

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ
КАФЕДРА АНАЛІТИЧНОЇ ТА ТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ

АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт для студентів
факультету хімії та фармації

ОДЕСА
ОНУ
2023

УДК 543:504
A64

Укладачі:

Т. М. Щербакова, кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

Р. Є. Хома, доктор хімічних наук, професор, професор кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

О. М. Гузенко, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

О. М. Рахлицька, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

С. В. Топоров, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії.

Рецензенти:

Ю. В. Ішков, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри органічної та фармацевтичної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

А. Ф. Тимчук, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету
хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 8 від 12 травня 2023 р.*

A64 **Аналітична** хімія навколишнього середовища: електрон. метод. вказівки до лабор. робіт для студ. ф-ту хімії та фармації / уклад.: Т. М. Щербакова, Р. Є. Хома, О. М. Гузенко, О. М. Рахлицька, С. В. Топоров. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2023. – 61 с. – 1,4 МБ.

Пропоновані методичні вказівки стануть у нагоді при виконанні лабораторних робіт з дисципліни вільного вибору «Аналітична хімія навколишнього середовища з основами броматології», яка викладається студентам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 102 «Хімія» факультету хімії та фармації Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

УДК 543:504

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	5
I. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ “АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ОСНОВАМИ БРОМАТОЛОГІЇ”	6
1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни.....	6
1.2 Зміст навчальної дисципліни	8
1.3 Структура навчальної дисципліни.....	12
1.4 Теми лабораторних занять	16
1.5 Самостійна робота	16
1.6 Методи навчання	21
1.7 Форми контролю і методи оцінювання	23
II. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ ТА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	
Застосування спектрофотометричного методу аналізу при дослідженні об’єктів навколишнього середовища	29
<i>Лабораторна робота 1</i>	
Спектрофотометричне визначення нітритів у промислових водах за допомогою реактиву Грісса	28
<i>Лабораторна робота 2</i>	
Спектрофотометричне визначення бісмуту з тіокарбамідом...	30
<i>Лабораторна робота 3</i>	
Спектрофотометричне визначення нітрогену амонійного з реактивом Несслера	33
<i>Лабораторна робота 4</i>	

Спектрофотометричне визначення хрому(VI) у воді за допомогою 1,5-дифенілкарбазиду	35
<i>Лабораторна робота 5</i>	
Спектрофотометричне визначення купруму в питній воді з 4-(2-пириділазо)-резорцином (ПАР)	
Застосування титриметричного аналізу при дослідженні об'єктів навколишнього середовища	46
<i>Лабораторна робота 6</i>	
Визначення амоніаку у повітрі	
<i>Лабораторна робота 7</i>	
Визначення діоксиду карбону в ґрунті	
<i>Лабораторна робота 8</i>	
Визначення аскорбінової кислоти у фруктових напоях методом йодометричного титрування.	
<i>Лабораторна робота 9</i>	
Титриметричне визначення трилону Б в промислових водах	53
<i>Лабораторна робота 10</i>	
Визначення солей кальцію у цукрових розчинах.....	54
Застосування атомно-абсорбційного методу аналізу при дослідженні об'єктів навколишнього середовища	66
<i>Лабораторна робота 11</i>	
Полум'яний варіант атомно-абсорбційного визначення феруму у воді	
<i>Перелік питань для поточного та періодичного контролю</i>	<i>70</i>
<i>Рекомендована література</i>	<i>73</i>

ВСТУП

Серед великої кількості проблем, які турбують сучасне суспільство, охорона навколишнього середовища займає одне з перших місць. Це пов'язано з тим, що антропогенні фактори в біогеохімічному круговороті багатьох токсичних для людини сполук сьогодні стали порівняними з природними. При цьому циркуляція чужорідних живим організмам хімічних сполук та їх транспорт по харчовим ланцюгам зростає вже до рівня, що загрожує здоров'ю сучасного та майбутніх поколінь.

В біосфері циркулює велика кількість ксенобіотиків техногенного походження, які мають значну токсичність. До них відносяться різні органічні сполуки, насамперед, це поліхлорировані діоксини, дібензофурани та біфеніли, хлор- і фосфоровмісні пестициди, поліароматичні вуглеводороди, нітрозаміни, неорганічні речовини – меркурій, плюмбум, кадмій, берилій та їх сполуки, радіонукліди та інші. Приймаючи до уваги, що відмічені речовини виявляють велику здібність до накопичення в живих організмах та передаються по трофічним ланцюгам, еколого-аналітичному моніторингу супертоксикантів сьогодні приділяється значна увага.

Хімічний склад об'єктів навколишнього природного середовища та наявність у водах, ґрунтах і повітрі сполук – забруднювачів і токсикантів – характеризуються багатьма особливостями, зокрема, зміною їх вмісту в часі та просторі, яка, у свою чергу, залежить від фізико-географічних, біологічних та значною мірою антропогенних факторів. Це зумовлює чимало труднощів на різних стадіях проведення еколого-аналітичного контролю за вмістом різноманітних інгредієнтів природного та антропогенного походження, включаючи етапи відбору проб, їх консервування та пробопідготовки, концентрування мікродомішок, усунення сполук, що заважають аналізу.

I. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ “АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ОСНОВАМИ БРОМАТОЛОГІЇ”

1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: сформувати у здобувачів вищої освіти здатність застосовувати теоретичні знання і практичні навички для хімічного аналізу об’єктів навколишнього середовища та харчових продуктів.

Для досягнення вказаної мети слід вирішити наступні завдання:

- опанувати знання про різноманітність компонентів, які входять до складу об’єктів навколишнього середовища та харчових продуктів, особливості аналізу та їх значення для організму людини;
- опанувати знання про хімічний склад поверхневих та підземних вод суші, океанів, атмосферних опадів, повітря, ґрунтів, сировини та харчових продуктів та про основи еколого-аналітичного моніторингу забруднювачів;
- оволодіти навичками відбору зразків відповідних об’єктів, їх розкладу та підготовки до аналізу;
- поглибити знання з хімічних, фізико-хімічних та фізичних методів аналізу, які використовуються при дослідженні хімічного складу об’єктів навколишнього середовища, а також методів концентрування і розділення;
- сформувати навички визначення різноманітних компонентів в об’єктах навколишнього середовища та в продуктах харчування.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

а) загальних (ЗК):

- **ЗК 3.** Здатність працювати у команді.
- **ЗК 4.** Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

- **ЗК 5.** Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- **ЗК 10.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

б) фахових (ФК):

- **ФК 3.** Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт, виходячи із вимог хімічної метрології та професійних стандартів в галузі хімії.
- **ФК 8.** Здатність здійснювати кількісні вимірювання фізико-хімічних величин, описувати, аналізувати і критично оцінювати експериментальні дані.
- **ФК 9.** Здатність використовувати стандартне хімічне обладнання.
- **ФК 13.** Здатність до практичного застосування теоретичних відомостей з хімії
- **ФК 14.** Здатність інтегрувати знання з хімії для розв'язання задач охорони навколишнього середовища.

Програмні результати навчання (Р)

- **Р05.** Розуміти зв'язок між будовою та властивостями речовин.
- **Р08.** Знати принципи і процедури фізичних, хімічних, фізико-хімічних методів дослідження, типові обладнання та прилади.
- **Р09.** Планувати та виконувати хімічний експеримент, застосовувати придатні методики та техніки приготування розчинів та реагентів.
- **Р19.** Використовувати свої знання, розуміння, компетенції та базові інженерно-технологічні навички на практиці для вирішення задач та проблем відомої природи.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен

знати:

- класифікацію, хімічний склад та властивості природних вод, повітря, атмосферних опадів, ґрунтів, донних відкладень;

- походження, склад харчових продуктів, харчову, біологічну та енергетичну цінність продуктів, яка визначається вмістом в них білків, жирів, вуглеводів, мінеральних компонентів, вітамінів, органічних кислот, смакових та ароматичних сполук;
- види відбору та підготовку проб до аналізу;
- методи розділення, концентрування та визначення компонентів відповідних об'єктів;

вміти:

- на основі теоретичних знань класифікувати об'єкти аналізу за їх фізико-хімічними характеристиками та особливостями складу;
- проводити пробовідбір та пробопідготовку, оптимальні для визначення компонентів у відповідному об'єкті;
- застосовувати методи виділення, концентрування та кількісного визначення компонентів навколишнього середовища та харчових продуктів.

1.2 Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основи еколого-аналітичного моніторингу. Хімічний склад об'єктів природного середовища

Тема 1. Предмет і задачі, основні поняття аналітичної хімії навколишнього середовища. Еколого-аналітичний моніторинг. Загальна характеристика та класифікація продуктів харчування та їх складових

Актуальність проблем, які вирішує аналітична хімія навколишнього середовища. Поняття про ксенобіотики, екотоксиканти, політанти. Основні види забруднювачів навколишнього середовища. Моніторинг. Головні задачі моніторингу. Категорії антропогенного впливу на біосферу. Джерела забруднювачів та їх форми міграції. Геохімічні аномалії. Види міграцій політантів. Токсичність. Гранично-допустимі концентрації забруднювачів.

Харчові продукти тваринного і рослинного походження, які використовують у незмінному, обробленому або переробленому вигляді у харчуванні людини.

Тема 2. *Особливості хімічного складу, класифікація та деякі властивості вод*

Кількісний та якісний склад природних вод. Основні показники якості води. Прямі і непрямі фактори, які впливають на формування хімічного складу природних вод. Характеристика питних, технічних, лікувальних та стічних вод.

Діапазон вмісту солей в підземних, морських та океанських водах. Гази, які присутні в підземних, морських та океанських водах. Надходження солей у води морів та океанів. Втрати солей. Головні компоненти підземних, морських та океанських вод. Середня солоність океанів і морів. Розчинені газы підземних, морських та океанських вод, вміст та джерела надходження.

Тема 3. *Хімічний склад повітря, атмосферних опадів, ґрунтів та донних відкладів*

Атмосфера. Постійні складові частини повітря. Аерозолі. Джерела забруднення повітряного басейну. Фактори, які впливають на концентрацію атмосферних забруднень. Хімічний склад ґрунтів. Фізичні властивості ґрунтів. Склад основних компонентів ґрунтів і донних відкладень. Показники, які характеризують вміст доступних для рослин хімічних інгредієнтів. Проникнення важких металів в ґрунти.

Змістовий модуль 2. **Основні задачі та особливості броматології, об'єкти аналізу**

Тема 4. *Харчова, біологічна і енергетична цінність харчових продуктів. Структура та функції білків і амінокислот в організмі*

Визначення харчової, біологічної і енергетичної цінності харчових продуктів. Вміст в харчових продуктах білків, жирів, вуглеводів, мінеральних компонентів, вітамінів, органічних кислот, смакових і ароматичних сполук. Білки – пластичний і структурний матеріал, з якого складаються всі клітини, тканини і органи. Структура білка. Функції білків в організмі. Амінокислоти як основні структурні частини молекул білків. Класифікація амінокислот. Функції амінокислот в організмі.

Тема 5. *Біологічна роль жирів і ліпідів. Класифікація та функції вуглеводів*

Жири і ліпіди – основні структурні компоненти клітинних мембран. Тваринні, рослинні та штучні жири. Класифікація вуглеводів за їх будовою, біологічними функціями та харчовою цінністю.

Тема 6. *Вітаміни та мікроелементи в організмі. Модифікатори структури їжі. Харчові добавки і штучні продукти харчування*

Класифікація і функції вітамінів. Вода, солі, мікроелементи. Модифікатори структури їжі. Запах та смак їжі. Харчові добавки. Штучні продукти харчування.

Змістовий модуль 3. Характеристика і особливості методів аналізу навколишнього середовища та харчових продуктів

Тема 1. *Особливості застосування хімічних методів визначення інгредієнтів в об'єктах довкілля та в броматології*

Види і способи титриметричного аналізу, які застосовуються при дослідженні харчових продуктів та об'єктів навколишнього середовища. Використання гравіметрії при аналізі ґрунтів, донних відкладень та харчових продуктів.

Тема 2. *Загальна характеристика фізико-хімічних методів визначення інгредієнтів в об'єктах навколишнього середовища та харчових продуктах*

Методи атомного і молекулярного спектрального аналізу, які застосовуються при дослідженні об'єктів довкілля. Використання хроматографії (газова, рідинна, тонкошарова та іонообмінна), потенціометрії та люмінесценції для аналізу проб повітря, вод, ґрунтів і харчових продуктів рослинного та тваринного походження.

Тема 3. *Експрес-методи контролю якості харчових продуктів. Маскування заважаючих аналізу компонентів.*

Тест-методи для визначення токсичних сполук неорганічної та органічної природи в харчових продуктах. Види маскування та основні групи маскуючих сполук. Кількісна оцінка маскування.

Змістовий модуль 4. Відбір проб та хімічний аналіз об'єктів навколишнього середовища для аналізу

Тема 1. *Загальна характеристика проби об'єктів навколишнього середовища. Відбір проб води*

Генеральна, лабораторна і проба, що аналізується. Основні принципи відбору проб. Види проб та способи їх відбору. Пробовідбірники. Частота відбирання проб. Об'єм проб води. Відбір проб води з річок, озер, ставків. Посуд для відбору і зберігання проб води. Консервування, транспортування проб води.

Тема 2. *Відбір проб повітря, ґрунтів, донних відкладень, біопроб та харчових продуктів*

Вимоги до методів контролю вмісту шкідливих сполук у повітрі. Відбір проби з потоку повітря. Леткість. Поглинальні посудини, сорбенти та фільтруючі матеріали. Аспіраційні прилади. Розрахунок оптимальної маси проби. Розподільча здатність забруднювачів ґрунтів. Схема розташування точок відбору твердих проб. Гомогенізація та усереднення проби. Особливості відбору та зберігання біопроб. Втрати і забруднення при відборі проб.

Тема 3. *Основні стадії підготовки проби до аналізу*

Висушування зразків. Способи вилучення забруднювачів: термодеструкція, рідинна екстракція, екстракція субкритичною водою, надкритична флюїдна екстракція, екстракція в мікрохвильовому полі, парофазовий аналіз.

Тема 4. *Види розкладання зразків проб об'єктів довкілля та харчових продуктів*

Термічне розкладання: піроліз, сухе озолення; переваги і недоліки. Сплавлення. Спікання. Мокра мінералізація зразків. Розкладання проб об'єктів навколишнього середовища у закритому посуді під впливом фізичних факторів. Розкладання проби в автоклавах: переваги і недоліки. Розкладання проби під впливом акустичного поля (ультразвуку). Фоторозкладання. Мікрохвильове розкладання проби: переваги і недоліки.

Тема 5. Методи розділення і концентрування, які застосовуються в процесі аналізу проб об'єктів навколишнього середовища та харчових продуктів

Фактори, які обумовлюють необхідність розділення і концентрування при аналізі проб. Основні види розділення і концентрування, які застосовуються при аналізі та їх застосування до аналізу певних об'єктів. Загальна характеристика випаровування, виморожування та відгонки. Застосування осадження і співосадження при аналізі. Загальна характеристика сорбції. Види і характеристика хроматографічних методів. Екстракція: основні поняття, умови, кількісні характеристики, застосування. Порівняльна характеристика методів концентрування та розділення сполук при аналізі харчових продуктів. Загальні схеми підготовки проб при визначенні високо-токсичних сполук у харчових продуктах.

1.3 Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем
Змістовий модуль 1. Основи еколого-аналітичного моніторингу забруднювачів. Хімічний склад об'єктів природного середовища
Тема 1. Предмет і задачі, основні поняття аналітичної хімії навколишнього середовища. Еколого-аналітичний моніторинг. Загальна характеристика та класифікація продуктів харчування та їх складових
Тема 2. Особливості хімічного складу, класифікація та деякі властивості вод
Тема 3. Хімічний склад повітря, атмосферних опадів, ґрунтів та донних відкладів
Змістовий модуль 2. Основні задачі та особливості броматології, об'єкти аналізу
Тема 4. Харчова, біологічна і енергетична цінність харчових продуктів. Структура та функції білків і амінокислот в організмі
Тема 5. Біологічна роль жирів і ліпідів. Класифікація та функції

вуглеводів
Тема 6. Вітаміни та мікроелементи в організмі. Модифікатори структури їжі. Харчові добавки і штучні продукти харчування.
Змістовий модуль 3. Характеристика і особливості методів аналізу навколишнього середовища та харчових продуктів
Тема 7. Особливості застосування хімічних методів визначення інгредієнтів в об'єктах довкілля та в броматології
Тема 8. Загальна характеристика фізико-хімічних методів визначення інгредієнтів в об'єктах навколишнього середовища та харчових продуктах
Тема 9. Експрес-методи контролю якості харчових продуктів. Маскування заважаючих аналізу компонентів
Змістовий модуль 4. Відбір проб та хімічний аналіз об'єктів навколишнього середовища для аналізу
Тема 10. Загальна характеристика проби об'єктів навколишнього середовища. Відбір проб води
Тема 11. Відбір проб повітря, ґрунтів, донних відкладень, біопроб та харчових продуктів
Тема 12. Основні стадії підготовки проби до аналізу
Тема 13. Види розкладання зразків проб об'єктів довкілля та харчових продуктів
Тема 14. Методи розділення і концентрування, які застосовуються в процесі аналізу проб об'єктів навколишнього середовища та харчових продуктів

1.4 Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва лабораторної роботи
1	Спектрофотометричне визначення нітритів у промислових водах за допомогою реактиву Грісса
2	Спектрофотометричне визначення бісмуту з тіокарбамідом у водах
3	Спектрофотометричне визначення азоту амонійного з реактивом

	Неслера у водах
4	Спектрофотометричне визначення хрому(VI) у поверхневих водах за допомогою 1,5-дифенілкарбазиду
5	Спектрофотометричне визначення купруму в питній воді з 4-(2-пириділазо)-резорцином
7	Визначення амоніаку у повітрі.
8	Визначення діоксиду карбону в ґрунті
9	Визначення аскорбінової кислоти у фруктових напоях методом йодометричного титрування
6	Титриметричне визначення трилону-Б в промислових водах
10	Визначення солей кальцію у цукрових розчинах
11	Полум'яний варіант атомно-абсорбційного визначення феруму у воді

1.5 Самостійна робота

№ з/п	Назва теми самостійної роботи здобувачів
1	Тема 1. Предмет і задачі, основні поняття аналітичної хімії навколишнього середовища. Еколого-аналітичний моніторинг. Загальна характеристика та класифікація продуктів харчування та їх складових (<i>опрацювання лекційного матеріалу</i>)
2	Тема 2. Особливості хімічного складу, класифікація та деякі властивості вод (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи, розрахункові роботи</i>)
3	Тема 3. Хімічний склад повітря, атмосферних опадів, ґрунтів та донних відкладів (<i>опрацювання лекційного матеріалу, підготовка до контрольної роботи за змістовим модулем 1, рішення самостійної контрольної роботи 1</i>)
4	Тема 4. Харчова, біологічна і енергетична цінність харчових продуктів. Структура та функції білків і амінокислот в організмі (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи, розрахункові роботи</i>)

5	Тема 5. Біологічна роль жирів і ліпідів. Класифікація та функції вуглеводів (<i>опрацювання лекційного матеріалу, рішення самостійної контрольної роботи 2</i>)
6	Тема 6. Вітаміни та мікроелементи в організмі. Модифікатори структури їжі. Харчові добавки і штучні продукти харчування (<i>опрацювання лекційного матеріалу, підготовка до контрольної роботи за змістовим модулем 2</i>)
7	Тема 7. Особливості застосування хімічних методів визначення інгредієнтів в об'єктах довкілля та в броматології (<i>опрацювання лекційного матеріалу, рішення самостійної контрольної роботи 2</i>)
8	Тема 8. Загальна характеристика фізико-хімічних методів визначення інгредієнтів в об'єктах навколишнього середовища та харчових продуктах (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи, розрахункові роботи</i>)
9	Тема 9. Експрес-методи контролю якості харчових продуктів. Маскування заважаючих аналізу компонентів (<i>опрацювання лекційного матеріалу, підготовка до контрольної роботи за змістовим модулем 3</i>)
10	Тема 10. Загальна характеристика проби об'єктів навколишнього середовища. Відбір проб води (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи, розрахункові роботи</i>)
11	Тема 11. Відбір проб повітря, ґрунтів, донних відкладень, біопроб та харчових продуктів (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи, розрахункові роботи</i>)
12	Тема 12. Основні стадії підготовки проби до аналізу (<i>опрацювання лекційного матеріалу, рішення самостійної контрольної роботи 3</i>)
13	Тема 13. Види розкладання зразків проб об'єктів довкілля та харчових продуктів (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи,</i>

	<i>розрахункові роботи)</i>
14	Тема 14. Методи розділення і концентрування, які застосовуються в процесі аналізу проб об'єктів навколишнього середовища та харчових продуктів (<i>опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення з методикою виконання лабораторної роботи, розрахункові роботи, підготовка до контрольної роботи за змістовим модулем 4</i>)

1.6 Методи навчання

1. Словесні (лекції, в тому числі з аналізом конкретних ситуацій, розповідь, пояснення, бесіда, дискусія).
2. Наочні (мультимедійні презентації; самостійне спостереження при виконанні лабораторних робіт; візуалізація; демонстрація відео-експериментів).
3. Практичні (виконання лабораторних робіт, розрахункові завдання, розв'язування хіміко-аналітичних задач).

1.7 Форми контролю і методи оцінювання (у т. ч. критерії оцінювання результатів навчання)

1. Поточний контроль:

- усне опитування та/або тестування на лекції;
- усне опитування на лабораторних заняттях (колоквиуми);
- захист результатів лабораторних робіт;
- оцінювання самостійних контрольних робіт;
- перевірка самостійної роботи на заочній формі (письмові відповіді на контрольні питання за темами 1-14).

2. Періодичний контроль:

- тестування (контрольні письмові роботи) після завершення вивчення навчального матеріалу кожного змістового модуля. Контрольні роботи містять 15 (1-3) або 16 (4) тестових завдань з однією правильною відповіддю. Кожна правильна відповідь на 1 тестове завдання з однією правильною відповіддю оцінюється в 1 бал, неправильна відповідь – 0 балів.

3. Підсумковий контроль – залік.

Загальна підсумкова оцінка визначається як сума балів за результатами поточного і періодичного контролю.

Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів

Кількість балів (5 бальна шкала)	Критерії оцінювання усних відповідей (колоквіумів)
	Здобувач освіти
5	У повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей; робить самостійні висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки; рецензує відповіді інших студентів, самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань, вільно використовує нові інформаційні технології для поповнення власних знань
4	Достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, використовуючи при цьому нормативну та обов'язкову літературу; застосовує знання для розв'язання стандартних ситуацій; самостійно аналізує, узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускає несуттєві неточності
3	Володіє навчальним матеріалом на репродуктивному рівні або відтворює певну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків, знає основні поняття навчального матеріалу; має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання висновків
2	Володіє навчальним матеріалом поверхово й фрагментарно; безсистемно виокремлює випадкові ознаки вивченого; не вміє робити найпростіші операції аналізу і синтезу; робити узагальнення, висновки; під час відповіді допускаються суттєві помилки
0	Не володіє навчальним матеріалом

Кількість балів (1,5 бальна шкала)	Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти на лабораторних заняттях
1,5	Здобувач освіти у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно й аргументовано його викладає, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних запитань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову та додаткову літературу, вільно послуговується науковою термінологією. Здійснює експеримент за планом з урахуванням техніки безпеки та правил роботи з речовинами та обладнанням; правильно, без помилок оформлює результати дослідження (складає таблиці, будує графіки тощо), здійснює розрахунки; науково, грамотно, логічно описує результати спостереження; вміє аналізувати та узагальнювати результати експериментальної роботи, робить обґрунтовані та логічні висновки
1,2	Здобувач освіти достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає, в основному розкриває зміст теоретичних запитань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу, розв'язує задачі стандартним способом, послуговується науковою термінологією. Але при висвітленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки. Здійснює експеримент за планом з урахуванням техніки безпеки та правил роботи з речовинами та обладнанням; оформлює результати дослідження (складає таблиці, будує графіки тощо), здійснює розрахунки; науково, грамотно, логічно описує результати спостереження; вміє аналізувати та узагальнювати результати експериментальної роботи, робить обґрунтовані та логічні висновки, але припускається неточностей
0,9	Оцінюється робота здобувача, який відтворює значну частину навчального матеріалу, висвітлює його основний зміст, виявляє елементарні знання окремих положень, записує основні формули, рівняння, закони. Однак не здатний до глибокого, всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, не користується необхідною літературою, допускає істотні неточності та

	помилки. При виконанні практичних або лабораторних робіт здобувач виконує роботу за зразком (інструкцією), але з помилками; робить висновки, проте не розуміє достатньою мірою мету роботи, допускається суттєвих помилок у розрахунках та оформленні звіту
0,6	Здобувач освіти достатньо не володіє навчальним матеріалом, однак фрагментарно, поверхово (без аргументації й обґрунтування) викладає окремі питання навчальної дисципліни, не розкриває зміст теоретичних питань і практичних завдань. При виконанні лабораторних робіт здобувач вміє користуватися окремими приладами, але не може самостійно виконати роботу і зробити висновки, допускається значної кількості грубих помилок у ході експерименту, в оформленні роботи, у дотриманні правил техніки безпеки при роботі з речовинами та обладнанням
0-0,3	Здобувач не в змозі викласти зміст більшості питань теми та курсу, володіє навчальним матеріалом на рівні розпізнавання явищ, допускає суттєві помилки, відповідає на запитання, що потребують однослівної відповіді. Робота не виконана або досліди, виміри, обчислення, спостереження проводилися неправильно

Кількість балів (5 бальна шкала)	Критерії оцінювання результатів виконання завдань для самостійної контрольної роботи
5	Здобувач може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання й оцінити результати власної практичної діяльності; вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу; проявляє творчий підхід до виконання індивідуальних завдань роботи, самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань, вільно використовує інформаційні технології, завдання виконане вчасно
4	Здобувач може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання й оцінити результати власної практичної діяльності; використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу; самостійно знаходить додаткову

	інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань, вільно використовує інформаційні технології, але допускає несуттєві неточності, завдання виконане вчасно
3	Здобувач самостійно застосовує алгоритм (методику) виконання завдання, відчуває труднощі у застосуванні теоретичних знань при аналізі практичного матеріалу, пошуку додаткової інформації. Проте допущені помилки при виконанні завдання не дають можливості зробити правильні висновки. Завдання виконане вчасно
2	Здобувач планує та виконує частину завдання за допомогою викладача, відсутні сформовані практичні уміння та навички, допускається грубих помилок у застосуванні понятійного апарату. Завдання виконане невчасно
0-1	Здобувач неправильно виконав завдання для самостійної роботи, продемонстрував незадовільне знання понятійного апарату, не зміг застосовувати теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу. Або завдання не виконане

II. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ ТА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Правила оформлення лабораторних робіт

Після ознайомлення з теоретичними основами методу та правилами техніки безпеки виконання лабораторної роботи в робочий зошит записують методику експерименту, хімічні рівняння реакцій в молекулярному, повному і скороченому іонному вигляді, всі отримані дані і спостереження, проведені розрахунки та результати статистичної обробки.

Опрацювання результатів хімічного аналізу

При проведенні експериментальних досліджень неодмінним супутником будь-яких вимірювань є, так звані, **похибки (помилки)**.

Найбільш поширені варіанти класифікації похибок наступні:

- 1) **за способом обчислення** – *абсолютні* (наприклад, стандартне відхилення) і *відносні* (наприклад, відносне стандартне відхилення, процентна помилка) похибки;
- 2) залежно від **характеру причин**, які їх викликають – *випадкові, систематичні похибки та промахи*;
- 3) **за джерелами походження** – *інструментальні, реактивні, методичні, похибки пробовідбору* тощо (наприклад, індикаторна помилка, помилка співосадження і таке інше);
- 4) залежно від того, **завищують або занижують** результат вимірювання порівняно з дійсним або середнім значенням, їх можна підрозділити на *додатні та від'ємні*.
- 5) **за типом зв'язку** між похибкою і вимірюваною величиною розрізняють *постійні*, значення яких не залежить від самої вимірюваної величини, і *пропорційні похибки*, значення яких пропорційно вимірюваній величині.

При виконанні експериментальної роботи, величину аналітичного сигналу кожного (*i*-того) зразка вимірюють декілька разів у ідентичних умовах, тобто є *n* паралельних вимірювань. Усі ці

дані обробляють з використанням методу математичної статистики, за допомогою якої розраховують основні характеристики вибіркової сукупності за нижче наведеними формулами.

Середнє для вибірки з n результатів	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$
Дисперсію, що характеризує розсіювання результатів відносно середнього	$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}.$
Стандартне відхилення	$s = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$
Відносне стандартне відхилення	$S_r = \frac{s}{\bar{x}}.$
Величину довірчого інтервалу	$x - x_{icm.} = \pm \frac{t_{P,f} s}{\sqrt{n}},$

де $t_{P,f}$ – розподіл Стюдента; s – стандартне відхилення вимірюваної величини, яке розраховано для вибіркової сукупності з n значень ($f = n - 1$); P – довірча вірогідність (звичайно приймають рівною 0,95); $x_{icm.}$ – істинне значення величини, що визначається.

Значення f для різних довірчих інтервалів вірогідності

Довірча вірогідність	Число ступенів свободи									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,90	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,94	1,90	1,86	1,83	1,81
0,95	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23
0,99	63,6	9,93	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	3,17
0,999	636	31,6	12,9	8,61	6,86	5,96	5,41	5,04	4,78	4,59

Застосування спектрофотометричного методу аналізу при дослідженні об'єктів навколишнього середовища

Колориметричні, фотоколориметричні та спектрофотометричні методи аналізу засновані на вимірюванні інтенсивності електромагнітного випромінювання (далі світла), яке пройшло крізь забарвлений розчин. В колориметрії та фотоколориметрії світло – поліхроматичне, в спектрофотометрії – монохроматичне (випромінювання певної довжини хвилі). При проходженні крізь забарвлений розчин монохроматичного випромінювання з інтенсивністю (I_0), частина його поглинається (I_p), (якщо розчин прозорий, не містить осаду, то світло практично не розсіюється, тобто $I_p = 0$), а частина проходить крізь розчин (I), при цьому інтенсивність світла зменшується в I_0/I раз. Логарифм відношення початкової інтенсивності світла (I_0) до інтенсивності світла, що пройшло крізь усю товщу (l) забарвленого розчину (I) називається оптичною густиною $A = \lg I_0/I$.

Залежність оптичної густини (A) забарвленого розчину від концентрації сполук (C , моль/л) та товщини поглинаючого шару (l , см) визначається основним законом світлопоглинання Бугера – Ламберта – Бера:

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot C,$$

де ε – молярний коефіцієнт світлопоглинання, величина якого постійна для кожної сполуки і залежить від її природи, температури та довжини хвилі монохроматичного випромінювання. Молярним коефіцієнтом світлопоглинання називають оптичну гуστину розчину з концентрацією 1 моль/л при товщині поглинаючого шару 1 см. Чим більше значення ε , тим меншу концентрацію можна визначити (більша чутливість визначення).

Для фотометричного визначення необхідно:

- вибрати реагент для утворення забарвленої сполуки. Для цього потрібно, щоб продукт реакції мав незмінний склад, який би відповідав певній хімічній формулі, був стійкий та не змінював свій

колір у часі; розчини повинні бути прозорими та забарвленими з максимальним значенням ε ;

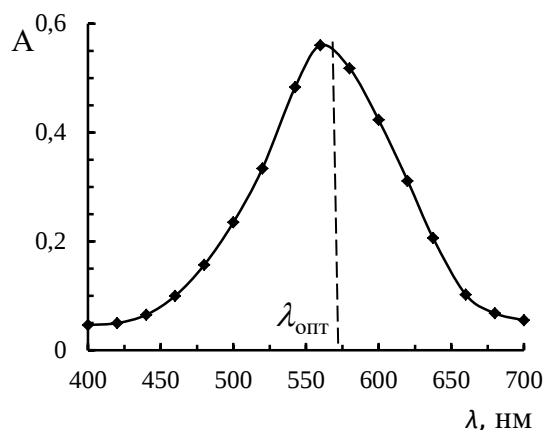


Рис. 1. Спектр поглинання

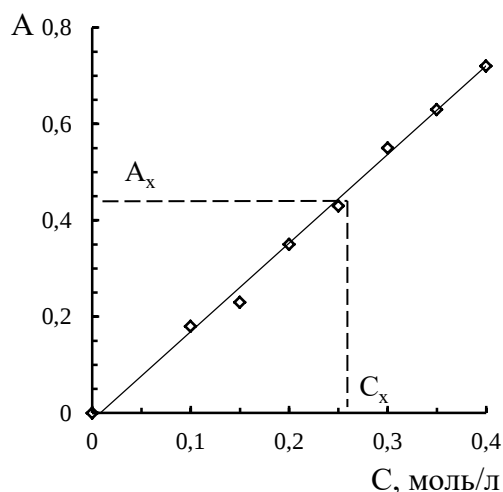


Рис. 2. Градувальний графік

Для цього готують серію стандартних розчинів з відомими концентраціями досліджуваної сполуки, додають необхідні реагенти та вимірюють оптичну густину цих розчинів при оптимальних $\lambda_{\text{опт}}$ та l кювети відносно розчину порівняння (холостого розчину). В якості розчину порівняння використовують дистильовану воду (якщо всі реагенти не забарвлені) або розчин, який містить всі реагенти крім досліджуваного. Будують градувальний графік в координатах $A = f(C)$ та визначають концентрацію сполуки досліджуваного розчину C_x за допомогою попередньо обмірюваної величині оптичної густини (A_x) цього розчину (див. графічну залежність на рис. 2).

- вибрати довжину хвилі $\lambda_{\text{опт}}$ або відповідний світофільтр. Для цього реєструють спектри поглинання, які характеризують розподіл поглинаючої здатності розчину залежно від довжини хвилі $A = f(\lambda)$ (див. графічну залежність на рис. 1);

- вибрати товщину кювети, так щоб значення A не перевищували $0,5 \div 0,6$. Поглинання світла вимірюють на фотоелектроколориметрах або спектрофотометрах. Кількісне визначення проводять за методом градувального графіка (рис. 2).

Опрацювання результатів хімічного аналізу за методом найменших квадратів (МНК)

При будіванні градуовального графіка за допомогою зразків порівняння, може спостерігатися значна розбіжність результатів вимірювань, особливо при визначенні дуже малих концентрацій сполук. У зв'язку з цим, побудову градуовального графіка проводять за результатами обробки експериментальних даних за МНК.

У хімічному аналізі найчастіше використовують прямолінійні градуовальні графіки, які отримані для певного діапазону вмісту сполуки та можуть бути описані рівнянням прямої виду $y = a + bx$. У наведеному рівнянні коефіцієнти a та b – це параметри прямої, які розраховуються за формулами:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad a = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n},$$

де n – кількість зразків порівняння, що використані для побудови градуовального графіка; x_i та y_i – експериментальні значення, які відповідають концентраціям сполуки у зразках порівняння та чисельним значенням оптичної густини розчинів.

Для градуовального графіка, якій проходить з початку координат та може бути описаний рівнянням $y = bx$, за МНК коефіцієнт

b дорівнює:
$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}.$$

Лабораторна робота 1

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ НІТРИТІВ У ПРОМИСЛОВИХ ВОДАХ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕАКТИВУ ГРІССА

Принцип методу. Метод заснований на здатності нітрит-іонів давати інтенсивно забарвлені діазосполуки з первинними ароматичними амінами. При визначенні використовується реакція із сульфаніловою кислотою та альфанафтіламіном (реактив Грісса) з утворенням рожевого забарвлення, інтенсивність якого пропорційна вмісту нітритів у воді.

Визначенню заважають зважені сполуки, мутність розчину, забарвлення води, а також сильні окисники та відновники. Звичайно зважені сполуки, мутність і забарвленість усувають фільтруванням і коагулюванням. До 300 мл проби води додають 0,5 г активованого вугілля чи гідроксиду алюмінію (0,5 г чи 2–4 мл суспензії), перемішують, відстоюють 15–20 хв і фільтрують через промитий дистильованою водою беззольний фільтр “синя стрічка”. Вплив окисників та відновників у забруднених водах усувають відповідним розведенням проби дистильованою водою. Висока чутливість методу вимагає, щоб дистильована вода і всі реактиви не були забруднені нітритами.

Реактиви:

1. Реактив Грісса, сухий препарат;
2. Стандартні розчини натрію нітриту:

Основний розчин. У мірній колбі об’ємом 1 л бідистильованою водою розчиняють 1,4970 г висушеного при 105 °C натрію нітриту, доводять до мітки. У 1 мл міститься 1 мг NO_2^- . Розчин консервують, додаючи 1–2 мл хлороформу.

Робочий розчин. Готують розведенням основного розчину бідистильованою водою в мірній колбі спочатку в 100 разів, а потім отриманий розчин ще в 10 разів. В отриманому розчині міститься 1мкг/мл NO_2^- . Застосовують свіжоприготовленим.

Хід визначення

У мірну колбу об'ємом 25 мл поміщають досліджувану воду, додають 0,1 г сухого реактиву Грісса і перемішують. Забарвлення з'являється через 40 хв. (або через 10 хв. при нагріванні на водяній бані при 50–60 °С).

Через 40 хв. (або 10 хв.) за допомогою фотоколориметру визначають оптичну густину розчину у кюветах з товщиною оптичного шару 2–5 см із зеленим світлофільтром ($\lambda = 530$ нм). У якості розчину порівняння використовують дистильовану воду з додаванням реактиву Грісса.

Вміст нітритів у аналізованій пробі (мкг) знаходять за допомогою градуювального графіка.

Побудова градуювального графіка

У ряд мірних колб об'ємом 25 мл вносять робочий стандартний розчин нітритів у кількості 0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 3,0 мл. У колби доливають дистильовану воду до мітки і додають 0,1 г реактиву Грісса, як при аналізі проби, перемішують та через 40 хв. (або через 10 хв. при нагріванні розчинів на водяній бані) вимірюють оптичну густину проб при вищевказаних умовах. Будують градуювальний графік у координатах: оптична густина – вміст нітритів (мкг).

Кількісний вміст нітритів (Q_x , мкг) у пробі розраховують за формулою:

$$Q_x = C_x \cdot V_{\text{проби}},$$

де C_x – концентрація нітритів у пробі, знайдена за допомогою градуювального графіка, мкг/мл; $V_{\text{проби}}$ – об'єм проби, узятої для аналізу, мл.

Контрольні питання до лабораторної роботи 1

1. Сформулюйте основний закон світлопоглинання і запишіть його математичний вираз.
2. За якими критеріями можна оцінити специфічність реагенту для спектрофотометричного визначення?

3. На чому засновано спектрофотометричне визначення нітритів за допомогою реактиву Грісса?
4. Які сполуки заважають визначенню нітритів у водах за допомогою реактиву Грісса?
5. Як готують стандартні розчини натрію нітриту?
6. Як проводиться побудова градуювального графіка при визначенні нітритів з використанням методу найменших квадратів?
7. Як розрахувати кількісний вміст нітритів в водах?

Лабораторна робота 2

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ БІСМУТУ З ТІОКАРБАМІДОМ

Гранично-допустима концентрація бісмуту у воді водоймищ – 0,1 мг/л, що лімітує санітарно-токсикологічний показник шкідливості.

Принцип методу. Метод заснований на взаємодії бісмуту з тіокарбамідом у кислому середовищі з утворенням комплексної сполуки жовтого кольору, інтенсивність забарвлення якої пропорційна вмісту бісмуту.

Межу виявлення 0,1 мг/л можна досягнути попереднім концентруванням бісмуту в пробі випаровуванням. Діапазон вимірюваних кількостей 0,05÷0,25 мг.

Реактиви:

1. Нітратна кислота, розведена (1:1).
2. Тіокарбамід, 9 % водний розчин.
3. Стандартні розчини бісмуту(III):

Основний розчин. У мірній колбі місткістю 1 л у 20 мл HNO_3 розведеної (1:1) розчиняють 0,2321 г бісмуту нітрату $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ чи 0,1115 г бісмуту(III) оксиду Bi_2O_3 та доводять об'єм до мітки дистильованою водою. У 1 мл міститься 0,1 мг бісмуту(III). Термін збереження розчину 3 місяці.

Робочий розчин. Готують розведенням основного в 10 разів. У 1 мл міститься 0,01 мг бісмуту(III). Застосовують свіжоприготовленим.

Хід визначення

Пробу води 500 мл випаровують до об'єму приблизно 20–30 мл. Переносять концентрат у мірну колбу об'ємом 50 мл, додають 6 мл розведеної (1:1) нітратної кислоти, 10 мл 9 % тіокарбаміду, розбавляють дистильованою водою до мітки і перемішують. Вимірюють оптичну густину проби при довжині хвилі $\lambda = 440$ нм з товщиною оптичного шару 2–5 см відносно холостого розчину. Вміст бісмуту(III) знаходять за допомогою градуювального графіка.

Побудова градуювального графіка

У мірні колбі об'ємом 50 мл вносять 0 – 5 – 10 – 15 – 20 – 25 мл робочого стандартного розчину бісмуту(III). Додають дистильовану воду і проводять визначення, як при аналізі проби води.

Будують градуювальник графік у координатах оптична густина – вміст бісмуту(III).

Вміст бісмуту(III) (Q_x , мг) розраховують за формулою:

$$Q_x = C_x \cdot V_{\text{проби}},$$

де C_x – концентрація бісмуту(III) у пробі, знайдена за допомогою градуювального графіка, мг/мл; Q_x – вміст бісмуту(III), мг; $V_{\text{проби}}$ – об'єм проби, узятій для аналізу, мл.

Контрольні питання до лабораторної роботи 2

1. Дайте визначення молярного коефіцієнта світлопоглинання.
2. Приведіть загальний вигляд спектру поглинання.
3. Які основні типи реакцій використовують у спектрофотометричному методі аналізу? Які вимоги до таких реакцій?
4. На чому засновано спектрофотометричне визначення бісмуту(III) з тіокарбамідом?
5. Як готують стандартні розчини бісмуту(III)?

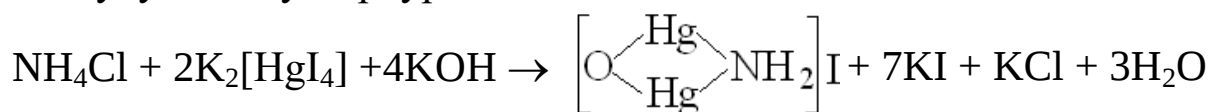
6. Як проводиться побудова градууювального графіка при визначенні бісмуту(III)?
7. Як розрахувати кількісний вміст бісмуту(III)?

Лабораторна робота 3

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ НІТРОГЕНУ АМОНІЙНОГО З РЕАКТИВОМ НЕССЛЕРА

Гранично допустима концентрація амоніаку й іонів амонію у воді водоймищ – 2 мг/л по азоту (чи 2,6 мг/л у вигляді іону NH_4^+), що лімітує санітарно-токсикологічний показник шкідливості.

Принцип методу. Метод заснований на здатності амоніаку (вільний амоніак та іони амонію) утворювати з лужним розчином меркурію(I) йодиду (реактив Несслера) – забарвлену в жовтий колір сполуку йодиду меркурамонію.



При низькій концентрації амоніаку та іонів амонію одержують колоїдний розчин, придатний для фотометрування. При великому вмісті амоніаку (> 3 мг/л) випадає бурий осад, у цьому випадку визначення необхідно проводити після розведення проби водою, яка не містить амоніаку. Межа виявлення $0,05$ мг (NH_4^+)/л.

Проведенню аналізу заважають аміни, хлораміни, ацетон, альдегіди, спирти й інші органічні сполуки, що реагують з реактивом Несслера. У їхній присутності амоніак виявляють тільки після його попереднього відгону. Вплив твердості води усувають, додаючи розчин сегнетової солі.

Реактиви:

1. Вода, яка не містить амоніаку. Усувають сліди амоніаку пропусканням дистильованої води через катіоніт у H^+ -формі або активоване вугілля. Перевіряють на наявність амоніаку розчином

Неслера. Таку воду застосовують для приготування реактивів і розведення проби.

2. Реактив Несслера.

3. Тартрат калію – натрію (сегнетова сіль), 50 % розчин. У воді, яка не містить амоніаку, при нагріванні розчиняють 50 г $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, доводять об'єм до 100 мл і фільтрують. Додають 6 мл реактиву Несслера. Після просвітлення і перевірки на повноту осадження амоніаку реактив є готовим до використання.

4. Алюмінію гідроксид, суспензія для коагуляції.

5. Фосфатний буферний розчин, рН 7,4. У воді, яка не містить амоніаку, розчиняють 14,3 г калію дигідроортофосфату KH_2PO_4 і 90,15 г калію гідроортофосфату $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Після розчинення солей об'єм розчину доводять до 1 л.

6. Стандартні розчини амонію хлориду:

Основний розчин. Амонію хлорид NH_4Cl висушують до постійної маси при 100–105 °С. Розчиняють 2,9654 г солі в дистильованій воді, яка не містить амоніаку, в мірній колбі місткістю 1 л і доводять об'єм до мітки тією ж водою, додають 2 мл хлороформу. Вміст іонів амонію (NH_4^+) складає – 1 мг/мл.

Робочий розчин. Розбавляють 0,5 мл основного розчину в мірній колбі місткістю 50 мл водою, яка не містить амоніаку, до мітки. Вміст іонів амонію (NH_4^+) в цьому розчині складає – 0,01 мг/мл. Розчин використовують свіжоприготовленим.

Хід визначення

У мірну колбу об'ємом 25 мл вносять пробу води, доливають 1 мл 50 %-ного розчину калію-натрію тартрату і 1 мл реактиву Несслера, перемішують. Через 10 хвилин реєструють значення оптичної густини розчинів у кюветах з товщиною оптичного шару 1 см з фіолетовим світлофільтром ($\lambda = 440$ нм) відносно води, яка не містить амоніаку, у яку додані відповідні реактиви. Забарвлення розчину є стійким протягом 1 години. Вміст іонів амонію (мг) знаходять за градувальним графіком.

Побудова градувального графіка

У ряд мірних колб об'ємом 25 мл вносять: 0 – 1,0 – 2,0 – 4,0 – 6,0 – 8,0 – 10,0 – 12,0 мл робочого розчину амонію хлориду. Доводять об'єм водою, яка не містить амоніаку, до мітки і додають реактиви, як і при аналізі проби. Фіксують значення оптичної густини через 10 хвилин після додавання реактиву Неслера. Градувальний графік будують у координатах оптична густина (А) – концентрація іонів амонію ($C(\text{NH}_4^+)$, мг/мл).

Вміст іонів амонію (Q_x , мг) розраховують за формулою:

$$Q_x = C_x \cdot V_{\text{проби}},$$

де C_x – концентрація іонів амонію у пробі, знайдена за допомогою градувального графіка, мг/мл; Q_x – вміст іонів амонію, мг; $V_{\text{проби}}$ – об'єм проби, узятої для аналізу, мл.

Контрольні питання до лабораторної роботи 3

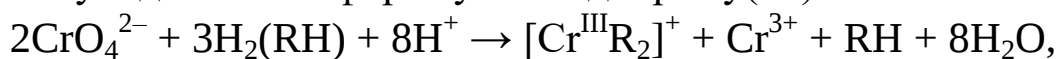
1. Які умови потрібно виконувати для спектрофотометричного визначення сполуки?
2. Чому дорівнює гранично допустима концентрація амоніаку й іонів амонію у воді водоймищ?
3. На чому засновано спектрофотометричне визначення нітрогену амонійного з реактивом Неслера?
4. Які сполуки заважають визначенню нітрогену амонійного з реактивом Неслера?
5. Як готують стандартні розчини амонію хлориду?
6. В чому полягає хід визначення нітрогену амонійного з реактивом Неслера?
7. Як проводиться побудова градувального графіка при визначенні нітрогену амонійного?
8. Як розрахувати кількісний вміст іонів амонію?

Лабораторна робота 4

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХРОМУ(VI) У ВОДІ ЗА ДОПОМОГОЮ 1,5-ДИФЕНІЛКАРБАЗИДУ

Гранично припустима концентрація у воді водоймищ хрому(VI) – 0,05 мг/л, що лімітує санітарно-токсикологічний показник шкідливості.

Принцип методу. Метод заснований на взаємодії хроматів і біхроматів у кислому середовищі з 1,5-дифенілкарбазидом з утворенням червоно-фіолетової комплексної сполуки, у якій хром міститься у відновленій формі у вигляді хрому(III).



де $\text{H}_2(\text{RN})$ – дифенілкарбазид; RN – дифенілкарбазон.

При аналізі води в одній пробі визначають тільки хром(VI), а в інший –сумарний вміст хрому(VI) і хрому(III) після його окислювання. По різниці результатів знаходять вміст хрому(III).

Проведенню аналізу хрому даним методом заважають присутні у високих концентраціях (більш 200 мг/л) меркурій(II), ванадій і молібден(VI), ферум (більш 1 мг/л). Вплив феруму частково усувають додаванням фосфорної кислоти. У присутності великих кількостей мангану при окислюванні персульфатом осаджується манган діоксид.

Реактиви:

1. Бідистильована вода (для приготування реактивів);
2. Сульфатна кислота, розведена 1:1;
3. Дифенілкарбазид, 0,5% розчин в ацетоні (застосовують свіжоприготовленим);
5. Біхромат калію:

Стандартний розчин, з вмістом хрому(VI) – 1 мг у 1 мл готують розчиненням наважки калію біхромату– 2,8289 г в 1 л бідистильованої води.

Робочий розчин I, готують розведенням 25 мл стандартного розчину бідистильованою водою до 500 мл. В 1 мл міститься 0,05 мг хрому(VI).

Робочий розчин II, готують розведенням 20 мл робочого *розчину I* бідистильованою водою до 500 мл; 1 мл містить 2,00 мкг хрому(VI).

Хід визначення

У мірну колбу місткістю 50 мл поміщають пробу води, додають до неї 1 мл сульфатної(VI) кислоти (1:1) і 3 мл фосфатної(V) кислоти, доводять до мітки бідистильованою водою, перемішують. Додають 1 мл 0,5 % дифенілкарбазиду і знову перемішують. Через 5–10 хвилин реєструють величину оптичної густини із зеленим світлофільтром ($\lambda = 540$ нм) у кюветах з товщиною оптичного шару 3 см, відносно бідистильованої води, проведеної через весь хід аналізу.

Концентрацію хрому встановлюють графічним шляхом за допомогою градуювального графіка.

Побудова градуювального графіка

У ряд мірних колб (50 мл) вносять по 0 – 2,5 – 5,0 – 7,5 – 10,0 – 12,5 мл робочого стандартного розчину II, та проводять визначення вищеописаним способом. Будують градуювальний графік у координатах оптична густина – концентрація хрому(VI) (мкг/мл).

Загальний вміст хрому(VI) (Q_x , мкг) обчислюють за формулою:

$$Q_x = C_x \cdot V_{\text{проби}},$$

де C_x – вміст хрому(VI), знайдений за графіком, мкг/мл; $V_{\text{проби}}$ – об'єм проби, узятої для аналізу, мл.

Контрольні питання до лабораторної роботи 4

1. Як кількісно визначити сполуку за допомогою спектрофотометричного аналізу?
2. Які основні причини відхилення від основного закону світлопоглинання та засоби їх мінімізації.
3. Чому дорівнює гранично допустима концентрація хрому(VI) у воді водоймищ?

4. На чому засновано спектрофотометричне визначення хрому(VI) у водах за допомогою 1,5-дифенілкарбазиду?
5. Як готують стандартні розчини хрому(VI)?
6. Як проводиться побудова градувального графіка при визначенні хрому(VI)?
7. Як розрахувати кількісний вміст хрому(VI) у водах?

Лабораторна робота 5

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КУПРУМУ В ПИТНІЙ ВОДІ З 4-(2-ПИРИДІЛАЗО)-РЕЗОРЦИНОМ (ПАР)

Принцип методу. Метод заснований на взаємодії купруму(II) з 4-(2-пириділазо)-резорцином у слабкокислому середовищі з утворенням комплексної сполуки складу 1:2 з максимальним поглинанням при $\lambda = 540$ нм.

Реактиви:

1. ПАР – 0,1 % водний розчин.
2. Лимонна кислота – 10% водний розчин.
3. Ацетатний буферний розчин, рН = 4,8.

В 500 мл дистильованої води розчиняють 136 г натрію ацетату (х. ч.), доливають 57 мл крижаної оцтової кислоти (х. ч.) і доводять об'єм до 1 л дистильованою водою.

4. Розчин купруму(II) концентрацією 0,025 мг/мл.

Хід визначення

До 50 мл проби води, що аналізують, додають 0,5 мл розчину лимонної кислоти, 5 мл ацетатного буферного розчину та 0,5 мл розчину ПАР. Перемішують та через 15 хвилин фотометрують при $\lambda = 540$ нм (товщина оптичного шару 1 см або 2 см). Розчином порівняння є 50 мл дистильованої води, яка містить всі реагенти. Концентрацію купруму(II) знаходять за допомогою градувального графіка.

Побудова градувального графіка

В ряд мірних колб місткістю 25 мл послідовно вносять: 0 – 0,25 – 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 мл розчину купруму(II) з концентрацією 0,025 мг/мл (стандартний розчин), додають 0,5 мл лимонної кислоти, 2,5 мл ацетатного буферного розчину, доводять до мітки дистильованою водою і додають 0,5 мл ПАР. Реєструють значення оптичної густини за допомогою спектрофотокolorиметра при вищенаведених умовах. За отриманими даними будують графічну залежність у координатах: оптична густина – концентрація купруму(II).

Кількісний вміст купруму(II) (Q_x , мг) визначають за формулою:

$$Q_x = C_x \cdot V_{\text{проби}},$$

де C_x – концентрація купруму(II), яка знайдена за допомогою градувального графіка, г/л; $V_{\text{проби}}$ – об'єм мірної колби, мл.

Контрольні питання до лабораторної роботи 5

1. Як кількісно визначити сполуку за допомогою спектрофотометричного аналізу?
2. Як обрати оптимальну довжину хвилі в спектрофотометричному аналізі?
3. На чому засновано спектрофотометричне визначення купруму(II) в питній воді з 4-(2-пириділазо)-резорцином?
4. Як готують ацетатний буферний розчин з рН = 4,8?
5. В чому полягає хід визначення купруму(II) в питній воді з 4-(2-пириділазо)-резорцином?
6. Як проводиться побудова градувального графіка при визначенні купруму(II)?
7. Як розрахувати кількісний вміст купруму(II) у водах?

Застосування титриметричного аналізу при дослідженні об'єктів навколишнього середовища

Титриметричний аналіз є розділом кількісного аналізу, який полягає у вимірюванні об'ємів розчинів двох реагуючих сполук в момент їх стехіометричності при умові, що концентрація одного з розчинів відома.

Розчини, концентрація яких відома з точністю до четвертого знаку після коми, мають назву **стандартні**. Вони поділяються на **первинні** та **вторинні**.

Первинними стандартами називають сполуки, які можливо приготувати з наважки (взятої з точністю до четвертого знаку після коми) або з використанням фіксаналу, та які не змінюють свою концентрацію довгий час.

Вихідні сполуки для приготування первинних стандартів повинні відповідати таким *вимогам*:

- відповідність реального складу речовини її хімічній формулі;
- розчини повинні бути стійкими і концентрація таких розчинів не повинна змінюватись при зберіганні;
- вихідна сполука повинна повністю реагувати з робочим розчином у відповідності з рівнянням реакції;
- бажано, щоб вихідні сполуки мали велику молярну масу еквівалента. У цьому випадку доводиться брати досить велику наважку препарату, внаслідок чого зменшується відносна похибка, пов'язана з неточністю зважування.

Існує порівняно невелика кількість хімічних сполук, які повністю відповідають усім переліченим вище вимогам. До них належать, наприклад, такі сполуки, як натрію тетраборат, щавлева кислота, магнію сульфат та деякі інші.

Стандарт-титр (фіксанал) – це запаяна у скляну ампулу точна наважка сухої сполуки (або точно виміряний об'єм розчину сполуки). Стандарт-титри виготовляють у спеціальних лабораторіях.

Вторинні стандарти (робочі розчини) – це розчини, які не відповідають хоч одній з наведених вище умов. Їх готують

приблизно, а потім встановлюють точну концентрацію, тобто стандартизують, за відповідним первинним стандартом.

Частина розчину, яку відбирають мірною піпеткою, має назву **аліквотна частина** або **аліквота**.

Перед початком роботи бюретку та мірну піпетку ретельно миють дистильованою водою, а потім обполіскують робочим розчином та наливають його у бюретку. В усіх випадках титрування проводять не менше трьох разів і зі збіжних результатів обчислюють середнє значення витраченого об'єму робочого розчину. За об'ємом і точною концентрацією робочого розчину розраховують кількість або масу сполуки, яку визначають. Процес додавання робочого розчину (**титранту**) по краплинах до розчину визначуваної сполуки називається **титруванням**. Момент закінчення реакції має назву **точка стехіометричності (т. с.)**. Титрують до того моменту, поки від однієї краплини титранту з бюретки відбудеться зміна кольору аналізованого розчину, тобто буде досягнута **кінцева точка титрування**. При цьому дотримується рівність:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2,$$

де C_1 та C_2 – молярні концентрації еквіваленту титранту та розчину визначуваної сполуки, відповідно; V_1 та V_2 – об'єми титранту та розчину визначуваної сполуки, відповідно.

Кінцеву точку титрування можна встановлювати:

- 1) візуально – з введенням в розчин відповідного індикатору або без індикатору;
- 2) інструментально – за допомогою приладів з відповідними детекторами.

Обрана хімічна реакція повинна відповідати наступним вимогам:

- можливість реєстрування аналітичного ефекту реакції;
- відсутність побічних реакцій;
- кількісна взаємодія між компонентами реакції;
- висока швидкість проходження реакції.

Залежно від типу хімічної реакції, яку використовують, методи титрометричного аналізу поділяються на відповідні групи, згідно з назвою титранту (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики титрометричних методів аналізу

<i>Тип хімічної реакції та характеристичні величини</i>	<i>Назва методу</i>		<i>Стандарти</i>	
			<i>Первинні</i>	<i>Вторинні</i>
Реакція нейтралізації (рН)	Метод нейтралізації (кисотно-основне титрування)	Ацидиметрія	HCl	Na ₂ B ₄ O ₇
		Алкаліметрія	NaOH	H ₂ C ₂ O ₄
Реакція окислення – відновлення (Е)	Метод окислення-відновлення	Перманганатометрія	KMnO ₄	H ₂ C ₂ O ₄
		Йодометрія	Na ₂ S ₂ O ₃	K ₂ Cr ₂ O ₇ , I ₂
Реакція осадження (ДР)	Метод осаджувального титрування	Аргентометрія	AgNO ₃	NaCl
		Меркурометрія	Hg ₂ (NO ₃) ₂	NaCl
Реакція комплексоутворення (К _{ст.})	Метод комплексоутворення	Трилонометрія	Трилон Б	MgSO ₄

МЕТОД КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО ТИТРУВАННЯ

Сутність методу полягає у застосуванні реакції нейтралізації, яка може бути представлена у вигляді: $H^+ + OH^- = H_2O$. Цим методом можна визначити кислоти (алкаліметрія), луги (ацидиметрія) та солі, що гідролізуються. В якості титрантів використовують сильні кислоти (ацидиметрія) та луги (алкаліметрія). Якщо реакція нейтралізації не супроводжується зміною забарвлення розчину, то для встановлення кінцевої точки титрування використовують індикатори. Кисотно-основними індикаторами служать органічні кислоти або основи, забарвлення яких змінюється при зміні рН

розчину, тобто молекулярна форма органічної сполуки має інше забарвлення, ніж її іонна форма:



де HInd – протонувана форма індикатору; Ind⁻ – депротонувана форма індикатору; K_{Ind} – константа іонізації індикатору; [H⁺], [Ind⁻], [HInd] – рівноважні концентрації іонів та молекул у розчині.

Кислотно-основні індикатори характеризуються:

- *інтервалом переходу індикатора* – це інтервал рН розчину, в межах якого відбувається помітна для людського ока зміна забарвлення індикатора (з похибкою ±10 %). Він розраховується формулою: $\text{pH} = \text{pK}_{\text{Ind}} \pm 1$ (pK_{Ind} – показник константи іонізації індикатору);
- *показником титрування (pT)* – це те значення рН у межах інтервалу переходу індикатора, при якому спостерігається різка зміна забарвлення індикатора $\text{pT} \approx \text{pK}_{\text{Ind}}$. Величина pT індикатора визначає значення рН наприкінці титрування.

Розрахунковий спосіб вибору індикатору:

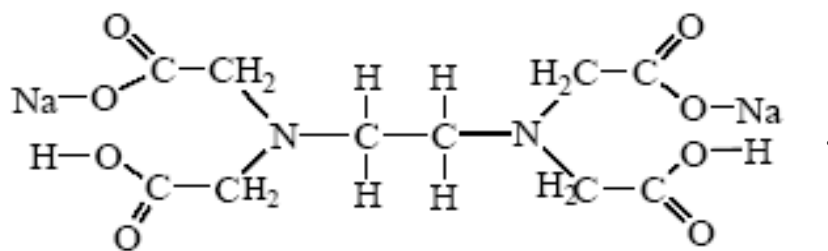
1. Запис рівняння хімічної реакції, що відображає процес кислотно-основного титрування;
2. Вибір сполуки, яка визначає рН в точці стехіометричності (серед сполук, що утворюються в результаті реакції);
3. Вибір необхідної формули для розрахунку рН в точці стехіометричності та розрахунок рН_{т.с.} з врахуванням сполук, що утворюються в результаті реакції;
4. Вибір індикатора, pT якого близький до величини рН_{т.с.} ($\text{pT} \approx \text{pH}_{\text{т.с.}}$) (табл. 2).

Загальна характеристика кислотно-основних індикаторів

Назва індикатору	Колір		pT	Інтервал переходу (pH)
	У кислому середовищі	У лужному середовищі		
Метилловий оранжевий	червоний	жовтий	4	3 – 5
Метилловий червоний	червоний	жовтий	5	4 – 6
Лакмус	червоний	синій	7	6 – 8
Фенолфталеїн	безбарвний	малиновий	9	8 – 10

КОМПЛЕКСОМЕТРИЧНЕ ТИТРУВАННЯ

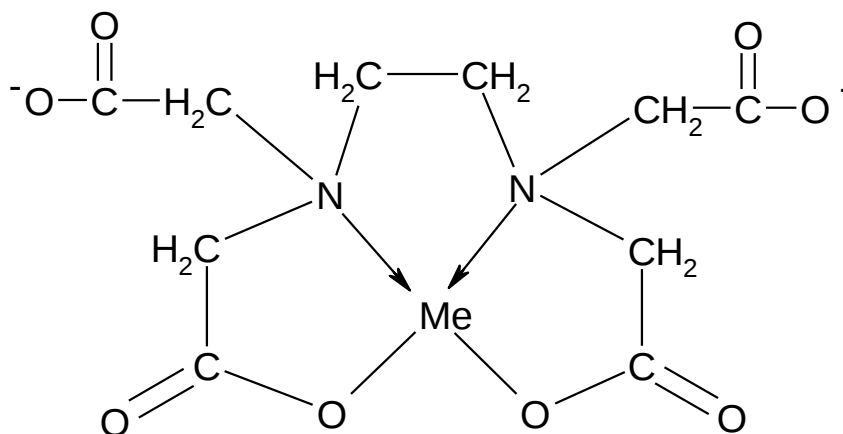
Зростаюча роль комплексних сполук в аналітичній хімії викликала швидкий розвиток хімії полідентатних органічних реагентів. Однак, широке застосування метод комплексометрії отримав з того часу, коли в практику аналітичної хімії ввійшли амінополікарбонові кислоти та їх солі, які одержали назву комплексони. Найцікавішими і перспективними сполуками цього типу є органічні сполуки, які утворюють із іонами більшості металів розчинні у воді комплекси, які використовуються у методі комплексометричного титрування. Розділ титриметрії, у якому в якості титрантів використовуються комплексони, одержав назву *комплексометрії* (хелатометрії). Найбільш часто при цьому використовують етилендіамінтетраоцтову кислоту (комплексон II, ЕДТО). У зв'язку з тим, що ЕДТО малорозчинна у воді кислота, то зазвичай використовують її двозаміщену натрієву сіль (комплексон III, ЕДТА або трилон Б):



Схематично молекулу трилону Б позначають як $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$.

Багато іонів металів здатні заміщати атоми водню карбоксильних груп ЕДТА за кислотно-основним механізмом, одночасно утворюючи координаційний зв'язок з азотом аміногрупи за донорно-акцепторним механізмом. Внаслідок цього утворюються досить стійкі сполуки, що містять декілька п'ятичленних циклів.

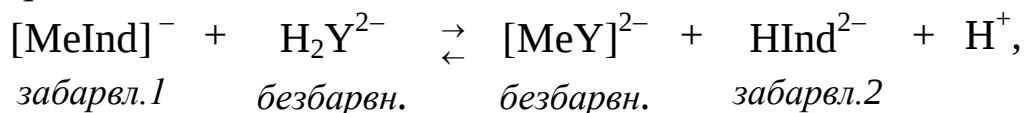
Будову комплексу з іонами металів можна схематично представити таким чином:



Важливо те, що з різними металами у відповідних умовах утворюються стійкі та безбарвні комплексні сполуки зі сталою стехіометрією, у яких відношення металу до ліганду дорівнює 1:1.

Індикатори методу комплексонометрії

Кінцеву точку титрування в методі комплексонометрії встановлюють за допомогою металохромних індикаторів, що утворюють з іонами металів розчинні забарвлені комплексні сполуки, причому менш стійкі, ніж комплексонати цих металів. Комплексні сполуки металів з індикаторами відрізняються від самих індикаторів за кольорами.



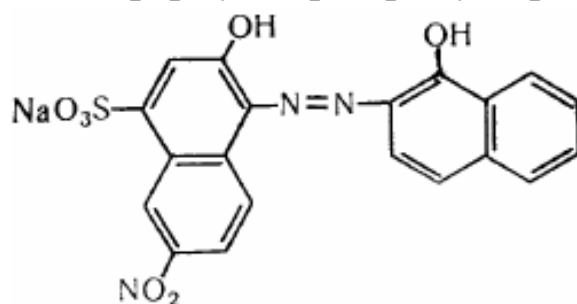
де $[\text{MeInd}]^-$ – комплексна сполука іону металу з індикатором; H_2Y^{2-} – умовна позначка трилону Б; $[\text{MeY}]^{2-}$ – комплексна сполука іону металу з трилоном Б; HInd^{2-} – індикатор.

У групі металохромних індикаторів розрізняють універсальні індикатори, які взаємодіють із багатьма іонами металів (еріохром чорний Т, ксиленоловий оранжевий, мурексид тощо) і специфічні, які реагують із іонами тільки даного металу.

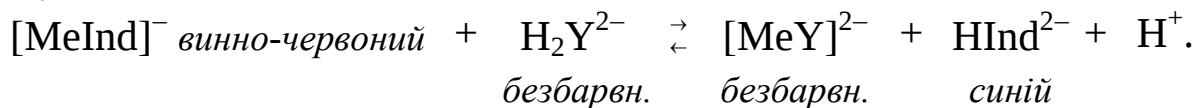
Металохромні індикатори у водних розчинах нестійкі, тому їх застосовують у вигляді суміші з інертним "наповнювачем", наприклад, із натрію хлоридом або калію хлоридом у співвідношенні 1:100 або 1:200. Суміш ретельно перетирають у ступці, та вносять у розчин перед титруванням приблизно 20÷30 мг.

Еріохром чорний Т (ЕХЧ-Т), як і більшість металохромних індикаторів, виявляє кислотно-основні властивості, і залежно від рН середовища може існувати у трьох по-різному забарвлених формах: при $\text{pH} < 7$ реагент винно-червоний, при $\text{pH} = 7 \div 11$ – синій, а при $\text{pH} = 11,5$ – помаранчево-жовтий. У слаболужному середовищі ($\text{pH} = 7 \div 11$) він взаємодіє з іонами магнію, кальцію, цинку, кадмію тощо, утворюючи забарвлені у винно-червоний колір комплексні сполуки.

Хімічна формула еріохрому чорного Т:



Механізм зміни забарвлення ЕХЧ-Т можна умовно зобразити наступним чином:



Така реакція можлива за умови, що константа стійкості комплексу $[\text{MeInd}]^-$ менша за константу стійкості комплексної сполуки $[\text{MeY}]^{2-}$. Аналогічно реакції відбуваються і з іншими металохромними індикаторами, наприклад, мурексидом.

При додаванні ЕДТА іони металу утворюють з ним більш стійкі комплексні сполуки, ніж з індикатором і в точці стехіометричності

розчин набуває синього кольору, який є властивим еріохрому чорному Т при $\text{pH} = 7\text{--}11$.

Вплив pH середовища на комплексометричне титрування

При комплексометричному титруванні найбільш важливе значення має pH розчину, що титрується. При утворенні комплексу певного катіону металу з комплексом у результаті вищенаведеної реакції виділяються іони водню і pH розчину зменшується. Щоб підтримувати pH середовища на постійному і заданому рівні, необхідно проводити титрування в присутності аміачної буферної суміші ($\text{pH} = 8\div 9$) або лугів. Для запобігання утворення осадів і з метою маскування окремих супутніх катіонів у розчин вводять комплексоутворюючі ліганди: тартрати, оксалати, фториди тощо.

Лабораторна робота 6 ВИЗНАЧЕННЯ АМОНІАКУ У ПОВІТРІ

Амоніак поглинають розчином сульфатної кислоти та визначають алкаліметричним титруванням з формаліном.

Реактиви:

1. Сульфатна кислота (H_2SO_4), 0,1 н (0,05 моль/л).
2. Натрію гідроксид (NaOH), 0,1 н (0,1 моль/л).
3. Формальдегід, 40 %, нейтралізований.
4. Фенолфталеїн, 0,1 % спиртовий розчин.

Хід визначення

Повітря пропускають з певною швидкістю ($0,5\div 1,0$ $\text{дм}^3/\text{хв}$) протягом однієї години через дві поглинаючі склянки, які містять по 10 мл 0,1 н розчину H_2SO_4 . Потім розчини з поглинаючих склянок переносять у мірну колбу на 25 мл, доводять об'єм дистильованою водою до мітки, перемішують. Відбирають 10 мл досліджуваного розчину і переносять в колбу для титрування.

В колбу для титрування, що містить досліджуваний розчин, додають 2,5 мл 40 % розчину формальдегіду, 2-3 краплини індикатора фенолфталеїну. Суміш витримують 1-2 хвилини та титрують розчином NaOH до появи блідо-рожевого кольору розчину.

Кількість NH_4^+ (а, мг) розраховують за формулою:

$$a = \frac{C_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{E}}(\text{NH}_4^+) \cdot V_{\text{м.к.}}}{V_{\text{ал.}}},$$

де C_{NaOH} – молярна концентрація еквіваленту лугу, н; V_{NaOH} – об'єм лугу, витраченого на титрування, мл; $M_{\text{E}}(\text{NH}_4^+)$ – молярна маса еквіваленту іону амонію, г/моль; $V_{\text{м.к.}}$ – об'єм мірної колби, мл; $V_{\text{ал.}}$ – об'єм аліквоти, що беруть для титрування, мл.

Об'єм повітря, приведений до нормальних умов (V_0 , дм^3) розраховується за формулою:

$$V_0 = \frac{V_t \cdot 273 \cdot P}{(273 + t^\circ) \cdot P_0},$$

де $P \approx P_0 = 101,3$ кПа; t° – температура повітря, $^\circ\text{C}$; V_t – об'єм досліджуваного повітря (дм^3) розраховують за формулою $V_t = v \cdot \tau$, v – швидкість відбору повітря, $\text{дм}^3/\text{хв}$; τ – час відбору повітря, хв.

Концентрацію амоніаку X ($\text{мг}/\text{м}^3$) розраховують за формулою:

$$X = \frac{a \cdot 0,944 \cdot 1000}{V_0},$$

де 0,944 – коефіцієнт перерахунку NH_4^+ на NH_3 .

Контрольні питання до лабораторної роботи 6

1. Дайте визначення титриметричного аналізу.
2. Які вимоги існують для первинних стандартних розчинів?
3. Сутність кислотно-основного титрування.
4. Які теорії індикаторів ви знаєте? Наведіть основні положення кожної з них.
5. В чому полягає хід визначення амоніаку в повітрі?
6. Як розрахувати кількісний вміст катіону амонію?
7. Як розрахувати концентрацію амоніаку в повітрі?

Лабораторна робота 7

ВИЗНАЧЕННЯ ДІОКСИДУ КАРБОНУ В ҐРУНТІ

Принцип методу. Визначення діоксиду карбону в ґрунті та донних відкладеннях у вигляді карбонатів проводять гравіметричним або титриметричним методом. Найбільш зручним для масового аналізу є титриметричний метод, який складається з обробки твердої проби надлишком розчину хлороводневої кислоти з титруванням її залишку розчином лугу.

При вмісті CO_2 карбонатів $\approx 15\%$ пробу обробляють 0,02 моль/л розчином HCl , при вмісті в межах 16-18% – 0,1 моль/л HCl , а при 18-20% – 0,2 моль/л HCl .

Реактиви:

1. Розчин хлороводневої кислоти (HCl), 0,1 н (0,1 моль/л).
2. Натрію гідроксид (NaOH), 0,1 н (0,1 моль/л).
3. Індикатор – метиловий червоний, 0,02 % спиртовий розчин.

Хід визначення

5 г лабораторної проби повітряно-сухого ґрунту вносять в колбу на 1000 мл, доливають 500 мл хлороводневої кислоти та залишають на 24 години, періодично перемішуючи.

Перевіряють кислотність розчину універсальним індикаторним папером і, якщо розчин не кислий, доливають ще хлороводневої кислоти та знову витримують деякий час. Отриману витяжку з ґрунту фільтрують через щільний фільтр, відбирають аліквоту 25 мл розчину, додають 2-3 краплі метилового червоного і титрують розчином NaOH до зміни кольору індикатора (з жовтого на червоний).

Вміст діоксиду карбону у пробі ґрунту (ω_{CO_2} , %) розраховують за формулою:

$$\omega_{\text{CO}_2} = \frac{(V_1 \cdot C_1 - V_2 \cdot C_2) \cdot V_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{E}}(\text{CO}_2) \cdot K \cdot 100}{V_1 \cdot d \cdot 1000},$$

де V_1 – об'єм аліквоти, яку беруть для титрування, мл; V_2 – об'єм розчину лугу, витраченого на титрування аліквоти, мл; V – об'єм розчину кислоти, яким розкладають пробу ґрунту, мл; C_1 – концентрація кислоти, моль/л; C_2 – концентрація лугу, моль/л; $M_E(\text{CO}_2)$ – молярна маса еквіваленту CO_2 , г/моль; K – коефіцієнт перерахунку на суху пробу ($K = 1$ для сухої проби); d – маса наважки повітряно-сухої проби ґрунту.

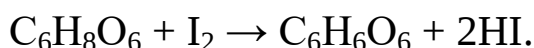
Контрольні питання до лабораторної роботи 7

1. Приведіть види титриметричних методів аналізу та відповідні їм хімічні реакції.
2. У чому полягає суть гравіметричного методу аналізу?
3. Які сполуки можна визначати методом кислотно-основного титрування?
4. Що таке фіксанал? Як із нього приготувати стандартний розчин?
5. Кислотно-основні індикатори. Способи їх вибору.
6. В чому полягає хід визначення діоксиду карбону в ґрунті?
7. Як розрахувати вміст карбонатів в ґрунті?

Лабораторна робота 8

ВИЗНАЧЕННЯ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ У ФРУКТОВИХ НАПОЯХ МЕТОДОМ ЙОДОМЕТРИЧНОГО ТИТРУВАННЯ

Аскорбінову кислоту (вітамін С) додають у напої для підкислення. Кількісне визначення аскорбінової кислоти засноване на її відновних властивостях. При взаємодії з йодом вона окислюється до дегідроаскорбінової кислоти:



Висока концентрація аскорбінової кислоти в напоях перешкоджає взаємодії йоду з іншими відновниками, наприклад, з глюкозою, фруктозою, амілозою.

Принцип методу. Для визначення аскорбінової кислоти застосовують метод зворотного титрування: до аналізованої проби

додають надлишок йоду, надлишок, який не вступив у реакцію з аскорбіною кислотою титрують розчином тіосульфату натрію.

Мета роботи: освоїти методику зворотного йодометричного титрування і визначити аскорбінову кислоту в напоях.

Прилади, посуд і реактиви

1. Бюретка місткістю 25 або 50 мл.
2. Піпетки Мора місткістю 5 і 20 мл – по 1 шт.
3. Конічні колби для титрування місткістю 100 мл – 2 шт.
4. Мірні циліндри місткістю 10 і 20 мл – по 1 шт.
5. Воронки діаметром 3 см.
6. Годинникове або покривне скло.
7. Розчин сірчаної кислоти, $C(1/2 H_2SO_4) = 2,0$ моль/л.
8. Розчин йоду, $C(1/2 I_2) = 0,0100$ моль/л.
9. Розчин крохмалю з масовою часткою 0,5 %.
10. Стандартизований розчин тіосульфату натрію, $C(1/1 Na_2S_2O_3) = 0,0200$ моль/л.

Хід визначення

У колбу для титрування поміщають 20,00 мл фруктового напою, додають 3-4 мл розчину сірчаної кислоти, мірною піпеткою вводять 10,00 мл розчину йоду, колбу прикривають склом. Протягом 5 хв аскорбінова кислота окислюється, потім надлишок йоду відтитровують розчином тіосульфату натрію до переходу бурого забарвлення у світло-жовте. Додають розчин крохмалю і продовжують титрування до знебарвлення розчину. Виконують три титрування. Розраховують середній об'єм титранту, витрачений на титрування.

Вміст аскорбінової кислоти в 20 мл напою (m , г) обчислюють за формулою:

$$m = \frac{[C(1/2 I_2) \cdot V(I_2) - C(1/1 Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3)] \cdot M(1/2 C_6H_8O_6)}{1000},$$

де $M(1/2C_6H_8O_6)$ – молярна маса еквівалента аскорбінової кислоти, яка дорівнює 88 г/моль.

Контрольні питання до лабораторної роботи 8

1. Види окисно-відновного титрування.
2. Індикатори, які застосовуються при окисно-відновному титруванні.
3. Сутність йодометричного титрування.
4. З якою метою у фруктові напої додають аскорбінову кислоту?
5. В чому полягає визначення аскорбінової кислоти за допомогою зворотного йодометричного титрування. Приведіть реакції.

Лабораторна робота 9

ТИТРИМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИЛОНУ Б В ПРОМИСЛОВИХ ВОДАХ

Гранично припустима концентрація трилону Б у воді водоймищ складає 4 мг/л (показник санітарно-токсикологічний шкідливості).

Принцип методу. В основі методу лежить титрування розчину трилону Б (ЕДТА) у кислому середовищі $Bi(NO_3)_3$ в присутності пірокатехінового фіолетового або тіокарбаміду.

Реактиви:

1. Нітратна кислота, розбавлена 1:1.
2. Пірокатехіновий фіолетовий індикатор, 0,1 % водний розчин.
3. Бісмуту нітрат 0,1; 0,01; 0,001 моль/л.

В 200 мл розбавленої HNO_3 (1:1) в мірній колбі на 1 л розчиняють 48,507г $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ та доводять об'єм до мітки дистильованою водою. Розчин має концентрацію 0,1 моль/л.

4. ЕДТА – 0,100; 0,010; 0,001 моль/л.

Для приготування 0,1 моль/л ЕДТА розчиняють 37,2240 г дигідрату ЕДТА (або 33,6210 г безводного ЕДТА) в мірній колбі об'ємом 1000 мл.

Хід визначення

До підготовленої та випареної до об'єму 100 мл аналізованої проби води доливають 0,5 мл HNO_3 (1:1), (рН розчину $2,5 \div 3,0$ за паперовим індикатором), додають $5 \div 6$ крапель пірокатехінового фіолетового. Титрують $0,01$ моль/л розчином $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ до зміни кольору. Якщо на титрування пішло менш ніж 1 мл, то визначення повторюють, використовуючи для титрування $0,001$ моль/л розчин $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$. Пірокатехіновий фіолетовий змінює колір розчину з жовтого на синій колір.

Концентрацію трилону Б ($C_{\text{ТрБ}}$, г/л) розраховують за формулою:

$$C_{\text{ТрБ}} = \frac{V_{\text{Bi}(\text{NO}_3)_3} \cdot C_{\text{Bi}(\text{NO}_3)_3} \cdot M_{\text{Е}}(\text{ТрБ})}{V_{\text{ал}}},$$

де $V_{\text{Bi}(\text{NO}_3)_3}$ – об'єм розчину $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, використаного на титрування, мл; $C_{\text{Bi}(\text{NO}_3)_3}$ – молярна концентрація еквіваленту $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$; $M_{\text{Е}}(\text{ТрБ})$ – молярна маса еквіваленту трилону Б, г/моль ($M_{\text{Е}}(\text{ТрБ}) = 336,2$ г/моль); $V_{\text{ал}}$ – аліквотний об'єм досліджуваної проби, мл.

Контрольні питання до лабораторної роботи 9

1. Приведіть графічне зображення будови трилона Б та охарактеризуйте його комплекс з іонами кальцію.
2. Які індикатори використовують в методі комплексонометрії?
3. Як рН середовища впливає на комплексонометричне титрування?
4. Як готують стандартні розчини бісмуту нітрату?
5. Як готують стандартні розчини трилону Б?
6. В чому полягає хід визначення трилону Б у водах?
7. Як розрахувати концентрацію трилону Б у промислових водах?

Лабораторна робота 10

ВИЗНАЧЕННЯ СОЛЕЙ КАЛЬЦІЮ У ЦУКРОВИХ РОЗЧИНАХ

Дифузійний сік містить сахарозу і неуглеводи (розчинні білкові, пектинові сполуки, продукти їх розпаду, редукуючі вуглеводи, амінокислоти, солі органічних і неорганічних кислот). Неуглеводи перешкоджають отриманню кристалічної сахарози і збільшують втрати цукру з мелясою. Для видалення неуглеводів з цукрових розчинів їх обробляють вапном з подальшим видаленням його надлишку діоксидом вуглецю.

Принцип методу. Контроль вмісту солей кальцію в цукрових розчинах, сиропі і меласі здійснюють комплексометрично. Визначення ґрунтується на здатності комплексону III утворювати з кальцієм в лужному середовищі міцну внутрішньокмплексну сполуку – комплексонат кальцію.

Солі кальцію визначають методом зворотнього комплексометричного титрування в присутності амонійного буферного розчину і індикатора – еріохром чорного Т.

Мета роботи: освоїти методику зворотного комплексометричного титрування і визначити вміст солей кальцію в цукрових розчинах (соку, сиропі або меласі).

Прилади, посуд і реактиви:

1. Технічні ваги 3-го класу точності.
2. Бюретки місткістю 25 мл.
3. Піпетки Мора місткістю 10 і 15 мл.
4. Конічна колба для титрування місткістю 250 мл.
5. Мірні циліндри місткістю 10 і 100 мл – по 1 шт.
6. Хімічний стакан місткістю 100 мл.
7. Воронка діаметром 3 см.
8. Скляний шпатель.
9. Титрований розчин комплексона III, $C(1/1 \text{ H}_2\text{Y}^{2-}) = 0,0200$ моль/л.
10. Стандартний розчин сульфату магнію, $C(1/1 \text{ MgSO}_4) = 0,0200$ моль/л.
11. Амонійний буферний розчин, pH 9,25.

12. Індикатор – еріохром чорний Т, суха суміш з хлоридом натрію у масовому співвідношенні 1:100.

Хід визначення

Пробу цукрового розчину ($10 \pm 0,01$ г соку, $5 \pm 0,01$ г сиропу або $1 \pm 0,01$ г меляси), зважену на технічних вагах, кількісно переносять в колбу для титрування, додають 100 мл дистильованої води. До розчину додають 5 мл буферного розчину, 10 або 15 мл (залежно від аналізованого продукту) титрованого розчину комплексону III і 20-30 мг індикатора.

У розчині повинен знаходитися надлишок комплексону III, про що свідчить синє забарвлення розчину. Якщо розчин забарвлений в бузковий або винно-червоний колір, необхідно додати додаткову кількість розчину комплексону III.

Бюретку заповнюють стандартним розчином сульфату магнію. Надлишок комплексону III (H_2Y^{2-}), що не вступив у реакцію, титрують стандартним розчином сульфату магнію до зміни синього забарвлення у вишневий від додавання однієї краплі титранту.

За результатами трьох визначень розраховують середній об'єм розчину сульфату магнію, витрачений на титрування, $V(MgSO_4)$.

Аналогічно виконують титрування 100 мл дистильованої води. Записують об'єм розчину сульфату магнію, витрачений на титрування, $V'(MgSO_4)$.

Масову частку солей кальцію (ω , %) в цукровому розчині у перерахунку на CaO знаходять за формулою:

$$\omega = \frac{[V(H_2Y^{2-}) - V(MgSO_4)] - [V(H_2Y^{2-}) - V'(MgSO_4)] \cdot 100}{m \cdot 1000},$$

де m – маса наважки аналізованого продукту, г.

Контрольні питання до лабораторної роботи 10

1. Сутність комплексонометричного методу титрування.
2. Яких умов необхідно дотримуватися при комплексонометричному титруванні?

3. Комплексонометричні індикатори.
4. Чим відрізняється пряме комплексонометричне титрування від зворотного?
5. Які розрахунки необхідно провести для визначення солей кальцію у цукрових розчинах?

Застосування атомно-абсорбційного методу аналізу при дослідженні об'єктів навколишнього середовища

Основи методу. Атомно-абсорбційна спектроскопія (ААС) оснований на поглинанні випромінювання оптичного діапазону не збудженими вільними атомами. У ААС необхідна попередня атомізація проби, при цьому аналітичний сигнал формують не збуджені атоми. Величина оптичної густини атомної пари (A) у відповідності до основного закону світлопоглинання прямо пропорційна концентрації поглинаючих частинок (c_{am}) – атомів певного елемента у атомізаторі:

$$A = k_{am} l c_{am},$$

де k_{am} – коефіцієнт поглинання світла вільними атомами; l – довжина оптичного шляху.

При постійних умовах атомізації і заданому режимі роботи приладу концентрація атомів в атомізаторі c_{am} прямо пропорційна концентрації визначуваного елемента у пробі (c). Таким чином можна записати:

$$A = k l c,$$

де k – коефіцієнт, який включає в себе як коефіцієнт поглинання k_{am} , так і коефіцієнт переходу від c_{am} до c ; він залежить від умов аналізу і його встановлюють дослідним шляхом (за допомогою градуювального графіка).

Перевід проби в атомарний стан у ААС проводиться за допомогою атомізатора, робочий діапазон температур якого знаходиться в інтервалі температур від 800 до 3000 °С. Основні типи джерел атомізації – це полум'я і електротермічні атомізатори. В ААС

обов'язковою умовою є наявність джерела зовнішнього опромінення. Головна вимога до таких джерел – це високий ступінь монохроматичності опромінення. В якості джерел опромінення найбільш розповсюдженими є розрядні лампи – з порожнім катодом і безелектродні.

Лабораторна робота 11

ПОЛУМ'ЯНИЙ ВАРІАНТ АТОМНО-АБСОРБЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ФЕРУМУ У ВОДІ

Перевагою полум'яного варіанта методу атомно-абсорбційного аналізу перед іншими є те, що при сумарному вмісті сторонніх компонентів в аналізованих розчинах (аналітах) до 1 мг/мл зазначені перешкоди для більшості елементів періодичної таблиці відсутні.

Прилади, реактиви та матеріали

1. Піпетки мірні місткістю 1, 2, 5 і 10 мл.
2. Колби мірні місткістю 100 мл.
3. Атомно-абсорбційний спектрофотометр "САТУРН".
4. Компресор діафрагмений для одержання стиснутого повітря.
5. Ацетилен балонний.
6. Вода бідистильована.
7. Стандартний зразок, якій містить 100 мкг/мл феруму ДСЗРМ (Державний стандартний зразок розчину металу – 1 мг/мл феруму).
8. Лампа спектральна з порожнім катодом (ферум) типу ЛТ, ЛСП чи ЛК.

Хід роботи

Послідовним розведенням (у 2–10 разів) вихідного стандартного зразку (100 мкг/мл феруму) готують серію робочих (каліброваних) розчинів зі вмістом феруму (мкг/мл): 1,0 – 2,5 – 5,0 – 10,0 – 20,0. Калібровані і досліджувані розчини води розпорошують у полум'я щільного пальника ацетилен-повітря. Витрата ацетилену –

125 л/год., витрата повітря – 680 л/год. (установлюють за допомогою відповідних ротаметрів блоку атомізації). Висота зони полум'я над щілиною пальника – 2,0–2,5 мм. Реєстрацію поглинальної здібності атомів (А) зазначених розчинів проводять за допомогою аналітичної лінії феруму – 248,3 нм; ширина щілини монохроматора – 0,1 мм. Кожен розчин аналізують 3 рази, вносячи відповідні показники в таблицю. За отриманими даними будують градувальний графік у координатах: поглинальна здібність атомів (А) (інтенсивність) – концентрації робочого (каліброваного) розчину феруму (мкг/мл), а також залежність величини відносного стандартного відхилення (S_r) від А.

Вміст феруму в розчинах досліджуваної води знаходять за градувальним графіком (графічно) і розрахунковим способом за методом найменших квадратів. Отримані результати представляють у вигляді: ($C_{Fe(II)} \pm \Delta c$) мг/л феруму і роблять відповідний висновок про придатність представлених зразків води до використання, враховуючи те, що гранично припустима концентрація феруму у воді для господарсько-побутового призначення складає 0,3 мг/л.

Контрольні питання до лабораторної роботи 11

1. В чому полягає сутність атомно-абсорбційного методу аналізу?
2. Які способи атомізації використовуються в атомно-абсорбційному аналізі?
3. Які горючі суміші використовуються для одержання полум'я в атомно-абсорбційному аналізі?
4. Яким рівнянням описується поглинання при випромінюванні атомною плазмою?
5. В чому переваги не полум'яних атомізаторів?
6. Які джерела випромінювання використовуються в атомно-абсорбційному аналізі?
7. В чому полягає хід визначення феруму в водах за допомогою ААС?
8. Як розрахувати вміст феруму в досліджуваній воді?

Перелік питань для поточного та періодичного контролю

Питання за змістовим модулем 1. Основи еколого-аналітичного моніторингу. Хімічний склад об'єктів природного середовища

1. Поняття про ксенобіотики, екотоксиканти, полютанти.
2. Основні види забруднювачів навколишнього середовища.
3. Моніторинг.
4. Головні задачі моніторингу.
5. Категорії антропогенного впливу на біосферу.
6. Джерела забруднювачів об'єктів навколишнього середовища.
7. Типи та форми міграції полютантів.
8. Токсичність.
9. Гранично допустима концентрація забруднювачів.
10. Класифікація і особливості хімічного складу поверхневих вод суші, підземних, морських та океанських вод.
11. Хімічний склад повітря.
12. Хімічний склад ґрунтів та донних відкладень.

Питання за змістовим модулем 2. Основні задачі та особливості броматології, об'єкти аналізу

1. Класифікація харчових продуктів.
2. Харчова, біологічна і енергетична цінність харчових продуктів.
3. Білки в харчових продуктах. Структура білка.
4. Амінокислоти як основні структурні частини молекул білків.
5. Функції жирів і ліпідів. Жири і ліпіди в продуктах харчування.
6. Жири і ліпіди – основні структурні компоненти клітинних мембран.
7. Тваринні, рослинні та штучні жири.
8. Класифікація вуглеводів за їх будовою, біологічними функціями та харчовою цінністю.
9. Класифікація вітамінів та їх функції в організмі людини.
10. Вода, солі, мікроелементи в продуктах харчування.
11. Модифікатори структури їжі.
12. Сполуки, які надають запах та смак їжі.

13. Харчові добавки.
14. Штучні продукти харчування.
15. Пробовідбір та пробопідготовка до аналізу різноманітних об'єктів рослинного і тваринного походження.
16. Розкладання зразків об'єктів харчових продуктів.
17. Зберігання та попередня підготовка харчових продуктів до хіміко-аналітичних досліджень.
18. Порівняльна характеристика методів концентрування та розділення сполук при аналізі харчових продуктів.
19. Застосування хроматографічних методів в аналізі харчових продуктів.
20. Загальні схеми підготовки проб при визначенні високотоксичних сполук у харчових продуктах.
21. Хімічні, фізико-хімічні та фізичні методи аналізу, які найчастіше використовуються при аналізі харчових продуктів.
22. Експрес-методи контролю якості харчових продуктів.
23. Способи маскування при виконанні аналізу харчових продуктів; основні маскуючі ліганди та кількісна оцінка маскування.

Питання за змістовим модулем 3. Характеристика і особливості методів аналізу навколишнього середовища та харчових продуктів

1. Особливості відбору, консервації, транспортування та зберігання проб води. Способи відбору проб повітря.
2. Відбір проб ґрунтів та донних відкладень.
3. Відбір біопроб.
4. Рідкі поглиначі, тверді адсорбенти та фільтруючі матеріали.
5. Основні хімічні та фізико-хімічні методи визначення інгредієнтів в об'єктах навколишнього середовища.

Питання за змістовим модулем 4. Відбір проб та хімічний аналіз об'єктів навколишнього середовища для аналізу

1. Методи розкладання ґрунтів, матеріалів рослинного та тваринного походження: «мокра» та «суха» мінералізація, мікрохвильове, автоклавне та фоторозкладання.

2. Маскування – усунення сполук, що заважають аналізу.
3. Методи концентрування високотоксичних сполук та їх відокремлення від макрокомпонентів при виконанні еколого-аналітичних робіт (випаровування, виморожування, екстракція, сорбція, співосадження, хроматографія).

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Рекомендована література

Основна

1. Ломницька Я. Ф., Чабан Н. Ф. Хімічні та фізико-хімічні методи аналізу в екологічних дослідженнях. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. 304 с.
2. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Київ : Знання, 2002. 203 с.
3. Бедрій Я. І. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища. Київ : Центр учбової літ., 2002. 248 с.
4. Перелигін Б. В. Методи і засоби обробки моніторингової інформації : навчальний посібник для студ. вузів: у 2 ч. Ч. 1. Одеса : Екологія, 2010. 222 с.
5. Перелигін Б. В. Методи і засоби обробки моніторингової інформації : навчальний посібник для студ. вузів: у 2 ч. Ч. 2. Одеса : Екологія, 2010. 214 с.
6. Чеботарьов О. М., Малахова Н. М., Щербакова Т. М., Захарія О. М., Гузенко О. М. Пробовідбір та пробопідготовка при аналізі об'єктів навколишнього середовища : навчально-методичний посібник до курсу “Аналітична хімія навколишнього середовища”, для студентів III-IV курсів хімічного фак-ту. Одеса : Астропринт, 2005. 60 с.
7. Хома Р. Є., Чеботарьов О. М. Методи збору, обробки та аналізу екологічних даних : методичні вказівки для студентів ф-ту хімії та фармації першого (бакалаврського) рівня освіти. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2021. 60 с.

Додаткова

1. Полетаєва Л. М., Сафранов Т. А. Моніторинг навколишнього природного середовища. К. : КНТ, 2007. 172 с.
2. Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бугай О. В. Екологія і охорона навколишнього середовища. Суми : Університетська книга, 2002. 302 с.
3. Шредер Г., Ніколаєвський А., Рибаченко В., Опейда Л. Швидкі аналітичні тести в хімічних дослідженнях довкілля. Донецьк, 2001.

162 с.

4. Гождзінський С. М., Зайцев В. М., Калібабчук В. О., Рудковська Л. М. Основи аналітичної хімії. Київ, 2002. 141 с.
5. Луцевич Д. Д., Мороз А. С., Грибальська О. В. Аналітична хімія : підручник. К. : Медицина, 2009. 416 с.
6. Чугай А. В. Моніторинг довкілля. Методи вимірювань параметрів навколишнього середовища. Одеса : ТЕС, 2014. 66 с.

Електронні інформаційні ресурси

1. Національна бібліотека ім. В. І. Вернадського. URL: <http://nbuv.gov.ua>
2. Наукова бібліотека ОНУ. URL: <http://library.onu.edu.ua/>
3. Спеціальності та освітні програми факультету хімії та фармації. URL: <http://chempharm.onu.edu.ua/pro-fakultet/spetsialnosti-ta-osvitni-prohramy>
4. Основні підручники, практикуми та довідники з хімії. URL: <http://chemistry-chemists.com/Uchebniki.html>
5. Хімічний каталог. Підручники з хімії. URL: <http://www.ximicat.com/ebook.php>
6. Книги та підручники з хімії. URL: <https://obuchalka.org/knigi-po-himii/>
7. Книги та підручники з хімії. URL: <https://www.rulit.me/tag/chemistry>
8. Інформаційний ресурс Scopus. URL: www.elsevier.com/scopus
9. Інформаційний ресурс Web of Science. URL: <https://mjl.clarivate.com/home>

Навчальне видання

АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт для студентів
факультету хімії та фармації**

Електронне практичне видання

Укладачі:

Щербакова Тетяна Михайлівна

Хома Руслан Євгенійович

Гузенко Олена Михайлівна

Рахлицька Олена Михайлівна

Топоров Сергій Васильович

В авторській редакції

Затвердж. авт. 19.12.2023. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним
забезпеченням для читання файлів формату PDF.
Обсяг 1,4 МБ. Зам. № 2720.

Видавець і виготовлювач

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12, Україна
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua