможный состав монет, а затем проводит качественные реакции на катионы металлов. Самостоятельно организует рабочее место (выбирает реактивы, посуду).

При выполнении работы студенты внутри каждой группы консультируются друг с другом с целью уточнить неясные моменты, выработать стратегию действий. Между группами также происходит взаимодействие с целью обмена данными, формулировки выводов, распределения ответственности при подготовке отчета (доклада). Таким образом, происходит закрепление теоретических знаний, формируется умение сопоставлять полученные результаты с теорией, делать выводы, представлять итоги работы перед аудиторией и нести за них ответственность.

Таким образом, мини-проект включает как индивидуальную, так и командную работу. Студент получает навык проведения эксперимента

от начала до конца, который включает применение теоретического материала (химические свойства соединений), получение результата и представление его в виде доклада на 3...5 мин.

Таблица 3.4

Полученные экспериментальные данные

№	Объект (марка/наименование и др.)	Обнаруженные ионы металлов	Реагент	Признаки реакции
1				
...				

Представление работы: объем презентации – 7 слайдов. На первом слайде нужно указать название мини-проекта, его авторов и в рамках какого модуля выполнялась данная работа. На втором – представить теоретическую часть (кратко излагается теоретический материал, который был использован при выполнении проекта). На третьем – цель и задачи проекта. На четвертом – методическую часть, в которой следует перечислить химическую посуду, оборудование, методы и методики анализа, которые использовали при выполнении проекта. На пятом и шестом слайдах – экспериментальную часть: результаты эксперимента в виде таблицы (табл. 3.4), химические реакции, наблюдения. На седьмом – заключение или выводы по работе.

Мини-проект 5. Определение цинка в лекарственных препаратах

Задание: кратко сформулировать актуальность исследования и цель работы; выбрать объекты исследования (2–3 источника, например лекарственные цинксодержащие препараты: «Зинерит», «Цинка сульфат-ДИА», «Цинкит»); для исследуемых образцов установить содержание ионов цинка экстракционным методом. Экспериментальные результаты представить в виде таблицы (табл. 3.5); сформулировать выводы о соответствии содержания цинка со значением, указанным в инструкции к лекарственному препарату; сделать устный отчет (доклад) о проделанной работе в формате презентации.

Роль преподавателя: обсудить выбор объектов и теоретические основы экстракционного метода исследования; выдать студентам необходимую химическую посуду, реактивы и оборудование для проведения эксперимента; обсудить форму представления результатов работы.

Роль студента: студенты объединяются в группы от 2 до 4 человек, после чего группы распределяют цинксодержащие лекарственные препараты для их дальнейшего исследования экстракционным методом.

Предварительно студентам необходимо провести литературный обзор и сформулировать актуальность и цель работы, повторить методику проведения эксперимента. В часы аудиторного занятия каждая группа студентов выполняет экстракцию выбранного объекта. Полученные данные студенты заносят в общую таблицу результатов (табл. 3.5).

При выполнении работы студенты внутри каждой группы консультируются друг с другом с целью уточнить неясные моменты, выработать стратегию действий. Группы обмениваются полученными данными и сравнивают их с теоретическими значениями.

Проект предполагает как индивидуальную, так и командную работу, каждый студент получает навык проведения эксперимента от начала до конца, который включает умение применять теоретический материал на практике, самостоятельно получать и анализировать экспериментальные данные, представлять полученные результаты в виде обоснованных выводов.

Таблица 3.5

Полученные экспериментальные данные

№	Объект (марка/наименование и др.)	Содержание ионов цинка, моль/л	
		экспериментальное	Указанное в инструкции
1			
...			

Представление работы: объем презентации – 7 слайдов. На первом слайде нужно указать название мини-проекта, его авторов и в рамках какого модуля выполнялась данная работа. На втором – представить теоретическую часть (кратко излагается теоретический материал, который был использован при выполнении проекта). На третьем – цель и задачи проекта. На четвертом – методическую часть, в которой следует перечислить химическую посуду, оборудование, методы и методики анализа, которые использовали при выполнении проекта. На пятом и шестом слайдах – экспериментальную часть: результаты эксперимента в виде таблицы (табл. 3.5), химические реакции, наблюдения. На седьмом – заключение или выводы по работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное изучение химии возможно при наличии нескольких составляющих: знание теоретического материала, умение использовать химическую терминологию и законы химии для решения задач, а также владение навыками проведения и анализа эксперимента. А результатами успешного освоения дисциплины «Химия» будут являться: способность применять знания основных понятий и законов химии для выявления взаимосвязи между структурой, свойствами и реакционной способностью неорганических веществ; прогнозировать и объяснять возможность протекания химических процессов на основе количественных расчетов и экспериментальных данных; анализировать и обобщать полученные результаты опыта, сопоставлять их с имеющимися теоретическими знаниями и делать выводы.

Решение ситуационных задач поможет студентам углубить химические знания, расширить кругозор, сформировать научное мировоззрение. А выполнение проектно-исследовательских работ, представленных в данном пособии, позволит получить навык выполнения проектов, которые содержат элементы научного исследования. Полученные результаты студенты могут представлять на всероссийских и международных студенческих конференциях. Приобретенный опыт будет полезен студентам во всех сферах инженерной и научной деятельности.

*Авторы выражают благодарность
к. х. н., доценту Юрмазовой Татьяне
Александровне за помощь в работе,
ценные советы и замечания.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошниченко Ю.Ю. Химические загрязнения в биосфере и их определение / Ю.Ю. Мирошниченко, Т.А. Юрмазова. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 86 с.
2. Ерофеева Г.В. Проектно-организованное обучение как инструмент формирования компетенций выпускника технического университета / Г.В. Ерофеева, А.С. Панкина // Вестник ЧГПУ. – 2008. – № 10. – С. 22–32.
3. Шабанова И.А. Ситуационные задачи по химии как один из компонентов практико-ориентированного обучения / И.А. Шабанова, С.В. Ковалева, Т.С. Кец // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). – 2017. – Вып. 2 (16). – С. 79–86.
4. Практические аспекты формирования проектно-исследовательской компетенции обучающихся при изучении курса химии в средней школе / Е.Е. Буренина // Актуальные проблемы химического и экологического образования: 66 Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (18–19 апреля 2019 г.). – Санкт-Петербург : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. – С. 47–51.
5. Ситуационные задачи как средство формирования универсальных учебных действий. – Режим доступа: http://dpo-smolensk.ru/biblioteka/inform_obespech/kaf-EMC/himija-6-situac%20zad.pdf.
6. Сенсорный экран. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD.
7. Люминесценция: виды, методы, применение. Термостимулированная люминесценция – это что? – Режим доступа: <https://fb.ru/article/253464/lyuminestsentsiya-vidyi-metodyi-primenenie-termostimulirovannaya-lyuminestsentsiya---eto-cto>.
8. Федорова А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – Москва : Владос, 2001. – 285 с.
9. Унифицированные методы анализа / под ред. Ю.Ю. Лурье. – Москва : Химия, 1973. – 376 с.
10. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – Москва : Химия, 1984. – 446 с.
11. Зайцев О.С. Исследовательский практикум по общей химии / О.С. Зайцев. – Москва : Изд-во МГУ, 1994. – 480 с.
12. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б.Е. Рябчиков. – Москва : ДеЛи принт, 2004. – 326 с.

13. Бабков А.В. Практикум по общей химии с элементами количественного анализа / А.В. Бабков, Г.Н. Горшкова, А.М. Кононов. – Москва : Высшая школа, 1978. – 239 с.

14. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдодокремниевой кислоты : РД 52.24.433-2005. Введ. в действие с 01.07.2005. – Ростов-на-Дону : Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2005. – 23 с.

15. Лурье Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю.Ю. Лурье, А.И. Рыбникова. – Москва : Химия, 1966. – 280 с.

16. ПНД Ф 14.1:2:4.50-96. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Введ. 23.03.2011. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2011. – 7 с.

17. ПНДФ 14.1:2:4.262-10. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Введ. 15.07.2010. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2010. – 26 с.

18. ГОСТ 33045-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Введ. 01.01.2016. – Москва : Кодекс, 2016. – 14 с.

19. ГОСТ 10671.7-2016. Межгосударственный стандарт. Реактивы. Методы определения примеси хлоридов. Введ. 01.01.2018. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 14 с.

20. ГОСТ 18293-72. Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра. Введ. 01.01.74. – Москва : Изд-во стандартов, 1974. – 35 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ И ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАНИЯ.....	7
1.1. Ситуационные задачи по общей и неорганической химии	7
1.2. Проектно-исследовательские задания по химии	29
Глава 2. ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ. КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ИОНОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	32
2.1. Качественный анализ.....	32
2.2. Количественный анализ	42
2.2.1. Титриметрический анализ	43
2.2.2. Физико-химические методы анализа.....	55
2.2.3. Экстракционный метод.....	73
Глава 3. ПРИМЕРЫ МИНИ-ПРОЕКТОВ ДЛЯ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА БАКАЛАВРИАТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЯ»	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	96

Учебное издание

МИРОШНИЧЕНКО Юлия Юрьевна
АБРАМОВА Полина Владимировна
МАЧЕХИНА Ксения Игоревна
СМИРНОВА Валентина Владимировна

ПРОЕКТНЫЕ И СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Учебно-методическое пособие

Корректурa *Е.Л. Тен*
Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*
Дизайн обложки *Т.В. Буланова*

Подписано к печати 26.04.2022. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать CANON. Усл. печ. л. 5,76. Уч.-изд. л. 5,21.

Заказ 00-22. Тираж 100 экз.



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ