

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ПРИРОДНИЧИХ НАУК**

Л.В. Базюк, О.В. Кузишин Л.Я. Мідак

**Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу
«АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА»**

Навчально-методичний посібник

**Калуш
Видавець Петраш К.Т.
2018**

УДК 543.03-07.3
ББК 24я73
Б 17

Рекомендовано до друку ухвалою Вченої ради Факультету природничих наук ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», протокол № 3 від 15 листопада 2018 року

Укладачі:

Л.В. БАЗЮК, кандидат фізико-математичних наук
О.В. КУЗИШИН, кандидат фізико-математичних наук
Л.Я. МІДАК, доцент, кандидат хімічних наук

РЕЦЕНЗЕНТИ:

ЛУЧКЕВИЧ Є.Р. – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії середовища та хімічної освіти ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»;

МИХАЙЛЮК Ю.Д. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Базюк Л.В., Кузишин О.В., Мідак Л.Я.

**Б 17 Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Аналітична хімія навколишнього середовища». – Калуш: ФО-П Петраш К.Т., 2018. – 80 с. – 100 пр.
ISBN 978-617-7362-35-6**

Навчально-методичний посібник містить матеріал для самостійного вивчення студентами аналітичної хімії навколишнього середовища: теоретичні основи аналітичної хімії, хімію гідросфери, ґрунту та атмосфери, а також практичні завдання для самостійного і дистанційного контролю знань.

Рекомендований для студентів природничих спеціальностей закладів вищої освіти.

ISBN 978-617-7362-35-6

УДК 543.03-07.3
ББК 24я73

© Базюк Л.В., Кузишин О. В., Мідак Л.Я., 2018
© ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2018

Зміст

Вступ.....	4
Програма дисципліни	6
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	16
1. Особливості аналізу об'єктів природного середовища.....	16
2. Хімія гідросфери.....	22
3. Хімія ґрунту.....	28
4. Хімія атмосфери.....	42
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	64
1. Приклади розв'язання завдань.....	64
2. Завдання для самоконтролю.....	66
2.1. Хімія гідросфери.....	66
2.2. Хімія ґрунту.....	70
2.3. Хімія атмосфери.....	77
Рекомендована література.....	79
Додаток А. Розчинність кислот, основ, солей у воді.....	81
Додаток Б. Константи дисоціації кислот та основ.....	82
Додаток В. Добутки розчинності малорозчинних сполук.....	83

ВСТУП

Аналітична хімія навколишнього середовища – наука про методи визначення якісного та кількісного складу сполук та їх сумішей, а також встановлення хімічної структури речовин. Дисципліна є однією з найбільш важливих і базових у підготовці студентів природничих спеціальностей. Знання, які отримують студенти у процесі вивчення аналітичної хімії навколишнього середовища, є теоретичною та практичною базою для вивчення основ біохімічних процесів живих організмів, зокрема, людини, тварин та рослин; моніторингу об'єктів навколишнього середовища, вивчення води та ґрунтів.

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 речовин сьогодні стали порівняними з природними. При цьому циркуляція чужорідних живим організмам хімічних сполук та їх транспорт по харчових ланцюгах зростає вже до рівня, що загрожує здоров'ю сучасного та майбутніх поколінь.

У 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, плумбум, кадмій, берилій, їх сполуки, радіонукліди та інші. Приймаючи до уваги, що відмічені речовини виявляють велику здатність 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 речовин-забруднювачів і токсикантів характеризуються багатьма особливостями, зокрема зміною їх вмісту в часі та просторі, яка, в 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 пробо-підготовки, концентрування мікродомішок, усунення речовин, що заважають аналізу.

Метою викладання навчальної дисципліни «Аналітична хімія навколишнього середовища» є поглиблене засвоєння фундаментальних знань в галузі хімії, які є основою для подальшого вивчення циклу хіміко-біологічних дисциплін, засвоєння студентами теоретичних основ хімічного аналізу та оволодіння практичними навичками його виконання, а також ознайомлення студентів з теоретичними основами сучасної аналітичної хімії, основними етапами проведення аналітичного дослідження, особливостями різних методів визначення хімічних інгредієнтів в об'єктах навколишнього середовища, сформуванню вміння проведення лабораторного експерименту.

Цілеспрямована підготовка кадрів, здатних забезпечувати професійний аналітичний контроль об'єктів навколишнього середовища.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Аналітична хімія навколишнього середовища» є:

- вивчення теоретичних основ аналітичної хімії та застосування їх у вирішенні практичних завдань, як в галузі аналітичної хімії, так і на міждисциплінарних границях аналітичної хімії з іншими галузями знань, зокрема, з біохімічними процесами;
- вивчення методів якісного та кількісного дослідження складу речовин або їх сумішей;
- формування у студентів-природничників уявлення про різноманітність речовин-забруднювачів і токсикантів, складність їх визначення, зміну їх вмісту в часі та просторі;
- ознайомлення з хімічним складом поверхневих та підземних вод суші, океанів, атмосферних опадів, повітря, ґрунтів;
- ознайомлення з правилами відбору проб води, повітря та ґрунту;
- розгляд зразків об'єктів навколишнього середовища і підготовки їх до аналізу;
- розгляд та порівняння хімічних, фізико-хімічних та фізичних методів аналізу, які використовуються при дослідженні хімічного складу об'єктів навколишнього природного середовища, а також методів концентрування і розділення; отримання студентами практичних навичок визначення забруднювачів різноманітної природи у об'єктах навколишнього середовища.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати:

- теоретичні основи хімії довкілля;
- основні хімічні інгредієнти об'єктів навколишнього середовища;
- загальну схему і етапи аналізу об'єктів довкілля;
- роль хіміко-екологічних знань у підтриманні сталості складу біосфери;
- переваги і недоліки кожного методу при вирішенні певних завдань;
- досягнення вітчизняних і зарубіжних вчених в області аналізу об'єктів навколишнього середовища.

Вміти:

- самостійно проводити аналіз об'єктів навколишнього середовища з використанням методів аналітичної хімії;
- переводити об'єкт, що аналізують, в придатну для аналітичного визначення форму;
- обирати доцільну методику дослідження, змінювати і коректувати існуючі методики для аналізу конкретного об'єкта;
- проводити статистичну обробку результатів проведеного аналізу;
- використовувати в роботі довідкову та навчальну літературу; знаходити інші необхідні джерела інформації та працювати з ними.

Програма дисципліни
Змістовий модуль 1. Теоретичні основи аналітичної хімії

Розділ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ

1.1. Вступ до аналітичної хімії. Предмет і завдання аналітичної хімії. Короткі історичні відомості про розвиток аналітичної хімії. Роль аналітичної хімії в лабораторній діагностиці. Якісний та кількісний аналіз.

1.2. Термодинаміка та кінетика хімічних процесів. Швидкість хімічних реакцій. Хімічна рівновага. Вплив природи і концентрації реагентів на швидкість хімічних реакцій. Вплив температури на швидкість реакції. Закон діючих мас. Хімічна рівновага. Основні типи хімічних реакцій та рівноваг, які використовуються в аналітичній хімії.

1.3. Рівновага в розчинах електролітів. Електроліти, сильні і слабкі електроліти, стан сильних електролітів у розчинах. Кисотно-основні рівноваги. Розчини електролітів та їх значення. Теорія сильних електролітів. Електролітична дисоціація сильних і слабких електролітів. Йонний добуток води, рН середовища. Розрахунок величин рН розчинів сильних, слабких кислот та основ, солей. Вплив природи розчинника на силу електролітів. Теорії кислот і основ. Рівноваги в розчинах слабких кислот та основ. Гідроліз солей. Ступінь та константа гідролізу. Рівноваги в розчинах солей, які гідролізуються. Розрахунок кислотності (рН) водних розчинів кислот, основ та солей. Амфотерність та її використання в аналітичній хімії. Буферні розчини. Рівноваги в буферних розчинах. Буферні системи, їх характеристики, поняття про буферну ємність. Буферна дія. Протолітичні рівноваги в буферних системах. Використання буферних розчинів в аналізі. Приготування буферного розчину з заданим рН. Рівноваги в розчинах амфотерних речовин. Використання амфотерності в аналітичній хімії.

1.4. Рівновага в гетерогенних системах. Гетерогенні системи. Гетерогенні рівноваги у розчині. Добуток розчинності як характеристика ступеня розчинності сполуки. Константа рівноваги гетерогенних реакцій. Типи осадів. Умови утворення і розчинення осадів. Вплив різних факторів на розчинність осаду (сторонні електроліти, рН, комплексоутворюючі реагенти). Визначення концентрації йонів у насиченому розчині над осадом.

1.5. Комплексні (координаційні) сполуки. Теорія утворення і будови комплексних сполук. Склад комплексних сполук. Природа хімічного зв'язку та ізомерія комплексних сполук. Добування, класифікація і номенклатура комплексних сполук. Циклічні і хелатні комплекси. Властивості комплексних сполук. Рівноваги в розчинах комплексних сполук. Константи нестійкості комплексів. Застосування методу комплексоутворення в хімічному аналізі.

1.6. Розчини. Характеристика розчинів. Способи вираження складу розчинів. Обчислення, пов'язані з приготуванням розчинів різної концентрації. Перехід від одного способу вираження складу розчину до іншого. Методи та формули розрахунку концентрацій. Типове лабораторне

обладнання та прилади для базових хімічних процедур. Приготування розчинів хімічних сполук заданої концентрації.

1.7. Окисно-відновні реакції. Типи окисно-відновних реакцій. Реакції диспропорціювання. Окисно-відновний потенціал. Рівняння Нернста. Залежність величин редокс-потенціалів систем від різних чинників (ЕРС реакції, рН). Константа рівноваги окисно-відновної реакції. Значення окисно-відновних реакцій та їх застосування в аналітичній хімії. Теоретичні основи окисно-відновних реакцій. Складання рівнянь окисно-відновних реакцій. Кількісні характеристики і напрямленість окисно-відновних реакцій.

Розділ 2

ЯКІСНИЙ ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ КАТІОНІВ ТА АНІОНІВ

2.1. Основні означення якісного аналізу. Предмет та завдання якісного аналізу. Методи якісного аналізу. Дробний та систематичний аналіз. Аналітичні реакції та їх характеристика. Способи виконання якісних реакцій. Умови виконання та чутливість аналітичних реакцій. Обладнання і техніка якісного аналізу. Правила роботи в аналітичній лабораторії і техніка безпеки. Загальні правила. Техніка безпеки. Перша допомога в разі нещасних випадків. Визначення аналітичної групи катіонів та аніонів. Аналітична група. Якісний аналіз катіонів. Аналітичні класифікації катіонів. Кисотно-основна та сірководнева класифікація катіонів. Групові реагенти для визначення аналітичної групи катіонів. Зв'язок аналітичних властивостей катіонів з положенням у періодичній системі відповідних елементів.

2.2. Перша аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи. Біологічна роль і медичне застосування сполук. Аналітичні реакції катіонів I аналітичної групи: Na^+ , K^+ , Li^+ , NH_4^+ . Систематичний аналіз суміші катіонів першої аналітичної групи.

2.3. Друга аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи і біологічна роль катіонів. Груповий реагент на II аналітичну групу катіонів, особливості його застосування. Аналітичні реакції катіонів II аналітичної групи: Ag^+ , Pb^{2+} , Hg_2^{2+} . Систематичний аналіз суміші катіонів другої аналітичної групи.

2.4. Третя аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи. Біологічна роль і медичне застосування сполук. Груповий реагент на III аналітичну групу катіонів, особливості його застосування. Аналітичні реакції катіонів III аналітичної групи: Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} . Систематичний аналіз суміші катіонів третьої аналітичної групи.

2.5. Четверта аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи. Біологічна роль і значення сполук катіонів IV групи для медицини. Груповий реагент на IV аналітичну групу катіонів, особливості його застосування. Аналітичні реакції катіонів IV аналітичної групи: Al^{3+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , As^{3+} , As^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} . Систематичний аналіз суміші катіонів четвертої аналітичної групи.

2.6. П'ята аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи. Біологічна роль і медичне застосування сполук. Груповий реагент на V аналітичну групу катіонів, особливості його застосування. Аналітичні реакції катіонів V аналітичної групи: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Bi^{3+} , Mg^{2+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} . Аналіз суміші катіонів п'ятої аналітичної групи.

2.7. Шоста аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи. Біологічна роль і значення сполук катіонів VI аналітичної групи для медицини. Груповий реагент на VI аналітичну групу катіонів, особливості його застосування. Аналітичні реакції катіонів VI аналітичної групи: Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} . Аналіз суміші катіонів шостої аналітичної групи дробним методом. Систематичний аналіз суміші катіонів шостої аналітичної групи.

2.8. Аналіз суміші катіонів першої – шостої аналітичних груп. Систематичний аналіз катіонів I-III аналітичних груп за кислотно-основною класифікацією. Систематичний аналіз катіонів IV-VI аналітичних груп за кислотно-основною класифікацією.

2.9. Якісні реакції аніонів. Аналіз невідомої речовини та вмісту деяких домішок у ній. Класифікація аніонів на групи. Аналіз аніонів. Групові реагенти, особливість застосування групових реагентів під час аналізу суміші аніонів.

2.10. Перша аналітична група аніонів. Загальна характеристика групи. Біологічна роль і медичне застосування сполук. Якісні реакції аніонів SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$, $\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7^{2-}$ та умови їх виконання.

2.11 Друга аналітична група аніонів. Загальна характеристика групи, біологічна роль і медичне застосування сполук. Якісні реакції аніонів Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} , $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ та умови їх виконання.

2.12. Третя аналітична група аніонів. Загальна характеристика групи, біологічна роль і медичне застосування сполук. Якісні реакції аніонів NO_2^- , NO_3^- , MnO_4^- , CH_3COO^- , $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COO}^-$ та умови їх виконання.

2.13. Реакції аніонів органічних кислот. Особливі випадки в аналізі аніонів. Аналіз суміші аніонів I-III груп.

2.14. Визначення ймовірних елементів, катіонів, аніонів у неорганічній сполуці на основі попереднього випробування зразку. Алгоритм попереднього випробування неорганічної сполуки з метою її подальшої ідентифікації. Аналіз сполуки невідомого складу. Аналіз сумішей сухих солей. Випробування на чистоту і визначення деяких домішок у лікарських препаратах.

2.15. Методи розділення та концентрування. Екстракція. Закони розподілу. Константа екстракції. Коефіцієнт розподілу. Коефіцієнт абсолютного концентрування. Ступінь вилучення. Класифікація екстракційних процесів. Умови екстракції органічних та неорганічних сполук. Визначення коефіцієнту розподілу речовини між водною та органічною фазами.

КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ

3.1. Предмет і задачі кількісного аналізу. Класифікація та характеристика методів кількісного аналізу. Вимоги до реакцій. Стандартні речовини і стандартні розчини. Похибки в кількісному аналізі. Класифікація похибок. Математична обробка результатів аналізу.

3.2. Гравіметричний (ваговий) аналіз. Суть гравіметричного аналізу. Принципи гравіметричного аналізу. Класифікація методів гравіметричного аналізу. Хімічний гравіметричний аналіз. Аналітичні терези. Демпферні терези і зважування на них. Аналітичні терези системи ТЛР-200. Посуд і обладнання для гравіметричного аналізу. Важливі операції гравіметричного аналізу. Техніка гравіметричного аналізу. Алгоритм визначення вмісту речовин гравіметричним методом. Застосування гравіметричного аналізу. Приклади визначень методом гравіметрії. Гравіметричне визначення фосфатів.

3.3. Титриметричні методи аналізу. Сутність титриметричного (об'ємного) аналізу. Вимоги до реакцій, які використовують у титриметричному аналізі. Теоретичні основи титриметричних методів аналізу. Характеристика і класифікація методів титриметрії. Загальні положення титриметрії. Розчини, які використовують у титриметрії. Приготування робочих (титрованих) розчинів. Методики титрування і обчислення в титриметричному аналізі. Розрахунки концентрацій в різних одиницях виміру. Поняття про концентрацію. Способи вираження концентрацій розчинів: молярна концентрація, масова частка, нормальність, титр. Еквівалент. Формули перерахунків концентрацій. Розрахункові формули в титриметричному аналізі. Поняття про титрант, точку еквівалентності, точку кінця титрування, індикатор, його характеристики та вимоги до нього. Одиниці виміру титранту. Визначення кількості титранту в точці еквівалентності під час титрування. Техніка титрування. Вимірювання об'ємів. Мірний посуд. Точність аналізу. Класифікація хімічних сполук. Вибір методу титриметрії для певних хімічних сполук.

3.4. Метод нейтралізації (кисотно-основне титрування). Загальна характеристика методу. Теоретичні основи та класифікація методів кисотно-основного титрування. Кисотно-основні індикатори. Теорії індикаторів. Криві титрування методу нейтралізації і правила вибору індикаторів за кривими титрування. Похибки кисотно-основного титрування. Можливості кисотно-основного титрування. Вибір індикаторів за продуктами реакції. Техніка титрування. Кисотно-основне титрування у неводних середовищах. Класифікація розчинників. Вибір розчинника для титрування. Титранти методу. Індикація кінцевої точки титрування. Застосування в аналізі. Методи визначення концентрації кислот у розчині. Приклади алкаліметричних і ацидиметричних визначень. Методи визначення карбонат-йонів у розчині. Визначення вмісту натрій карбонату методом ацидиметричного титрування. Визначення вмісту оцтової кислоти методом алкаліметричного титрування. Алкаліметричне титрування та типові індикатори.

3.5. Методи оксидиметрії (окисно-відновне титрування). Теоретичні основи та класифікація методів окисно-відновного титрування. Рівняння Нернста. Вплив різноманітних факторів на швидкість окисно-відновної реакції та значення рівноважного редокс-потенціалу. Способи титрування. Фіксування кінцевої точки титрування в методах окисно-відновного титрування. Редокс-індикатори. Криві окисно-відновного титрування. Розрахунок фактора еквівалентності та стехіометричного співвідношення. Перманганатометрія. Суть методу перманганатометрії. Приготування робочого розчину калій перманганату і встановлення його концентрації. Перманганатометричне титрування та особливості індикатору. Приклади визначень у перманганатометрії. Перманганатометричне визначення вмісту феруму (II). Методи кількісного визначення відновників. Йодометрія. Теоретичні основи методу йодометрії. Приготування титрованих розчинів. Приклади визначення відновників і окисників. Йодометричне визначення вмісту кисню у розчині. Йодометричне титрування та його застосування для визначення концентрацій різних сполук (зокрема кисню, аскорбінової кислоти). Крохмаль як специфічний індикатор при йодометрії. Нітритометрія, броматометрія та бромометрія. Хімічні реакції, на яких засновані методи. Титранти, їх приготування і стандартизація. Індикатори методів. Визначення лікарських речовин у медичних препаратах. Хроматометрія. Дихроматометрія. Йодхлорометрія. Цериметрія.

3.6. Методи осадження (осаджувальне титрування). Сутність титриметричних методів **осадження**. Теоретичні основи та класифікація методів осаджувального титрування. Вимоги до реакцій. Криві методів осаджувального титрування. Індикатори осаджувального титрування. Методи аргентометрії. Способи визначення кінцевої **точки титрування**: безіндикаторні та індикаторні способи. Класифікація аргентометричних методів залежно від обраного індикатору. Визначення хлоридів методом Мора: титрант, його приготування та стандартизація, індикатор, умови визначення, застосування в аналізі. Визначення хлоридів методом Фаянса-Ходакова (метод адсорбційних індикаторів): адсорбційні індикатори, механізм їх дії; умови визначення, застосування в аналізі. Метод зворотного титрування за Фольгардом (роданометрія): пряме і зворотне титрування; титранти, їх приготування і стандартизація, індикатор, умови визначення, застосування в аналізі. Приклади визначень методом аргентометрії. Меркурометрія: сутність методу, титрант, його приготування і стандартизація, індикатори, умови визначення, застосування в аналізі.

3.7. Комплексонометрія (комплексометричне титрування). Теоретичні основи методу комплексонометрії. Загальна характеристика комплексиметричних методів аналізу. Приклади визначення катіонів металів методом комплексонометрії. Меркуриметрія. Комплексонометрія (трилонометрія). Комплексонометричне визначення сумарного вмісту солей кальцію та магнію. Комплексонометричне титрування та його застосування

під час визначення вмісту біогенних елементів та важких металів. Металохромні індикатори.

Розділ 4

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ (ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ) МЕТОДИ АНАЛІЗУ

4.1. Характеристика фізико-хімічних методів аналізу. Класифікація фізико-хімічних методів аналізу.

4.2. Оптичні методи аналізу. Рефрактометрія. Поляриметрія. Атомна спектроскопія. Атомно-емісійна спектроскопія та атомно-абсорбційна полум'яна фотометрія (спектрометрія): сутність методу. Атомізатори. Види атомно-абсорбційних спектрометрів. Величина абсорбції. Способи вимірювання концентрації. Апаратура. Помилки атомно-абсорбційного аналізу. Межі виявлення. Застосування атомно-абсорбційного аналізу. Молекулярна абсорбційна спектроскопія. Основні поняття і терміни. Поглинання випромінювання однорідними системами. Оптичне поглинання. Молярний коефіцієнт світлопоглинання та його фізичний зміст. Закони поглинання випромінювання. Закон Бугера-Ламберта-Бера та причини відхилення від закону. Фотометричний аналіз. Принципи фотометричного аналізу. Вимоги до кольорових реакцій. Фотометричне визначення вмісту йонів ферум(III) з роданід-йonom. Умови фотометричного визначення йонів ферум(III) у вигляді роданідного комплексу. Галузі використання фотометричного аналізу. Спектрофотометрія у видимій області. Візуальна колориметрія. Фотометричні реакції та фотометричні реагенти. Побудова калібрувального графіку для фотометричного визначення вмісту заданої речовини. Фотоколориметрія. Фотометричне титрування. Фотоелектроколориметрія. Методи визначення концентрації речовини у розчині у фотоелектроколориметрії. Приклади визначень методом фотоелектроколориметрії. Диференційна фотоколориметрія. Екстракційно-фотометричний метод. Флуориметрія (люмінесцентний аналіз). Спектрофотометрія. Спектрофотометричне титрування. Спектрофотометрія в ІЧ-області. УФ-спектроскопія. Спектрофотометрія в якісному аналізі. Спектрофотометричне визначення вітаміну B_{12} у лікарських формах. Інфрачервона (ІЧ) або коливальна спектрофотометрія. Нефелометрія і турбідиметрія.

4.3. Електрохімічні методи аналізу. Класифікація електрохімічних методів аналізу. Кондуктометричне титрування (кондуктометрія). Класифікація кондуктометричних методів аналізу. Потенціометричні методи аналізу (потенціометрія). Класифікація методів потенціометричного аналізу. Потенціометричне визначення вмісту кислот, основ та солей у розчині. Потенціометричний аналіз, потенціометричне титрування, типи кривих потенціометричного титрування. Потенціометр, електроди порівняння та індикаторні електроди. Потенціометричне визначення рН водних розчинів. Потенціометричне титрування. Визначення концентрації кислот, основ або їх

сумішей у розчині. Вольтамперометрія. Характеристика та теоретичні основи методу. Класифікація вольтамперометричних методів аналізу. Полярографічний аналіз (полярографія). Застосування полярографії в аналітичній хімії. Амперометричне (поляграфічне) титрування. Криві амперометричного титрування. Амперометричне титрування з двома поляризованими електродами. Кулонометричний аналіз (кулонометрія). Пряма кулонометрія. Кулонометричне титрування.

4.4. Хроматографічні методи аналізу. Теоретичні основи і класифікація методів хроматографії. Сутність хроматографічного аналізу. Можливості хроматографії. Теорія хроматографічного розділення. Хроматографічні параметри. Адсорбційна хроматографія. Розподільна хроматографія. Площинна хроматографія. Хроматографія у тонкому шарі сорбенту (ТШХ). Осадова хроматографія. Йонний обмін та йоннообмінна хроматографія. Газова хроматографія. Високоєфективна рідинна хроматографія (ВЕРХ). Гель-хроматографія.

Змістовий модуль 2. Аналітична хімія навколишнього середовища

Розділ 1

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ПРИРОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1. Завдання аналітичної хімії довкілля. Основні хімічні компоненти навколишнього середовища. Причини виникнення проблеми охорони навколишнього середовища. Поняття про забруднення навколишнього середовища та його види. Поняття про ксенобіотики, екотоксиканти, поліутанти. Основні види забруднювачів навколишнього середовища.

Хімічні забруднення. Джерела попадання забруднювачів у навколишнє середовище. Шляхи захисту навколишнього середовища від хімічних забруднювачів. Поняття про стійкість та трансформацію забруднювачів у навколишньому середовищі. Стан довкілля в Україні. Основні екологічні проблеми України. Вплив аварії на Чорнобильській АЕС на стан навколишнього середовища України.

1.2. Особливості аналізу природних об'єктів. Загальна схема і етапи аналізу. Загальна характеристика проби об'єктів навколишнього середовища. Величина проби. Види проб і техніка їх відбору. Представницька проба. Генеральна, лабораторна і проба, що аналізується. Основні принципи відбору проб. Пробо-відбірники. Характеристика методів аналізу, селективність методу. Консервація і транспортування, зберігання проб. Визначення хімічних інгредієнтів у розчинному стані, колоїдно-дисперсній формі та в зависях. Концентрування мікроелементів. Усунення речовин, що заважають аналізу.

1.3. Підготовка проби об'єкту навколишнього середовища до аналізу.

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.

Види розкладання зразків проб об'єктів навколишнього середовища. Термічне розкладання: піроліз, сухе озолення; переваги і недоліки. Сплавлення. Спінання. 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.

Методи розділення і концентрування, які застосовуються при підготовці проб об'єктів навколишнього середовища до аналізу. Фактори, які обумовлюють необхідність розділення і концентрування при аналізі проб. Основні види розділення і концентрування, які застосовуються при аналізі об'єктів навколишнього середовища та їх застосування до аналізу певних об'єктів. Загальна характеристика випаровування, виморожування та відгонки. Застосування осадження і співосадження під час аналізу.

Методи розділення і концентрування, які базуються на розподілі речовин між двома фазами. Маскування компонентів, які заважають аналізу. Загальна характеристика сорбції, застосування. Види і характеристика хроматографічних методів, які застосовуються при аналізі об'єктів навколишнього середовища. Екстракція: основні поняття, умови, кількісні характеристики, застосування. Види маскування, основні групи маскуючих речовин.

1.4. Основи еколого-аналітичного моніторингу забруднювачів. Моніторинг. Головні задачі моніторингу. Категорії антропогенного впливу на біосферу. Джерела забруднювачів та їх форми міграції. Геохімічні аномалії. Види міграцій політантів. Токсичність. Гранично-допустимі концентрації (ГДК) забруднювачів.

Розділ 2

ХІМІЯ ГІДРОСФЕРИ

2.1. Екологічний стан водного басейну планети. Завдання аналізу природних і стічних вод. Водні ресурси України, їх екологічний стан. Моніторинг водних об'єктів. Види стандартів якості води. Запаси прісної води світу. Роль води у життєдіяльності організмів та процесах кругообігу хімічних елементів. Процеси формування хімічного складу природних вод. Класифікації природних вод.

2.2. Хімічні інгредієнти природних вод. Будова молекули води. Фізичні властивості води. Діаграма стану води, правило фаз. Хімічні властивості води. Вода як розчинник. Основні положення теорії активності. Йонний добуток води. Загальна характеристика речовин, які містяться у природних водах: розчинні гази (O_2 , CO_2 , H_2S), сольові компоненти, біогенні сполуки, мікроелементи, органічні речовини. Розчинні у воді гази. Властивості природних вод (мінералізація, електропровідність, органолептичні властивості, pH, E_h , кислотність, лужність, буферність). Співвідношення між

різними формами слабких кислот у природних водах. Форми знаходження хімічних елементів у природних та стічних водах. Вимоги до якості природних та питних вод. Стічні води. Форми виразу результатів аналізу води на вміст інгредієнтів.

2.3. Показники якості природних і стічних вод. Фізичні і фізико-хімічні показники складу води (температура, рН, прозорість, кольоровість, каламутність, запах, смак, присмак). Хімічні і біохімічні показники складу води. Загальна мінералізація і забрудненість води. Йонний склад. Кислотність. Лужність. Вуглекислотна рівновага. Твердість. Вміст окремих хімічних складових (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Сполуки нітрогену і фосфору у природних водах. Синтетичні поверхнево-активні речовини. Окиснюваність води. ХСК (хімічне споживання кисню), БСК (біохімічне споживання кисню). Специфічні домішки у воді. Біологічні забруднення води і санітарно-бактеріологічні показники якості природних і стічних вод. Органолептичні і санітарно-токсикологічні, санітарно-епідеміологічні нормативи якості води.

2.4. Особливості аналізу природних і стічних вод. Види, відбір та підготовка до аналізу проб води Частота відбирання проб. Об'єм проб води. Посуд для відбору і зберігання проб води. Відбір проб з різних водних об'єктів. Відбір проб води з річок, озер, ставків. Підготовка води до аналізу. Консервація і транспортування, зберігання проб води. Визначення хімічних інгредієнтів у розчинному стані, колоїдно-дисперсній формі та в зависях. Основні способи переведення проби у форму, необхідну для даного виду аналізу. Концентрування мікроелементів. Усунення речовин, що заважають аналізу.

2.5. Методики аналізу природних і стічних вод. Визначення фізичних властивостей та інтегральних показників хімічного складу води. Температура, густина, прозорість, кольоровість, каламутність, смак, запах, вміст розчинених і нерозчинених речовин, зависі, питома електропровідність, загальний нітроген, нітроген органічних сполук, фосфор органічних сполук, вуглець органічних сполук, ХСК (хімічного споживання кисню), БСК (біологічного споживання кисню). Визначення індивідуальних показників хімічного складу вод. рН, рОН, розчинний діоксиген, дигідроген сульфід, сульфіді, кислотність, лужність, компоненти карбонатної системи, агресивний карбон(IV) оксид, хлориди, сульфати, твердість води, кальцій-, магній-, натрій-, калій-йони, амоніак, солі амонію, сілікат-, нітрат(V)-, нітрат(III)-, фосфат- і поліфосфат-аніони, ферум(II)- і ферум(III)-, манган(II)-, купрум(II)-, цинк-, кобальт(II), алюміній- арсен(III)-, берилій-, нікол-, плюмбум(II)-катіони.

Розділ 3

ХІМІЯ ҐРУНТІВ

3.1. Хімічний склад ґрунтів. Фізичні властивості ґрунтів. Склад основних компонентів ґрунтів і донних відкладень. Природні шляхи збагачення і збіднення ґрунту. Роль ґрунту в процесах кругообігу хімічних елементів. Показники, які характеризують вміст доступних для рослин хімічних інгредієнтів. Проникнення важких металів у ґрунти. Основні джерела

забруднення ґрунту важкими металами. Підготовка ґрунтів до хімічного аналізу. Способи розкладу ґрунтів (розклад кислотами, сплавленням, спіканням). Методи кількісного аналізу ґрунтів. Поняття про кислотність, закипання, вилуговування ґрунту. Хімічна суть закислення ґрунту (пониження рН) та шкода від цього. Буферні властивості ґрунту. Вплив кислих дощів на ґрунт. Вплив кислотності ґрунту на процеси міграції фосфору. Реакції йонного обміну в електролітах під час живлення рослин ґрунтовим розчином. Катіонообмінна здатність ґрунтів. Суть засолення ґрунту. Причини засолення ґрунту.

3.2. Аналіз ґрунтів. Аналіз ґрунтів на вміст гумусу, Карбону, Нітрогену, метал-йонів. Аналіз антропогенних забруднювачів ґрунтів (метал-йони, нітрати, фосфати, органічні сполуки). Роль мінеральних добрив у житті рослин. Триоксонітрати(V) та їх вплив на живі організми. Правила раціонального використання добрив. Умови попередження забруднення ґрунтів. Санітарна охорона ґрунтів, Закон України про охорону ґрунтів.

3.3. Відбір проб ґрунтів та донних відкладень. Розрахунок оптимальної маси проби. Розподільча здатність забруднювачів ґрунтів. Схема розташування точок відбору твердих проб. Гомогенізація та усереднення проби.

Розділ 4

ХІМІЯ АТМОСФЕРИ

4.1. Хімічний склад повітря. Атмосфера. Сталі та змінні компоненти повітря. Аерозолі. Поняття про фонові концентрації речовин у повітрі. Джерела забруднення повітряного басейну. Поняття про речовини – забруднювачі повітря. Фактори, які впливають на концентрацію атмосферних забруднень. Основні заходи по охороні повітря від забруднення. Поняття про моніторинг. Хімічний моніторинг атмосфери. Закон України про охорону атмосфери.

4.2. Аналіз повітря. Методи відбору проб повітря. Аналіз повітря газуватих складових повітря, аналіз металів та їх сполук у паруватому стані. Найпростіші методи знешкодження газових промислових викидів як продуктів згорання органічних речовин. Нітроген оксиди, шкода від них та природоохоронні заходи по зменшенню вмісту нітроген оксидів в атмосфері і навколишньому середовищі.

4.3. Відбір проб повітря. Вимоги до методів контролю вмісту шкідливих речовин в повітрі. Відбір проби з потоку повітря. Леткість. Поглинальні пристрої, сорбенти та фільтруючі матеріали. Аспіраційні прилади.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1. Особливості аналізу об'єктів природного середовища

До складу природних вод, ґрунтів та повітря входить значна кількість хімічних інгредієнтів, вміст яких змінюється в надзвичайно широких межах. Хімічний склад об'єктів природного середовища, на відміну від технічних матеріалів, наприклад таких, як сталь, чавун, скло, цемент тощо, є досить лабільним і змінюється в часі та просторі. Цю нестабільність добре підкреслює відомий афоризм про те що «не можна вступити в одну і ту ж річку двічі». До складу ґрунтів, природних вод та повітря входить значна кількість хімічних інгредієнтів, вміст яких змінюється в надзвичайно широких межах. Тому для аналізу цих об'єктів використовують різноманітні методи дослідження. Рациональний вибір методів для визначення певного інгредієнта або групи інгредієнтів зумовлений, з одного боку, агрегатним станом та якісним і кількісним хімічним складом досліджуваних об'єктів, а з іншого – аналітичними можливостями самого методу аналізу. При цьому слід враховувати деякі особливості, які притаманні аналітичній хімії об'єктів природного середовища, зокрема: способам відбору та підготовки проб для аналізу, створенню належних умов для забезпечення адекватності між вимірюваним аналітичним сигналом і концентрацією (вмістом) визначуваного інгредієнта.

Аналіз будь-якого природного об'єкта проводиться за певними етапами. Основними етапами аналізу є вибір методу (I), відбір проби (II), підготовка проби до аналізу (III), виконання аналізу та вимірювання аналітичного сигналу (IV) і статистична обробка результатів аналізу (V). Однак надзвичайно різноманітний хімічний склад об'єктів природного середовища лише в окремих випадках дозволяє провести аналіз безпосередньо за цими етапами, не використовуючи інші допоміжні операції.

Першим етапом аналізу є вибір оптимального методу. Цей етап дуже важливий, тому що від обраного методу аналізу залежить величина проби (для ґрунтів – наважка, г, для вод – об'єм, дм³, для повітря – об'єм, м³), складність і тривалість аналізу. Селективність обраного методу (вибірковість, можливість визначення даним методом тільки певний йон або речовину) впливає на тривалість та точність аналізу. Чим більш селективним є обраний метод, тим менше часу витрачається на аналіз, тому що немає потреби у виключенні компонентів, які заважають аналізу, або у відокремленні від них визначуваного інгредієнта. Уникнення допоміжних операцій позитивно впливає також на точність аналізу. Наприклад, атомно-абсорбційне визначення мікроелементів, зокрема міді, цинку, кобальту та інших є більш селективним, ніж визначення фотометричним методом, а в деяких випадках – також більш точними. Окрім того, при необхідності екстракційного концентрування мікроелементів (спосіб розділення або вилучення компонентів суміші шляхом їх перевodu з однієї рідинної фази (водний розчин) в іншу (органічний розчинник) з метою збільшення концентрації досліджуваних компонентів) можна вносити екстракт безпосередньо в

полум'я аналізатора і тим самим виключити процес реекстракції, що також скорочує тривалість аналізу.

Відбір проб води, ґрунтів та повітря є надзвичайно важливою частиною їх аналізу, яка повинна забезпечити представництво одержаних результатів і наукову обґрунтованість їхнього подальшого використання для розв'язання екологічних та народногосподарських завдань. Помилки, які можуть виникнути внаслідок неправильного підбору проб, неможливо виправити ніякими експериментальними або розрахунковими методами. Величина проби залежить від очікуваного вмісту визначуваного інгредієнта та чутливості вимірюваного аналітичного сигналу. Наприклад, для визначення вмісту кальцій йонів, які у природній воді містяться в межах 20-100 мг/дм³ об'ємним комплексонометричним методом треба взяти не менше 50-100 см³ проби, тоді як для визначення тих самих йонів методом фотометрії полум'я досить мати 5-10 см³, а методом йонної хроматографії достатньо лише 0,5 см³ і менше об'єм проби води. Зменшення величини проби особливо важливе у разі необхідності транспортування великої кількості відібраних проб до місця аналізу. Результат аналізу може бути правильним тільки у тому випадку, коли проба представницька, тобто склад проби і всього досліджуваного об'єкта повинні бути однаковими (ідентичними).

Тому відбір і підготовка проби – одні з найважливіших стадій аналітичного процесу. Відбір проби складається з взяття початкової (генеральної, первинної) проби від великої маси (об'єму) речовини і скорочення різними способами відібраної генеральної проби до такої кількості, що використовують для аналізу. Така необхідність виникає, зокрема, при дослідженні гідрохімічного режиму водосховищ, озер та річок, коли десятки проб води відбираються під час експедицій і практично немає можливості виконати хімічний аналіз безпосередньо на місці відбору проб. Це ж стосується певною мірою й аналізу ґрунтів, донних відкладів та повітря. Можливість виконання аналізу безпосередньо на місці відбору проби є важливою характеристикою методу. Це зокрема, стосується аналізу природних вод, хімічний склад яких може змінюватися в процесі транспортування та зберігання відібраних проб унаслідок протікання в них різноманітних біологічних та фізико-хімічних процесів. Наприклад, визначити концентрацію розчиненого кисню та компонентів карбонатної системи, а також рН та Е_h води обов'язково треба на місці відбору проби з урахуванням її температури, тому що ці показники є досить лабільними і їх практично неможливо стабілізувати шляхом консервації проби (додавання до проби певної речовини, яка дозволяє зберегти хімічний склад досліджуваного об'єкта впродовж певного періоду без змін). При відборі проб необхідно врахувати багато специфічних обставин, що є типовими при аналізі вод, повітря та ґрунтів. Однак можна відзначити головні принципи, які слід враховувати при відборі проб з будь-якого об'єкту природного середовища:

1) проба або серія проб, відібраних для аналізу, повинна бути характерною для даного природного об'єкта в місці їх вибору;

2) відбір проб їх транспортування, зберігання та подальша обробка повинні виконуватись так, щоб не змінювався вміст визначуваного інгредієнта або групи інгредієнтів;

3) об'єм або маса проби повинні повністю забезпечити можливість виконання запланованих аналітичних визначень.

Характерною особливістю природних об'єктів є те, що визначувані в них інгредієнти часто можуть бути у різному агрегатному стані. Це слід враховувати при відборі проб та їх підготовці до аналізу. Окрім того, багато інгредієнтів містяться в природних об'єктах у різних хімічних формах, які мають неоднакові фізико-хімічні та аналітичні властивості. Для визначення валового вмісту таких інгредієнтів їх треба заздалегідь перевести в одну і ту ж аналітичну форму, концентрація якої буде адекватною вимірюваному аналітичному сигналу. Нарешті, вміст багатьох хімічних речовин у природних об'єктах настільки малий, що їх неможливо визначити без попереднього концентрування та відокремлення від основних компонентів.

Після відбору проби іде її *підготовка до аналізу*, яка відбувається у декілька стадій:

- консервація, транспортування та зберігання проб води;
- визначення хімічних інгредієнтів у розчиненому стані, колоїдно-дисперсній формі та зависях;
- концентрування мікрокомпонентів;
- усунення речовин, що заважають аналізу.

Консервація проб, яка найчастіше проводиться при аналізі води, має на меті зберегти їх фізичні властивості та хімічний склад в такому стані, в якому вони були у момент відбору проби. Консервацію проводять у тих випадках, коли немає можливості виконати аналіз на місці відбору. Однак треба пам'ятати, що консервація проб води не може повністю запобігти зміні їхнього хімічного складу, яка зумовлена протіканням у воді різноманітних фізико-хімічних та біологічних процесів. Універсального методу консервації природних вод немає, тому часто для визначення різних інгредієнтів відбирають окремі проби води і по-різному їх консервують. Деякі проби води не консервують. Їх не можна консервувати при визначенні багатьох показників: температури, Eh, CO₂, HCO₃⁻, кислотності, лужності, сульфідів, озону, хлору, біохімічного споживання кисню, смаку, запаху, кольоровості, розчиненого кисню, зависей, каламутності, щільності, прозорості, питомої електропровідності, розчинених речовин, рН, ароматичних вуглеводнів, жирних кислот, фенолів, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, F⁻, боратів. Найбільш поширеними консервантами води є такі:

- 1 см³ концентрованої сульфатної кислоти на 1 дм³ води при визначенні хімічного споживання кисню (ХСК), C_{орг.}, N_{заг.}, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Zn²⁺;
- 5 см³ концентрованої нітратної кислоти на 1 дм³ води при визначенні йонів Mn²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Ag⁺, Cr (III, VI);
- 2-4 см³ хлороформу на 1 дм³ води при визначенні кольоровості, NH₄⁺, NO, NO₃⁻, SO₄²⁻, фосфатів та синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР).

Іноді застосовують спеціальні способи консервації, які пов'язані з хімічними властивостями визначуваного інгредієнта. Наприклад, для визначення загального вмісту феруму пробу консервують, додаючи 25 см³ концентрованої нітратної кислоти на 1 дм³ води. При цьому гідроксиди та інші малорозчинні сполуки феруму(II, III), а також їх комплекси з органічними речовинами природних вод розкладаються і всі форми феруму переходять в аква-йони Fe³⁺, які визначають фотометрично. Якщо потрібно окремо визначити вміст Fe²⁺ та Fe³⁺, то пробу води консервують сумішшю ацетатної кислоти з натрій ацетатом і зберігають, не допускаючи контакту з повітрям.

У природних водах, витяжках ґрунтів завжди містяться, розчинені і нерозчинені речовини. Тому визначення концентрації багатьох хімічних інгредієнтів у не фільтрованих та профільтованих розчинах дає різні результати. Це особливо стосується сполук йонів металів, через те що вони значною мірою сорбуються на зависях та колоїдних частках. Тому часто виникає потреба визначити не тільки загальний вміст певних інгредієнтів, а також роздільно у зависях, в колоїдному та в розчиненому у воді стані. Наприклад, встановлено, що токсичність води р. Дунай, яка є дуже каламутною, майже повністю зникає, якщо воду профільтрувати. Це зумовлено сорбцією сполук токсичних металів, таких, як ртуть, кадмій, свинець, хром тощо на зависях та колоїдних частках, що знаходяться у каламутному розчині. Для виділення зависей у досліджуваних розчинах застосовують:

- відстоювання;
- фільтрацію;
- центрифугування;
- ультрафільтрацію (мембранну фільтрацію).

Найбільш поширені останні два методи. Фільтрація через мембранні фільтри з діаметром пор 300-500 нм або центрифугування протягом 20-30 хвилин забезпечує практично повне виділення зависей. Відомо, що між зависями і колоїдно-дисперсними, а також між колоїдними й істинно розчиненими частками немає чіткої межі і зони їх існування за характеристиками розміру та молекулярної маси дещо перехрещуються. Тому, вміст певного хімічного інгредієнта в зависях, у колоїдній формі та в істинно розчиненому у воді стані визначають так. Спочатку пробу обробляють кислотою або іншим реагентом для переведення всіх форм визначуваного інгредієнта в істинно розчинений стан і визначають його загальну концентрацію ($C_{\text{заг}}$). Потім другу порцію цього ж розчину води фільтрують крізь мембранний фільтр з розміром пор 450 нм і у фільтраті визначають концентрацію (C_1). Нарешті, третю порцію води фільтрують через мембранний фільтр з розміром пор 10 нм і у фільтраті визначають (C_2). Концентрацію визначуваного інгредієнта в кожній формі визначають за формулами:

$$\begin{aligned}C_{\text{завислі}} &= C_{\text{заг}} - C_1; \\C_{\text{колоїдні}} &= C_1 - C_2; \\C_{\text{розчинені}} &= C_2.\end{aligned}$$

Концентрування, яке має за мету збільшення концентрації визначуваного компоненту, доцільно проводити після попереднього фільтрування або центрифугування рідкої проби, для того щоб позбутися нерозчинних сполук. Для концентрування мікрокомпонентів використовують дві групи методів.

До **першої** з них належать випарювання та виморожування, які призводять до зменшення загального об'єму проби води і, як наслідок, до збільшення концентрації всіх інгредієнтів. Загальний недолік цих методів полягає в тому, що при значній концентрації йонів у розчині вони випадають в осад у вигляді солей, наприклад, кальцій карбонату або сульфату, тощо. При цьому на поверхні осаду здатні сорбуватись органічні та неорганічні мікродомішки, внаслідок чого хімічний склад і вміст розчинених компонентів змінюється. При випарюванні проби води з неї можуть виділятися не тільки осади сольових компонентів, але також відганяються леткі органічні сполуки. Метод виморожування з метою концентрування меншою мірою впливає на хімічний склад проби води. Проте слід мати на увазі, що при виморожуванні певна кількість розчинених у природній воді речовин переходить у фазу льоду, причому чим більший ступінь концентрування, тим більш значні втрати концентрату. Через те виморожувати пробу води із зменшенням її об'єму більш ніж у 8-10 разів не рекомендується!

До **другої** групи належать методи концентрування, які ґрунтуються на екстракції, сорбції, співосажденні або електрохімічному виділенні мікрокомпонентів без зміни загального об'єму проби води. Ці методи дозволяють не тільки концентрувати мікрокомпоненти, але також відокремлювати їх від матриці та речовин, що заважають аналізу, тому вони є більш ефективними у порівнянні з випарюванням або виморожуванням.

Екстракційне концентрування полягає в тому, що певний об'єм досліджуваного розчину ($V_{\text{вод}}$) енергійно збовтують у ділильній лійці з меншим об'ємом органічного розчинника ($V_{\text{орг.}}$), який практично не змішується з водою, до встановлення рівноваги. Звичайно для цього потрібно не більше 3-5 хв. Мікрокомпоненти у вигляді органічних сполук або комплексів йонів металів, які у неводному розчиннику розчиняються краще, ніж у воді, переходять в органічну фазу. У багатьох випадках слід використовувати багаторазову екстракцію. Багаторазову екстракцію можна замінити методом екстракційної хроматографії, тобто екстракцією в динамічних умовах. Екстракційне концентрування застосовують в основному для вилучення з природної води органічних сполук та йонів металів у вигляді їх комплексів з органічними лігандами. Ці інгредієнти можна потім визначити безпосередньо як в екстракті, так і після екстракції у водному середовищі.

Сорбційне концентрування проводять на молекулярних та йонообмінних сорбентах у статичних або динамічних умовах. При концентруванні в статичних умовах до проби природної води додають певну кількість сорбенту і витримують протягом 20-30 хв при інтенсивному перемішуванні. Серед молекулярних сорбентів найчастіше використовують силікагель, алюміній оксид або активоване вугілля. Для сорбції катіонів та аніонів застосовують відповідно такі іоніти – катіоніти та аніоніти.

Співосадження застосовують в основному для концентрування мікрокількостей йонів металів. Співосадження – це процес захоплення мікродомішок йонів певним осадом в умовах, коли ці йони самі не утворюють малорозчинних сполук. Наприклад, при осадженні барій сульфату з осадом співосаджується незначна кількість барій нітрату, хоча він є добре розчинною сполукою; при осадженні ферум(III) гідроксиду надлишком амоніаку в присутності йонів Cu^{2+} до фази осаду переходить певна кількість йонів купруму, хоча вони в умовах осадження утворюють добре розчинний амоніачний комплекс. Механізм співосадження найчастіше полягає в адсорбції або оклюзії мікродомішок твердою фазою осаду, який називається колектором. При аналізі природних вод застосовують різні колектори – ферум(III) гідроксид, манган діоксид, магній гідроксид. Зручним колектором є магній гідроксид, який після відділення та розчинення практично не заважає подальшому визначенню співосаджених мікрокомпонентів фотометричними та іншими методами.

Інверсійна вольтамперометрія з нагромадженням є ефективним методом концентрування та визначення мікрокількостей металів у природних водах. Концентрування йонів металів здійснюється попереднім електролізом на висячому ртутному краплинному електроді (стаціонарний ртутний електрод) або на твердих електродах (графітовий, ртутно-графітовий, скловуглецевий, платиновий, ртутносрібний тощо). Електроліз проводять при інтенсивному перемішуванні розчину протягом 30-40 хвилин при потенціалі катоду значно більш від'ємному, ніж потенціали полярографічних напівхвиль визначуваних йонів металів. При цьому досягається практично повне виділення та концентрування на катоді йонів визначуваних елементів у вигляді атомів нульового ступеня окиснення, твердих розчинів, хімічних або інтерметалічних сполук тощо. Після закінчення концентрування проводять електрохімічне (анодне) розчинення концентрату виділених металів з поверхні електроду шляхом поступового накладання на електрод змінного потенціалу і реєструють вольтамперну залежність. На полярограмі " $I_{\text{диф.}} - E$ " з'являються мінімуми, потенціали яких якісно характеризують природу металу, а глибина мінімумів пропорційна їх концентрації. Таким чином, інверсійна вольтамперометрія є одночасно методом концентрування та якісного визначення переважно полярографічно активних йонів металів і дозволяє проводити багатоелементний аналіз

Результатом будь-якого аналітичного вимірювання є одержання *аналітичного сигналу*. Аналітичний сигнал, який повинен бути адекватним вмісту визначуваного інгредієнта в об'єкті аналізу, вимірюють хімічними, фізико-хімічними або фізичними методами (методи – коротке визначення принципів, покладених в основу аналізу). Очевидно, що врахування їхніх аналітичних можливостей є суттєвим при виборі оптимального методу визначення певного інгредієнта або групи інгредієнтів. Хімічні та фізико-хімічні методи ґрунтуються на кількісному вимірюванні аналітичних сигналів, які виникають внаслідок хімічної реакції визначуваних компонентів з

неорганічними та органічними реагентами, або які є результатом окисно-відновних процесів на електродах. Поділ методів на хімічні та фізико-хімічні є досить умовним.

Запитання для самоперевірки.

1. Предмет аналітичної хімії, класифікація видів аналізу.
2. Класифікація методів аналізу.
3. Аналітичний сигнал в якісному і кількісному аналізі. Холостий дослід. Визначення вмісту компонента за величиною аналітичного сигналу.
4. Характеристики методів аналізу: чутливість, точність, межа визначення, діапазон вимірюваних концентрацій.
5. Мета якісного аналізу. «Мокрий» і «сухий» спосіб проведення якісних реакцій. Вимоги до аналітичних реакцій, які застосовуються в якісному аналізі.
6. Усунення впливу йонів, що заважають виявленню. Маскування.
7. Розділення осадженням. Систематичний та дробний аналіз. Аналітична класифікація катіонів і аніонів. Групові реагенти. Аналітичні групи.
8. Основні етапи аналізу будь-якого природного об'єкта.
9. Охарактеризуйте найважливіші стадії аналітичного процесу – відбір і підготовка проби.
10. Головні принципи, які слід враховувати при відборі проб з будь-якого об'єкту природного середовища.
11. Консервація проб. Найпоширеніші консерванти.
12. Порівняйте методи для виділення зависей у досліджуваних розчинах.

2. Хімія гідросфери

Вода – найбільш поширена та унікальна речовина на Землі. Всі її властивості аномальні та не мають переконливих пояснень. На сьогодні нараховують понад 20 характеристик, за якими воду з повним правом зараховують до аномальних рідин.

Гідросферою називають водну оболонку Землі, яка являє собою сукупність океанів, морів, озер, річок, водоймищ, боліт, підземних вод. Загальна кількість води на Землі складає 1366 млн км³ (табл. 2.1).

Вода, яка подається споживачу, повинна бути захищена від випадкового або систематичного забруднення. Якість води характеризується складом та властивостями. Існує декілька показників якості та складу води:

- ✓ бактеріологічні показники води (загальна кількість бактерій та кількість бактерій кишкової палички у 1 мл води);
- ✓ показники токсичних хімічних речовин (берилій, молібден, миш'як, нітрати, поліакриламід, свинець, селен, стронцій, радій);
- ✓ фізичні показники (запах, присмак, колір, мутність);
- хімічні показники.

Таблиця 2.1

Запаси води на Землі

Тип води	Об'єм, тис. км ³	Частка світових запасів, %	
		від загальних запасів води	від запасів прісної води
Світовий океан	1338000	96,50	—
Підземні води	23400	1,70	—
в т. ч. прісні	10530	0,76	30,10
Льодовики та сніжний покрив	24064,10	1,74	68,70
Підземні льодовики	300	0,022	0,86
Води озер	176,40	0,013	—
прісні	91,00	0,007	6,26
солоні	85,40	0,006	—
Води боліт	11,47	0,0008	0,03
Води у руслах рік	2,12	0,0002	0,006
Біологічна вода	1,12	0,0001	0,003
Вода атмосферна	12,90	0,001	0,04
Загальні запаси води	1385984,61	100,00	—
Прісні води	35029,21	2,53	100,00

Допустимі концентрації хімічних речовин, які потрапили у воду, не повинні перевищувати норми, встановлені Міністерством охорони здоров'я (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Допустимі концентрації у воді хімічних речовин

Показники	Норма, не більше
Сухий залишок	1000
Сульфати (SO_4^{2-})	500
Хлориди (Cl^-)	350
Залізо (Fe^{2+} , Fe^{3+})	0,3
Манган (Mn^{2+})	0,1
Мідь (Cu^{2+})	1,0
Цинк (Zn^{2+})	5,0
Поліфосфати (PO_4^{2-})	3,5
Твердість загальна, ммоль-екв/дм ³	7
Водневий показник рН	6,5 – 8,5
Окиснюваність (KMnO_4), мг/дм ³	4,0

Головні показники якості води:

- **Температура** – важливий чинник, що впливає на фізичні, хімічні, біохімічні і біологічні процеси, які відбуваються у воді, а також швидкість і глибину процесів очищення і знезаражування води. Від температури води в значній мірі залежать кисневий режим, інтенсивність окисно-відновних

процесів, активність мікрофлори тощо. Оптимальна температура води для питних цілей знаходиться в межах 7-11°C, гранично допустима – 35°C.

• **Вміст грубодисперсних домішок** (пісок, глина, мул, планктон) – це домішки, що зумовлюють каламутність води. Грубодисперсні домішки визначають гравіметричним методом після їх видалення шляхом фільтрування крізь фільтр «синя стрічка» (переважно для проб із прозорістю, меншою за 10 см), згідно з ГОСТ 18164-72.

• **Кольоровість**, яка зумовлена, головним чином, розчиненими гуміновими речовинами та сполуками заліза. Вимірюється в градусах за стандартною дихроматно-кобальтовою шкалою, згідно з ГОСТ 3351-74.

• **Смак і запах**. Смак і запах залежать від вмісту і складу розчинених неорганічних і органічних речовин. Якісна вода не повинна мати запаху. Запахи можуть бути природного (болотистий, торф'яний, рибний) і штучного (хлорний, залізистий) походження. Запахи води тісно пов'язані зі смаком. Розрізняють чотири основні смаки: солоний, гіркий, кислий, солодкий. Всі інші смакові відчуття називаються присмаками (хлорний, рибний, металевий тощо). Кількісну оцінку запаху, смаку і присмаку води проводять за п'ятибальною шкалою, згідно з ГОСТ 3351-74.

• **Водневий показник (рН)** – один з найважливіших показників якості вод. Величина концентрації йонів гідрогену має велике значення для хімічних і біологічних процесів, що відбуваються в природних водах. Від величини рН залежить розвиток і життєдіяльність водних рослин, стійкість різних форм міграції елементів, агресивна дія води на метали й бетон. рН води також впливає на процеси перетворення різних форм біогенних елементів, змінює токсичність забруднюючих речовин. Більшість природних незабруднених вод має рН 6,5-9. Величину рН вимірюють за допомогою рН-метра із скляним електродом. Залежність між активною реакцією води і вмістом у ній бікарбонатної та вільної вуглекислоти виражається рівнянням:

$$\text{pH} = 6,52 - \lg \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}, \quad (2.1)$$

де 6,52 – значення негативного логарифма константи дисоціації гідрогенкарбонату ($K = 3 \cdot 10^{-7}$);

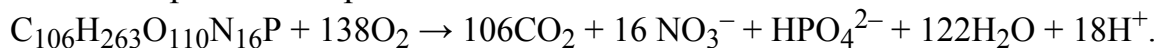
$[\text{CO}_2]$ – концентрація вільної вуглекислоти;

$[\text{CO}_3^{2-}]$ – концентрація гідрогенкарбонатної вуглекислоти.

Окиснюваність – це величина, що характеризує вміст у воді органічних і мінеральних речовин, що за певних умов окиснюються. Виражається цей параметр у міліграмах кисню, який витрачено на окиснення речовин, що містяться в 1 дм³ води. Для оцінки максимально можливої концентрації розчиненого кисню у воді за певної температури та відповідної константи Генрі для розчинення кисню, якщо частка кисню у повітрі (a) складає 0,21, його молекулярна маса (Mr) – 32 г/моль, а атмосферний тиск (P) – 101,3 кПа, необхідно застосовувати наступну формулу:

$$\text{C}(\text{O}_2)_{\text{aq}} = P \cdot 1000 \cdot a \cdot K_F \cdot Mr(\text{O}_2). \quad (2.2)$$

Під час фотосинтезу відбувається нарощування біомаси фітопланктону, і на розкладання 1 молекули фітопланктону необхідно 138 молекул кисню відповідно за рівнянням реакції:



Можна зробити висновок, що на окиснення кожного надлишкового кілограму фітопланктону витрачається 1,23 кг розчиненого кисню. Ця кількість кисню буде вилучатись з об'єму води водойми.

У практиці водоочищення для природних мало забруднених вод визначають **перманганатну** окиснюваність, а в більш забруднених водах – **дихроматну** окиснюваність, яка має також назву ХСК – «хімічне споживання кисню».

• **Біохімічне споживання кисню (БСК)** – кількість кисню в міліграмах, що потрібна для окиснення (розкладання) органічних речовин, які містяться в 1 дм³ води, в аеробних умовах, без доступу повітря і світла, при 20°C, за певний проміжок часу в результаті перебігу у воді біохімічних процесів окиснення. Одиниця вимірювання **БСК** – мгО₂/дм³. Для джерел централізованого господарсько-питного водопостачання, згідно з ДСТУ 17.1.3.03-77, повне **БСК** не повинне перевищувати 3 мг О₂/л, для водойм культурно-побутового використання – 6 мг О₂/л.

• **Лужність**, яка характеризує загальний вміст гідроксид-йонів та аніонів слабких кислот, головним чином гідрокарбонат-, карбонат-, ортофосфат-, сульфід-, силікат-йонів, аніонів гумінових кислот, які вступають у взаємодію з сильними хлоридною або сульфатною кислотами. Лужність визначається кількістю сильної кислоти, необхідної для нейтралізації 1 дм³ води. Лужність більшості природних незабруднених вод зумовлена гідролізом гідрокарбонатів кальцію і магнію, рН цих вод не перевищує 8,3. Загальна лужність є показником фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води і нормується в межах 0,5-6,5 мг-екв/дм³.

Твердість, яка характеризує загальний вміст йонів кальцію і магнію (ммоль/дм³) у воді. Твердість визначається за ГОСТ 4151-72. Розрізняють декілька видів твердості – загальну, усуну (або тимчасову), неусуну (або постійну), карбонатну, некарбонатну. Загальною твердістю називають загальну кількість йонів Ca²⁺ і Mg²⁺, виражену в міліграм-еквівалентах. Твердість, що відповідає кількості міліграм-еквівалентів гідрокарбонатів кальцію і магнію, називають *карбонатною*. Усунна твердість також обумовлена тими ж гідрогенкарбонатами Ca²⁺ і Mg²⁺, але на відміну від карбонатної визначається експериментально шляхом тривалого кип'ятіння, показуючи наскільки зменшилася загальна твердість після кип'ятіння. Неусунна і некарбонатна твердість обумовлені хлоридними, сульфатними, нітратними та іншими некарбонатними сполуками кальцію і магнію. За величиною загальної твердості води розрізняють:

- дуже м'які (до 1,5 мг-екв/дм³),
- м'які (1,5-3),

- помірно тверді (3-5,4),
- тверді 5,4-10,7
- дуже тверді (більше 10,7 мг-екв/дм³).

Для чисельного вираження твердості води вказують концентрацію у ній катіонів кальцію і магнію. На практиці для вимірювання твердості води частіше використовуються одиниці вимірювання – ммоль/дм³ або нормальна концентрація йонів кальцію і магнію, яку виражають у мг-екв/дм³. Один мг-екв/дм³ відповідає вмісту у 1 дм³ води 20,04 мг Ca²⁺ або 12,16 мг Mg²⁺ (розраховується шляхом ділення атомної маси на валентність).

Таким чином, загальну твердість можна розрахувати за формулами:

$$T_{\text{заг.}} = \frac{[Ca^{2+}]}{20,04} \cdot \frac{[Mg^{2+}]}{12,16}, \text{ ммоль-екв/дм}^3 \quad (2.3)$$

або

$$T_{\text{заг.}} = \frac{m_{\text{солі}}}{\frac{1}{2} \cdot M_{\text{солі}} \cdot V_{H_2O}} \cdot 1000. \quad (2.4)$$

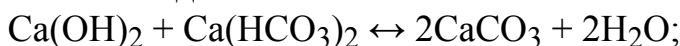
де [Ca²⁺], [Mg²⁺] – концентрація у мг/дм³ йонів кальцію та магнію відповідно;

M_{солі} – молярна маса солі кальцію або магнію, г/моль;

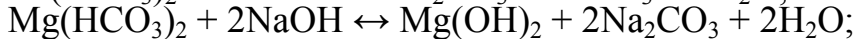
V_{H₂O} – об'єм води, л або дм³.

Основні методи усунення тимчасової твердості води:

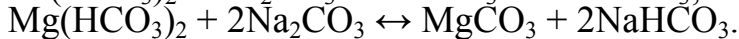
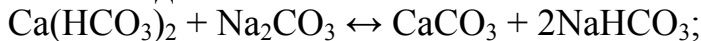
– вапняний метод



– натрієвий метод

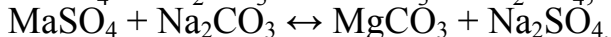
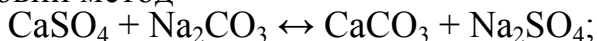


– содовий метод

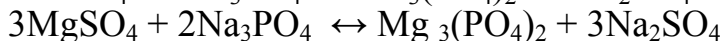
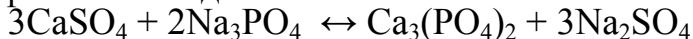


Основні методи усунення постійної твердості:

– содовий метод



– фосфатний метод



Загальна твердість є показником фізіологічної повноцінності питної води і нормується в межах 1,5-7,0 мг-екв/дм³.

• **Сухий залишок** – маса нелетких (за температури 110 і 180°C) мінеральних й органічних сполук, віднесена до одиниці об'єму води – визначається зважуванням осаду, отриманого при випаровуванні певного об'єму води й подальшому висушуванні. Величина сухого залишку використовується для контролю хімічних аналізів шляхом порівняння з обчисленою мінералізацією.

• **Загальна мінералізація** (солевміст, TDS – total dissolved solids) – сумарна маса розчинених твердих мінеральних речовин в одиниці об'єму води (мг/дм³, г/дм³, ‰), яка була розрахована за сумою результатів окремих визначень кожного йону, або за результатами вимірювання питомої електропровідності

води. Мінералізація обчислюється підсумовуванням вагових кількостей всіх речовин, визначених при хімічному аналізі.

Важкі метали. Досить поширеними важкими металами є кадмій, мідь, миш'як, нікель, ртуть, свинець, цинк, хром. Важкі метали мають мутагенну і токсичну дію, різко зменшують інтенсивність біохімічних процесів у водоймах.

Проблеми, пов'язані з гідросферою, зумовлені браком прісної води для потреб людства, а також її забрудненням, порушенням природних круговоротів та зменшенням продуктивності водних екосистем.

Природні води мають хімічний склад, що формується під дією численних абіогенних та біогенних чинників і може змінюватись у широких межах.

Фізичні чинники, що впливають на хімічний склад і біологічну продуктивність природних водойм:

1. *Температура*, зміна якої впливає на розчинність газів та багатьох сполук. Нагрівання сприяє гідролізу, прискоренню хімічних і біохімічних процесів, може спричинити гіпоксію та тепловий стрес у гідробіонтів.
2. *Освітленість* – важливий екологічний чинник, від якого залежить інтенсивність процесів фотосинтезу у водних рослин та водоростей, вміст вуглекислого газу і кисню, продуктивність водних екосистем.
3. *Окисно-відновний потенціал* характеризує співвідношення між окисниками і відновниками, вміст органічних сполук, кисню, інтенсивність розкладання органічних решток.
4. *Змішування води та швидкість течії* зумовлюють різну інтенсивність процесів самоочищення, поширення забруднювачів, вміст кисню тощо.

Хімічні чинники:

1. *Вміст розчинних газів* – CO_2 , O_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 , які надходять із повітря, утворюються у процесі життєдіяльності водних організмів та під час загнивання органічних решток.

2. *Концентрація розчинних сполук* характеризує мінералізацію води і класифікацію вод на групи:

- прісні води (масова частка розчинних сполук менше 1 г/кг води);
- солонуваті (масова частка розчинних сполук 1-25 г/кг води);
- солоні (масова частка розчинних сполук 25-50 г/кг води);
- розсоли (масова частка розчинних сполук більше 50 г/кг води).

Прісні води поділяються на:

- слабо мінералізовані (менше 200 мг/л розчинених сполук);
- середньо мінералізовані (200-500 мг/л розчинених сполук);
- сильно мінералізовані (500-1000 мг/л розчинених сполук).

Стічні води – це комунальні та промислові стоки населених місць (побутові, виробничі, дощові з вулиць, промислових майданчиків, районів усіх типів забудов), використані людиною і відведені після користування.

Запитання для самоперевірки.

1. Аномальні фізичні властивості води.
2. Аномальні біологічні властивості води.
3. Роль води в життєдіяльності людини.
4. Назвіть головні йони, що зумовлюють мінералізацію води.
5. Класифікація природних вод за О.А. Алекінім
6. Гідрохімічний індекс забруднення води (ІЗВ), його розрахунок та характеристика вод за цим індексом.
7. Інтегральні та індивідуальні показники якості води.
8. Головні показники якості води.
9. Фактори, які впливають на формування складу природних вод.
10. Основні нормативні документи якості питних вод, що діють в Україні.
11. Розшифруйте поняття ГДК та ЛД₅₀.
12. Хімічний склад поверхневих вод.
13. Вкажіть загальні та сумарні показники вмісту природних та антропогенних компонентів, що застосовуються при спостереженнях за забрудненням і станом водних систем
14. Що таке «кислотні опади» та чим вони зумовлені?
15. Підземні води.
16. Морські та океанські води.
17. Що таке кислотність води, присутністю яких сполук вона зумовлена?
18. Що таке лужність води, присутністю яких сполук вона зумовлена?
19. Що розуміють під загальною та вільною лужністю води?
20. Як визначають різні форми лужності?
21. Хімічний склад підземних вод. Основні відмінності у складі від поверхневих вод.
22. Хімічний склад океанських вод.
23. Хімічний склад морської води.
24. Солоність морських та океанських вод.
25. Основні вимоги до якості питних вод.
26. Пробовідбір. Види проб.
27. Порівняйте методи концентрування мікрокомпонентів у воді.
28. Консервація проб води.
29. Реагентні методи знезараження води
30. Основні особливості хлору.

3. Хімія ґрунтів

Під *ґрунтом* розуміється природно-історичне органо-мінеральне природне тіло, що виникло на поверхні Землі в результаті тривалого впливу біотичних, абіотичних і антропогенних факторів, що складається з твердих мінеральних і органічних часточок, води і повітря, і має специфічні генетично-морфологічні ознаки і властивості, що обумовлюють ріст і розвиток рослин.

Таким чином, ґрунт — багатофазова полідисперсна система. Вона складається з:

- **твердих часток (тверда фаза ґрунту)**, частка твердої фази складає 40-65% ґрунтової маси. Тверда фаза типового родючого ґрунту на 95% складається з неорганічних і на 5% – з органічних сполук.
- **води (ґрунтового розчину)** – це рідка фаза ґрунту, що існує в природних умовах.
- **ґрунтового повітря** до 35% об'єму ґрунту звичайно займає ґрунтове повітря. Ґрунтове повітря відрізняється від атмосферного вищим вмістом карбон(IV) оксиду (переважно від 0,1 до 2-3%), а в торф'яних ґрунтах на глибині 20-30 см концентрація карбон(IV) оксиду досягає 10-12%(об.). Вміст кисню в повітрі верхнього шару ґрунту (товщиною 20 м) 1,5% нижче його концентрації в атмосферному повітрі. У ґрунтовому повітрі можуть утримуватися гідроген сульфід, метан, нітроген(III) оксид та органічні сполуки (вуглеводні, спирти, ефіри, альдегіди).
- **живої фази ґрунту** – це організми, що його населяють і беруть участь у процесі ґрунтоутворення. До них відносяться численні мікроорганізми (бактерії, актиноміцети, гриби, водорості), представники ґрунтової мікро- і мезофауни (найпростіші, комахи, черв'яки та ін.), кореневі системи рослин.

Для типових ґрунтів характерно наступне співвідношення мас твердої (Т), рідкої (Р) і газової (Г) фаз:

$$Т:Р:Г = 2:1:1.$$

Товщина ґрунтового покриву становить від 15-20 см до 2-3 м. Найважливіша особливість ґрунту – родючість, тобто забезпечення рослин усім необхідним для їх росту і розвитку. Усі процеси, що відбуваються у ґрунті, тісно взаємопов'язані. Оптимальною є щільність ґрунту 1 г/см³; вже при щільності 1,4 г/см³ погіршуються умови для росту коріння, газо- і водообміну, існування риючих тварин.

Однією з особливостей ґрунтів є *наявність у них великого набору хімічних елементів*. Усі види ґрунтів відрізняє високий вміст Карбону і Силіцію, що, безумовно, пов'язано з процесом ґрунтоутворення. Також ґрунт збагачений Оксигеном, Нітрогеном, Фосфором, Сульфуром, тобто біогенними елементами, які накопичуються в результаті діяльності живих організмів. Такі елементи, як Al, Fe, Mg, K, Na, практично успадковані ґрунтами від ґрунтоутворюючої породи. Поряд із перерахованими макроелементами, в ґрунтах у дуже невеликих кількостях (тисячні частки відсотка) присутні розсіяні елементи і мікроелементи, однак вони надзвичайно важливі для життєдіяльності рослин. Валовий вміст цих елементів переважно пов'язаний із вмістом у ґрунті первинних мінералів, почасти глинистих мінералів і органічної речовини. Хімічний склад ґрунту варіює з глибиною та впливає на їхню родючість як безпосередньо, так і визначаючи ті або інші властивості ґрунту, що мають вирішальне значення в житті рослин.

Окрім елементів, у ґрунті наявна вода, гази та органічні речовини. На сьогодні органічною речовиною ґрунту називають усю сукупність органічних сполук, що є присутніми у ґрунті, за винятком речовин, що входять до складу

живих організмів. Всі органічні речовини ґрунту за своїм походженням, характером і функціями поділяються на дві групи:

1. Органічні рештки тварин і рослин, які не втратили вихідної анатомічної будови.

2. Гумус – частина органічної речовини ґрунту, що складається з сукупності специфічних і неспецифічних органічних речовин ґрунту, за винятком сполук, що входять до складу живих організмів і їхніх рештків. У складі гумусу виділяють три групи сполук:

специфічні гумусові речовини,

неспецифічні органічні сполуки;

проміжні продукти розпаду і гуміфікації.

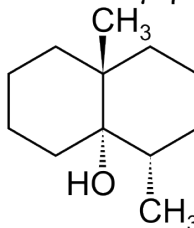
За вмістом гумусу ґрунти поділяють на два типи:

- ✓ *чорноземи* – містять 7-10% гумусу;
- ✓ *підзолисті ґрунти* – до 2-3% гумусу.

Гумус містить воду та біогенні елементи, розкладаючись щороку на 20-50% залежно від умов, підвищує вбираючу здатність та буферну ємність ґрунту, регулює рН, створюючи оптимальні умови для росту рослин.

Карбон(IV) оксид утворюється у ґрунті під час дихання живих організмів та розкладання органічних решток; частина його виділяється в атмосферу, інша поглинається корінням рослин та використовується у процесі фотосинтезу для створення біомаси; CO₂ збільшує розчинність солей і доступність їх для живлення рослин. Коріння рослин виділяють у ґрунт не лише CO₂, а й численні органічні сполуки, зокрема кислоти, що впливають на рН ґрунтового розчину.

За характерний «земляний» запах ґрунту відповідає органічна сполука *геосмін*, яка виробляється низкою мікроорганізмів. Хімічно, геосмін є біциклічним спиртом (формула – C₁₂H₂₂O), похідним від декаліну. Назва походить від грецьких слів *γεω* – земля та *ὀσμή* – запах:



Рідка фаза є найважливішою складовою частиною переважної більшості ґрунтів. Просторово вода та інші рідини знаходяться у ґрунтах завдяки наявності у них всіляких порожнин (тріщин, пор, каналів тощо), які займає вода або інші рідини завдяки своїй високій рухливості. За хімічним складом рідини, що знаходяться у ґрунті можна поділити на **неорганічні, органічні та суміші**, включаючи також і емульсії.

Серед **неорганічних рідин** у ґрунтах найбільше значення має *вода* – найбільш розповсюджена речовина на Землі.

Органічні речовини у ґрунтах – це рідкі вуглеводні (бензин, керосин тощо), бітуми та смоли, що формуються техногенним шляхом.

Суміші рідин у ґрунтах, в основному, представлені нафтою, яка є складною сумішшю рідин, газових вуглеводнів і твердих речовин – парафінів і церезинів.

Емульсії у ґрунтах становлять собою суміші двох та більше рідин, що не змішуються. У ґрунтах найбільшого розповсюдження набули водно-нафтові емульсії, що формуються на контакті нафти і водоносних горизонтів або при нафтовому забрудненні ґрунтів (витікання нафти, нафтопродуктів тощо).

Хімічний склад і концентрація ґрунтового розчину зумовлює живлення і ріст рослин. При високому вмісті солей рослини втрачають тургор (вода виходить з капілярів коренів рослин у ґрунт); висока концентрація катіонів Ca^{2+} стримує надходження у рослину K^+ та PO_4^{3-} і сприяє засвоєнню NH_4^+ ; зниження рН погіршує ріст коріння, зменшує поглинання поживних речовин, пригнічує синтез білків і цукру; при високому рН сповільняється поглинання фосфат-йонів, збільшується засвоєння катіонів.

Підвищення температури від 10°C до 25°C збільшує надходження поживних речовин; при охолодженні ґрунту нижче за 10°C уповільнюється поглинання рослинами у першу чергу сполук Нітрогену і Фосфору.

Найбільш типовими компонентами ґрунтових розчинів, концентрації яких значно перевершують концентрації інших йонів, є катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ ; в сильноокислих ґрунтах можуть бути Al^{3+} , Fe^{3+} у заболочених – Fe^{2+} . Серед аніонів переважають: HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , H_2PO_4^- .

Кислотно-основні властивості ґрунтових розчинів визначають агресивність ґрунтів. Всі ґрунти характеризуються певною **кислотністю**, під якою розуміють властивість ґрунту, яка обумовлена його хімічним складом, активністю й розподілом йонів H^+ . Універсальним показником кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) є величина рН, що являє собою десятковий логарифм активності йонів a_{H^+} , взятий зі зворотнім знаком, тобто

$$- \text{pH} = \lg a_{\text{H}^+}. \quad (3.1)$$

Символ рН дозволяє виразити a_{H^+} у кислому та лужному середовищі, тобто представити a_{H^+} у межах від 10^0 до 10^{-14} .

Загальна кислотність ґрунтового розчину обумовлена сумою дисоційованих йонів H^+ (*актуальна кислотність*) та фіксованих йонів H^+ (*потенційна кислотність*). Збільшення концентрації йонів H^+ призводить до зниження величини рН, й навпаки, коли концентрація йонів H^+ зменшується, величина рН зростає. Для зниження кислотності ґрунту застосовують різні мінерали, але найбільш поширені осадові породи, що містять кальцит CaCO_3 та доломіт $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. З хімічної точки зору кальцит є кращим засобом для зниження кислотності ґрунту.

Навпаки, при засоленні (підвищенні кислотності) ґрунтів та утворенні солонців (солонцевих ґрунтів) у цілях меліорації використовують гіпсування ґрунту. При розчиненні гіпсу у ґрунтовий розчин потрапляє Ca^{2+} , котрий заміщує Na^+ у ґрунтовому поглинаючому комплексі, у результаті чого покращуються хімічні та фізичні властивості ґрунтів. Кількість гіпсу розраховують за формулою:

$$D = 0,086 \cdot (m - 0,05 \cdot E) \cdot H \cdot d, \quad (3.2)$$

де m – вміст обмінного Na^+ (мг-екв/100 г ґрунту);

E – ємкість поглинання катіонів, $E = S + H_g$;

H – глибина орного шару, см;

d – об'ємна маса ґрунту (г/см^3);

0,086 – значення 1 мг-екв гіпсу, г;

0,05 – коефіцієнт пропорційності (при розрахунках кількості гіпсу припускають, що до 5 % обмінного натрію від ємкості поглинання залишається у ґрунті, так як саме ця кількість натрію не чинить негативної дії на властивості ґрунту).

Ступінь засолення ґрунтів визначається за загальним вмістом солей у водній витяжці з урахуванням їх видового складу, або за формулою:

$$\alpha = \frac{m}{S} \cdot 100, \quad (3.3)$$

де α – ступінь засолення ґрунтів, %.

Радіонукліди мігрують як по поверхні ґрунту, так і вглиб.

Співвідношення між шляхами міграції зумовлене кліматичними умовами, сорбційними властивостями ґрунтів, діяльністю ґрунтових мікроорганізмів, розчинністю радіонуклідів, ступенем засвоєння рослинами.

Повітряна фаза – найбільш мобільна складова частина ґрунтів, мінливість якої відображає біологічні та біохімічні процеси ґрунтотворення. Фізичні характеристики газів різко відрізняються від аналогічних параметрів твердої й рідкої фази ґрунту, тому кількість і склад ґрунтового повітря істотно впливають на розвиток і функціонування рослин і мікроорганізмів, розчинність і міграцію хімічних сполук, інтенсивність і спрямованість ґрунтових процесів. Найбільш суттєво від вмісту газової фази залежать фізичні властивості – щільність, проникність, теплофізичні параметри (теплопровідність, теплоємність тощо), а також фізико-механічні властивості.

Фізичні властивості ґрунтів

Фізичні властивості ґрунтів – це характеристики їхнього фізичного стану в природному заляганні та при взаємодії з інженерними спорудами, які дозволяють якісно оцінювати їхню міцність та деформування.

1. Тверда фаза

Основні фізичні властивості, такі як *щільність* і *пористість*, характеризують стан ґрунту та є основою прогнозування фізико-механічних показників властивостей ґрунтів, які використовують під час проектування інженерних споруд.

Щільність – це фізична властивість ґрунтів, яка кількісно оцінюється величиною відношення їхньої маси до об'єму, що вони займають. Вона є постійною величиною для даного ґрунту (матеріалу, речовини).

Використовують такі основні характеристики щільності – *щільність ґрунту*, *щільність твердих часток ґрунту*, *щільність скелету ґрунту*.

Щільність ґрунту ρ , (г/см^3 , кг/м^3), або **щільність вологого ґрунту** – це маса одиниці об'єму ґрунту з природною вологістю та з непорушеною будовою:

$$\rho = m / V, \quad (3.4)$$

де m – маса ґрунту, г;

V – об'єм ґрунту, см^3 .

Величина щільності ґрунту залежить від мінерального складу, вологості та характеру будови (пористості) ґрунту.

Щільність твердих часток ґрунту ρ_s , (г/см^3 , кг/м^3) – це відношення маси твердої компоненти ґрунту до об'єму, який вона займає:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}, \quad (3.5)$$

де m_s – маса твердої фази ґрунту, г;

V_s – об'єм твердої фази ґрунту, см^3 .

Величина щільності твердих часток ґрунту визначається мінеральним складом, наявністю органічної й органо-мінеральної речовини та являє собою середньозважену щільність цих компонент ґрунту за відсутністю порожнин і вологи.

Щільність скелету ґрунту ρ_d (г/см^3 , кг/м^3) – це маса твердої компоненти ґрунту в одиниці об'єму з природною (непорушеною) будовою. Визначають експериментально або найчастіше розраховують за величинами щільності ґрунтів та вагової вологості за формулою:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \quad (3.6)$$

де ρ – щільність ґрунту, г/см^3 ;

W – вагова вологість ґрунту, ч. од.

Щільність скелету висушеного ґрунту ρ_d (г/см^3 , кг/м^3) – це маса одиниці об'єму ґрунту висушеного за температури 105°C . Вона характеризує максимально щільну будову ґрунту, що може бути досягнуто в процесі його висушування до постійної маси.

Під **пористістю ґрунтів** розуміють наявність у них дрібних порожнин. Показники, що характеризують пористість ґрунтів, є одними із найважливіших для них, тому що дозволяють прогнозувати їхні *міцнісні й деформаційні властивості*, а також часто є *класифікаційними показниками*.

Пористість використовують в якості допоміжної характеристики під час вибору розрахункового опору ґрунту, при побудові компресійної кривої, при розрахунку характеристик стисливості, при обчисленні водопроникності та багатьох інших показників властивостей ґрунтів.

Пористість також визначає фізичні властивості ґрунтів – швидкість розповсюдження пружних хвиль, міцність та стисливість, електричні, теплофізичні та інші параметри.

Кількісно **пористість ґрунтів n** (%) виражають як відношення об'єму порожнин (пор) ґрунту (V_n) до загального об'єму ґрунту (V):

$$n = \frac{V_n}{V}, \quad (3.7)$$

Величина пористості ґрунтів також може бути виражена як відношення ваги води, що повністю заповнює пори ґрунту, до ваги абсолютно сухого ґрунту (*вагова пористість*).

Крім того, пористість ґрунту може характеризуватися відношенням об'єму порожнин (пор) ґрунту (V_n) до об'єму твердої фази ґрунту (V_s) – ця величина носить назву *коефіцієнт пористості ґрунту e* й вимірюється у ч. од.:

$$e = \frac{V_n}{V_s}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт пористості також можна розрахувати через характеристики щільності ґрунту:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1. \quad (3.9)$$

Через коефіцієнт пористості можна виразити пористість і об'єм твердої компоненти ґрунту в одиниці об'єму ґрунту:

$$n = \frac{e}{1+e}; V_s = \frac{1}{1+e}. \quad (3.10)$$

Теоретично пористість ґрунту може змінюватися від нуля (пори відсутні) до одиниці (скелет відсутній). Відповідно коефіцієнт пористості ґрунту змінюється від нуля (пори відсутні) до нескінченності (скелет відсутній).

Пористість і коефіцієнт пористості є показниками ємнісних властивостей ґрунту, тому що пори є простором, ємностями (за рахунок впливу капілярних сил) для інших фаз ґрунту (рідкої та газової). Розрізняють три види пористості – *загальну (фізичну) n , відкриту n_B та закриту n_3* , пов'язані між собою такою залежністю:

$$n = n_B + n_3. \quad (3.11)$$

Відкрита пористість ґрунту обумовлена сполученими порами, *закрита* – ізольованими порами, а *загальна* – враховує обидва види пор. *Відкрита пористість* обумовлює *транспортні властивості ґрунту* – його здатність пропускати через себе рідини або газу. *Закрита пористість* у процесах перенесення речовини прямої участі не бере.

Загальна і відкрита пористість залежать від глибини залягання ґрунтів (зі збільшенням глибини зменшується), від щільності ґрунту, від кількості цементу тощо.

Величина пористості коливається у дуже широких межах залежно від типу ґрунтів. Найбільшою пористістю наділені пухкі дисперсні утворення. Пористість торфів складає в середньому 60-90%, глинистих відкладів 35-50%, крупноуламкових і піщаних порід 30-45%. Відносно висока пористість є характерною для добре відсортованих пісковиків (25-30%), крейди (30-45%), опок (35-50%), туфів (25-60%), трахітів (15-40%), андезитів і базальтів (2-30%). Пористість карбонатних порід, залежно від їхньої глинистості й характеру цементації, коливається у межах від 0,5 до 30%. Низька пористість (0,1-3%) притаманна для незмінених вивітрюванням метаморфічних і магматичних (в основному інтрузивним) порід.

Однією з найважливіших характеристик ґрунту є *гранулометричний (зерновий) склад* – це вміст за масою груп первинних часток (фракцій) ґрунту різної величини, виражений у відсотках по відношенню до загальної маси

взятої для аналізу наважки повітряно-сухого ґрунту. Гранулометричний (зерновий) склад характеризує *граничну дисперсність ґрунту*, він є постійним для даного ґрунту й тому є його найважливішою класифікаційною ознакою.

Від гранулометричного складу залежать такі важливі характеристики властивостей і стану ґрунту, як пластичність, пористість, опір зсуву, стисливість, зсідання, набрякання, висота капілярного підняття, водопроникність тощо.

З метою визначення гранулометричного складу ґрунту виконується гранулометричний аналіз, сутність якого полягає в розчленовуванні ґрунту на групи із близькими за величиною частками (фракціями). Розмір часток (фракцій) зазвичай визначають за діаметром й виражають у міліметрах. У наш час розроблено багато способів гранулометричного аналізу ґрунтів, які можна об'єднати в 4 основні групи:

візуальний спосіб, який полягає у порівнянні на око або за допомогою лупи ґрунту, що досліджується, з еталонами, склад яких відомий;

ситовий спосіб розсіювання ґрунту на ситах;

центрифугування, засноване на різній швидкості осадження часток ґрунту різної крупності відцентровою силою, що розвивається при обертанні центрифуги;

гідравлічні способи (седиментаційні), засновані на розбіжності швидкості падіння у воді часток різної крупності.

В цілому, технологія визначення гранулометричного складу тонкодисперсних ґрунтів в Україні й за кордоном є практично однаковою, розбіжності полягають лише у розмірах отворів сит, що застосовують для ситового аналізу, та інтерпретації отриманих результатів.

Перед початком аналізу проб ґрунту, при розподілі проб на фракції, їх підготовляють у такий спосіб:

- для виділення часток розміром більше ніж 0,1 мм – розтиранням ґрунту;
- для виділення часток розміром менше ніж 0,1 мм – розмочуванням, кип'ятінням у воді з додаванням амоніаку та розтиранням ґрунту;
- для проб ґрунту, суспензія яких коагулює при випробуванні на коагуляцію, розтиранням ґрунту й додаванням натрій пірофосфату.

Для визначення гранулометричного складу ґрунтів беруть зразки, висушені до повітряно-сухого стану й розтерті в порцеляновій ступці товкачиком із гумовим наконечником. Допускається розтирати зразки ґрунту в розтиральній машині, що не викликає подрібнення часток.

Зважувати проби ґрунту на лабораторних технічних вагах необхідно з похибкою до 0,01 г, а при вазі проб ґрунту 1000 г та більше зважування допускається робити з похибкою до 1 г.

Зважування на лабораторних аналітичних вагах повинно проводитись із похибкою до 0,001 г. Результати обчислення гранулометричного складу ґрунтів мають визначатися з похибкою до 0,1%.

Існує декілька форм зображення результатів гранулометричного і мікроагрегатного аналізів ґрунтів – у формі таблиць; графічно у вигляді інтегральних (кумулятивних) чи диференціальних кривих вмісту часток,

гістограм розподілу часток за фракціями, а також у вигляді кругових циклограм і трикутних діаграм. З перерахованих способів графічного зображення результатів гранулометричного та мікроагрегатного аналізів у ґрунтознавстві найдоцільніше використовувати *циклограми, трикутні діаграми (трикутник Феррє) та інтегральні (кумулятивні) криві*.

Циклограма (кругова діаграма) (рис. 3.1). Площа круга, окреслена довільним діаметром, розбивається на сектори, довжини дуг яких пропорційні вмісту кожної фракції. Площі секторів зафарбовуються або заштриховуються відповідно до прийнятих умовних позначок.

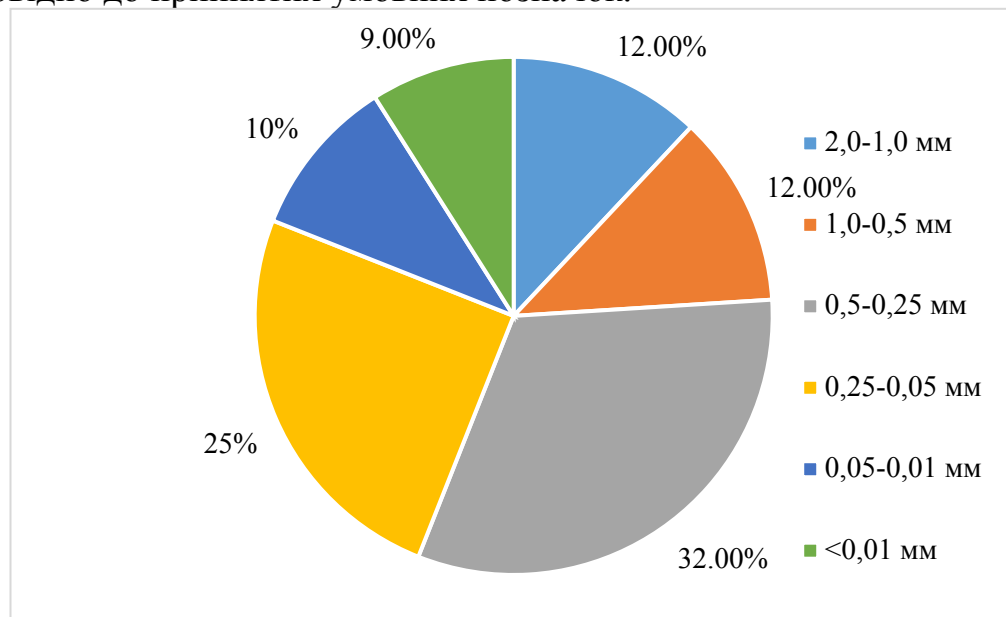


Рис. 3.1. Циклограма результатів гранулометричного аналізу складу ґрунту

Біля кожної дуги зовні вказується відсотковий вміст відповідної фракції (див. рис. 3.1). За допомогою циклограм можна відобразити результати лише одного гранулометричного аналізу, що є досить незручним при обробці великої кількості гранулометричних аналізів.

Діаграма-трикутник. Для зображення великої кількості результатів гранулометричних аналізів зручно користуватися *трикутником Феррє* (рис. 3.2).

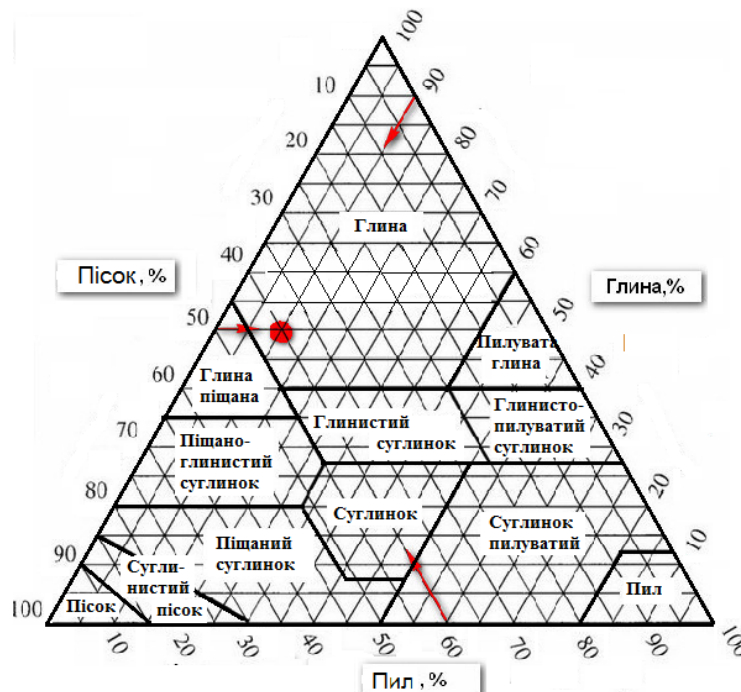


Рис. 3.2. Трикутник Ферре: а – вміст піщаних часток з діаметром $2 \div 0,05$ мм; б – вміст пилуватих часток з діаметром $0,05 \div 0,005$ мм; в – вміст глинистих часток з діаметром $< 0,005$ мм

- ґрунт, що вміщує 50% піску, 60% пилу, 90% глини (глина)

Цей спосіб дозволяє зображувати вміст не всіх фракцій ґрунту, а лише трьох його основних груп – піщаної (діаметр $2 \div 0,05$ мм), пилуватої (діаметр $0,05 \div 0,005$ мм) та глинистої (діаметр $< 0,005$ мм).

Щоб зобразити результати гранулометричного аналізу складу ґрунту за допомогою трикутника Ферре, насамперед необхідно попередньо підготувати такий трикутник. Залежно від того, які ґрунти аналізуються (піщані чи глинисті), по боках трикутника показують спочатку можливий відсотковий вміст фракцій, розділивши кожний бік трикутника на 10 рівних відрізків від 0 до 100%. При цьому розподіл проводять у напрямку проти годинникової стрілки і наносять у такому ж напрямку значення фракцій.

Для глини в основі трикутника – вміст пилуватих фракцій ($0,05 \div 0,005$ мм), потім глинистих фракцій ($< 0,005$ мм) і потім піщаних фракцій ($2 \div 0,05$ мм) (див. рис.2).

Для пісків в основі трикутника – вміст крупнозернистих фракцій ($2 \div 1$ мм), потім дрібнозернистих фракцій ($0,5 \div 0,05$ мм) і середньозернистих фракцій ($1 \div 0,5$ мм).

Перетинання 3 ліній, які відповідають відсотковому вмісту 3 фракцій, що досліджуються, й дає точку, яка відображає гранулометричний склад ґрунту. Потім за положенням точки, що зображує результат одного аналізу, можна відразу визначити найменування ґрунту. Трикутник може бути розбитий на окремі ділянки, у межах яких розташовані точки, що відповідають певним групам ґрунтів за їхнім гранулометричним складом, наприклад, глина; субпісок важкий тощо. Спосіб зображення результатів гранулометричного

аналізу складу ґрунту за допомогою трикутника Ферре є достатньо грубим, але дозволяє наносити на одне креслення дуже велику кількість аналізів.

Найчастіше гранулометричний склад ґрунту графічно зображують у вигляді **інтегральних кривих**. Інтегральна крива – це графік, що відображає сумарний вміст фракцій, дрібніших за певний діаметр (рис. 3.3).

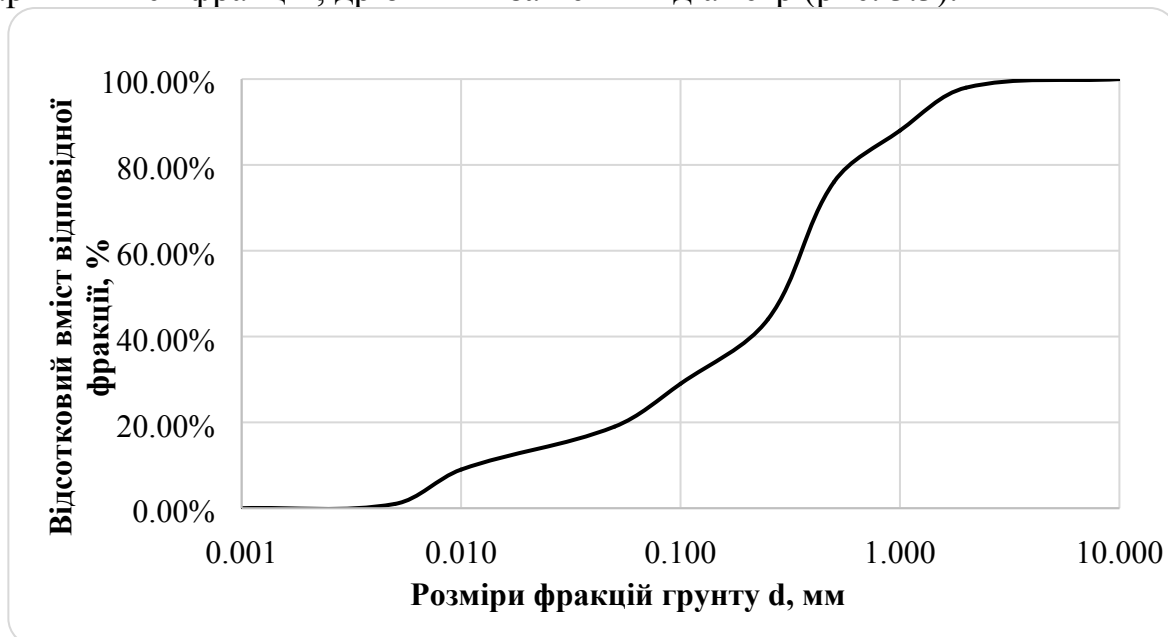


Рис. 3.3. Інтегральна крива гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі

Форма кривих на цих графіках відображає всі особливості розподілу часток у ґрунті за розмірами, включаючи і його відсортованість. Нерівномірний (або рівномірний) вміст різних фракцій у ґрунті характеризується його неоднорідністю або відсортованістю. Інтегральні криві можуть бути побудовані у звичайному масштабі (див. рис. 3.3) або в напівлогарифмічному масштабі, що дозволяє наносити вміст дрібних фракцій з достатньою точністю, не подовжуючи криву по осі абсцис. Пологий характер інтегральних кривих свідчить про погану відсортованість ґрунту, а крутий нахил – про добру.

Для номенклатурної класифікації структурних елементів і фракцій твердої компоненти дисперсних ґрунтів використовується загальна класифікація (табл. 3.3), яка широко застосовується у сучасному ґрунтознавстві. При її розробці особлива увага була приділена обґрунтуванню меж вмісту глинистих, пилуватих, піщаних і гравійних часток, тому що з ними зв'язано виділення основних петрографічних типів осадових порід: глин, лесів, пісків, аргілітів, алевролітів, пісковиків та великоуламкових порід.

2. Рідка фаза.

Кількісний вміст рідкої фази ґрунтів може оцінюватися **об'ємною** та **ваговою вологістю**.

Вологістю називають кількість води, що міститься у порах і тріщинах ґрунту в природному стані. **Величина природної вологості** є важливою характеристикою фізичного стану ґрунту, яка визначає його міцність та поведінку під дією навантажень від інженерних споруд. Виняткове значення

має вологість для глинистих ґрунтів, які різко змінюють свої властивості залежно від ступеня їхньої зволоженості.

Таблиця 3.3

Класифікація структурних елементів і фракцій твердої компоненти
дисперсних ґрунтів

Елементи ґрунту	Фракції	Розмір фракцій, мм
Валуни (брили)	Крупні	> 800
	Середні	400-800
	Дрібні	200-400
Галька (щебінь)	Крупні	100-200
	Середні	60-100
	Дрібні	10-60
Гравій (жорства)	Крупні	5-10
	Дрібні	2-5
Піщані частки	Грубі	1-2
	Крупні	0,5-1
	Середні	0,25-0,5
	Дрібні	0,10-0,25
	Тонкі	0,05-0,10
Пилуваті частки	Крупні	0,01-0,05
	Дрібні	0,002-0,01
Глинисті частки	-	< 0,002

Природна вологість є дуже важливим опосередкованим показником, який використовують при розрахунках щільності ґрунту, його пористості, ступеня вологості та інших характеристик. Максимальний вміст рідкої фази (значення природної вологості) притаманний торфам – до 33 ч. од. (або 33%) та більше.

Об'ємна вологість (W_n), або об'ємний вміст рідини, що чисельно дорівнює відношенню об'єму води (рідини) у ґрунті (V_w) до об'єму всього ґрунту (V_{tot}), включаючи об'єми води та газу:

$$W_n = \frac{V_w}{V_{tot}} \quad (3.12)$$

Величина об'ємної вологості вимірюється у відсотках (%) або у частинах одиниці (ч. од.) й може змінюватись від нуля для абсолютно сухого ґрунту до 100% (до 1 ч. од.) для повністю водонасиченого ґрунту.

Вагова вологість (W), або ваговий (масовий) вміст рідини, що чисельно дорівнює відношенню маси води (рідини) у ґрунті (m_w) до маси сухого ґрунту (m_d):

$$W = \frac{m_w}{m_d} \quad (3.13)$$

Величина вагової вологості також вимірюється у відсотках (%) або у частинах одиниці (ч. од.), але на відміну від об'ємної вологості має лише нижню границю - 0% (для абсолютно сухого ґрунту). Вагова та об'ємна вологість пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$W_n \times \rho_w = W \times \rho_d, \quad (3.14)$$

де ρ_d – щільність скелету ґрунту, г/см³;

ρ_w – густина води, г/см³.

Важливою характеристикою є **відносна вологість або ступінь вологості (або коефіцієнт водонасичення) ґрунту S_r** , яка характеризує відносну частину заповнення пор водою (рідиною) у даному ґрунті. Її величина чисельно дорівнює відношенню об'єму води або рідини (V_w) до об'єму пор ґрунту (V_n):

$$S_r = \frac{V_w}{V_n} = \frac{m_w}{\rho_w \cdot V_n} = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}, \quad (3.15)$$

де e – коефіцієнт пористості, ч. од.;

ρ_s – щільність часток ґрунту, г/см³;

ρ_w – густина води, г/см³.

Величина ступеня вологості ґрунту S_r вимірюється у частинах одиниці (ч. од.) або у відсотках (%) і може змінюватись від 0 (у випадку абсолютно сухого ґрунту) до 1 (або 100%) при повному насиченні пор ґрунту. В окремих випадках значення S_r може бути більше 1 за рахунок того, що при визначенні вагової вологості при температурі 105÷107°C з ґрунту видаляється не тільки вода, що знаходиться в його порах, але й частина води, що входить до складу породоутворюючих мінералів (монтморилоніт, гіпс тощо), а також деяких органічних домішок.

Ступінь вологості (або коефіцієнт водонасичення) ґрунту S_r є класифікаційним показником для дисперсних незв'язних ґрунтів

3. Повітряно-фізичні властивості ґрунтів (газова фаза)

Повітряно-фізичними властивостями ґрунтів називається сукупність ряду фізичних властивостей ґрунтів, що визначають стан і поведінку ґрунтового повітря в профілі. Найбільш важливими з них є *повітроємність (загальна, капілярна і некапілярна або пористість аерації), повітровміст, повітропроникність, повітрообмін або аерація*.

Вміст газової фази у ґрунті оцінюється його *газоносністю та повітроємністю*.

Газоносністю називають загальну кількість вільних і адсорбованих газів, що містяться в одиниці маси або об'ємі ґрунту в природних умовах. Вона залежить від багатьох факторів, насамперед від пористості й сорбованої здатності ґрунту, а також від виду газу та зовнішнього тиску. Наприклад, 1 см³ вугілля за нормальних умов може сорбувати 7-8 см³ метану або до 18 см³ вуглекислого газу.

Виділяють два показники газоносності: *об'ємну та масову*.

Об'ємна газоносність (Γ_v) характеризує загальний вміст вільних і адсорбованих газів в одиниці об'єму ґрунту (V_{tot}) та чисельно дорівнює об'єму газу, що міститься в 1 см³ ґрунту за даних умов (при температурі 20°C та тиску 1 атм):

$$\Gamma_v = \frac{V_\Gamma}{V_{tot}}, \quad (3.16)$$

де V_Γ – об'єм газу, що знаходиться у порах ґрунту;

V_{tot} – об'єм ґрунту.

Величина Γ_v вимірюється у см³/см³ або м³/м³.

Масова газоносність (Γ_m) характеризує загальний вміст вільних і адсорбованих газів в одиниці маси ґрунту (m) та чисельно дорівнює об'єму газу, що міститься в 1 г ґрунту за даних умов (за температури 20°C та тиску 1 атм):

$$\Gamma_m = \frac{V_\Gamma}{m}, \quad (3.17)$$

де V_Γ – об'єм газу, що міститься у порах ґрунту;
 m – маса ґрунту.

Величина Γ_m вимірюється у $\text{см}^3/\text{г}$ або $\text{м}^3/\text{т}$.

Газовміст ґрунту (Γ) характеризує відносний об'єм газу, який знаходиться у порах ґрунту. Він чисельно дорівнює відношенню об'єму газу, що знаходиться у порах ґрунту, до об'єму всього ґрунту:

$$\Gamma = \frac{V_n}{V_{\text{tot}}} \cdot 100\%, \quad (3.18)$$

де V_Γ – об'єм газу, що міститься у порах ґрунту;
 V_{tot} – об'єм ґрунту.

Величина Γ вимірюється у %, вона залежить від вологості й змінюється від нуля (при відсутності газів і повному водонасиченні) до величини, що відповідає пористості даного ґрунту (при повному заповненні пор повітрям).

Повітроємність ґрунту (B) називається величина максимального газовмісту даного ґрунту, яка відповідає його пористості та яка визначається при повному заповненні всіх пор газом (відсутність води). Величина B вимірюється у %, чисельно вона дорівнює пористості ґрунту.

Для оцінки ступеня заповнення пор газом використовують **коефіцієнт повітровмісту** або **коефіцієнт аерації (G_Γ)**, що дорівнює об'єму газу, що знаходиться у порах ґрунту (V_Γ), до загального об'єму пор ґрунту (V_n):

$$G_\Gamma = \frac{V_\Gamma}{V_n}. \quad (3.19)$$

Величина G_Γ вимірюється в частинах одиниці й змінюється від нуля (при відсутності газів у порах ґрунту) до 1 (при повному насиченні пор газом). Якщо у порах ґрунту крім повітря знаходиться ще й вода, то коефіцієнт аерації G_Γ розраховують, використовуючи значення ступеня вологості ґрунту S_r за формулою:

$$G_\Gamma = 1 - S_r, \quad (3.20)$$

Запитання для самоперевірки.

1. Основні фази ґрунту.
2. Які хімічні елементи переважають у ґрунті?
3. Як впливає хімічний склад ґрунтів на ґрунтоутворення?
4. Порівняйте вміст Карбону у ґрунтах і літосфері та визначте причину розбіжності.
5. Опишіть основні мікроелементи, що зустрічаються в ґрунтах, їх значення для живлення рослин.
6. Назвіть основні горизонти ґрунтового профілю.
7. Силіцій, Алюміній та їх сполуки у ґрунтах.
8. Ферум, Манган та їх сполуки у ґрунтах.

9. Кальцій, Магній та їх сполуки у ґрунтах.
10. Калій, Натрій та їх сполуки у ґрунтах.
11. Карбон, Нітроген та їх сполуки у ґрунтах.
12. Сульфур, Фосфор та їх сполуки у ґрунтах.
13. Типи зв'язків у твердій фазі ґрунту
14. Особливості та підрозділ твердої фази ґрунту за мінералогічним складом.
15. Органічна речовина ґрунту.
16. Органо-мінеральні комплекси.
17. Категорії (форми) ґрунтової води
18. Кількісний вміст рідкої фази ґрунтів.
19. Поняття про гігроскопічність, максимальну гігроскопічність, капілярну й максимальну молекулярну вологоємність ґрунтів.
20. Капілярні властивості ґрунтів
21. Природна вологість та її вплив на властивості ґрунтів.
22. Поняття про вагову, об'ємну та відносну вологість ґрунтів.
23. Хімічний склад ґрунтового розчину.
24. Реакція ґрунтового розчину.
25. Хімічний склад газової фази ґрунту. Склад і стан газів у ґрунтах.
26. Кількісний вміст газової фази ґрунтів.
27. Фізичні властивості ґрунтів. Визначення щільності ґрунтів.
28. Фізичні властивості ґрунтів. Визначення пористості ґрунтів.
29. Гранулометричний склад ґрунтів.
30. Методи визначення гранулометричного складу дисперсних ґрунтів.
31. Визначення водоміцності ґрунтів.
32. Проникність ґрунтів.
33. Визначення зсідання ґрунтів
34. Пластичність ґрунтів.
35. Набрякання ґрунтів.
36. Адсорбційні (поглинальні) властивості ґрунтів.
37. Катіонообмінна здатність ґрунтів
38. Характеристика ґрунтово-поглинаючого комплексу.
39. Основні етапи аналізу ґрунтів.
40. Основні закономірності йонного обміну ґрунтів та донних відкладів.

4. Хімія атмосфери

Атмосфера – це газова оболонка Землі. Її маса становить близько $5,9 \cdot 10^{15}$ тонн, тобто вона є найлегшою серед усіх геосфер Землі. Іноді вона нагадує шар рідкої води, що покриває у вигляді морів і океанів три чверті земної поверхні. І як умови життя в глибинах океану різко відрізняються від умов проживання поблизу поверхні води, так і умови на дні повітряного океану, в якому живе людство, відрізняються від тих, що існують на верхніх шарах земної атмосфери.

Атмосфера є найменшим з геологічних резервуарів Землі. Саме обмежені розміри роблять атмосферу такою чутливою до забруднення.

Внесення навіть невеликих кількостей речовини може призвести до значних змін в фізико-хімічних процесах, що в ній відбуваються. В порівнянні з іншими земними оболонками атмосфера має ряд властивих тільки їй особливостей – *високу рухомість, мінливість її компонентів, своєрідність фізико-хімічних процесів.*

В атмосфері, яка являє собою суміш газів, діє закон парціального тиску Дальтона. Атмосфера має шарувату будову і складається з п'ятих основних шарів: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, екзосфера, між якими розташовуються перехідні шари – «паузи». Розподіл маси атмосфери:

0 – 5 км – 50%;

0 – 10 км – 75%;

0 – 20 км – 95%;

0 – 80 км – 99%

В основу умовного поділу покладено зміну температури повітря.

У сферах змінюється кількість повітря і його температура. Області мінімуму і максимуму температур – це «паузи», а проміжні області – це сфери. Так, тропопауза відділяє тропосферу від стратосфери; стратопауза – стратосферу від мезосфери і т. д.

Тропосфера – найбільш щільний шар повітря, що прилягає до земної поверхні, містить 75-80 % маси атмосфери та 95 % водяної пари, яка міститься в атмосфері. Протяжність її по висоті в середніх широтах становить 10-12 км над рівнем моря, на полюсах 7-10 км, над екватором 16-18 км. Температура в тропосфері з висотою на кожні 100 м зменшується на 0,6°C і коливається від +40°C до –50°C. У тропосфері зосереджено більше 80 % усієї маси атмосферного повітря, сильно розвинені турбулентність і конвекція, зосереджена переважна частина водяної пари, хмари, формуються і атмосферні фронти, розвиваються циклони і антициклони, що визначають погоду і клімат. Тиск повітря на верхній границі тропосфери у 5-8 разів менший, ніж у земної поверхні. Приземний шар тропосфери (декілька десятків метрів) значно впливає на життєдіяльність живих організмів, тому для розв'язання практичних завдань необхідно знання атмосферних процесів, які проходять в приземному шарі. Склад і будова тропосфери визначається потраплянням газів із земної кори і присутністю життя на земній поверхні. Цей тонкий шар містить два важливі газуваті компоненти: азот (N_2) і кисень (O_2), які становлять відповідно 78 та 21 % об'єму атмосфери. Кисень утворюється в процесі фотосинтезу рослин і, у свою чергу, використовується мікро- і макроорганізмами при диханні, побічним продуктом якого є вуглекислий газ. Крім азоту і кисню до складу атмосфери входять аргон (Ar – 0,93%) і вуглекислий газ (CO_2 – 0,036%), а також у незначних кількостях неон (Ne), гелій (He), метан (CH_4), криптон (Kr), водень (H_2), ксенон (Xe) і хлорфлуорвуглеводні (ХФВ) антропогенного походження. Джерелом і необхідним компонентом життя на Землі, що сприяє, зокрема, підтримці температури її поверхні, є водяна пара (H_2O), яка надходить у тропосферу

головним чином у результаті випаровування води з поверхні океану. Її вміст у атмосфері значно змінюється залежно від пори року та географічного положення. Для живих організмів, що складаються в основному з органічних сполук Карбону з Гідроеном та Оксигеном, першорядну роль відіграють *кисень, вода та вуглекислий газ*. Вода і вуглекислий газ мають визначальне значення для нагрівання земної поверхні завдяки їхній здатності поглинати сонячну радіацію. Крім газів, у повітрі атмосфери містяться ще й домішки так званих *аерозолів*, розмір часток яких від декількох нанометрів до декількох десятків мікрометрів, що утворюються при конденсації водяної пари і що потрапляють в атмосферу із земної поверхні у результаті індустріальних забруднень, вулканічних вивержень, а також з космосу.

Стратосфера. Вище тропосфери перебуває *стратосфера* довжиною 40 км. Температура повітря від границі тропосфери до висоти 30 км постійна (близько -50°C), оскільки надходження тепла в атмосферу та його витрати врівноважуються, а потім підвищується та на висоті 50 км досягає $+10-0^{\circ}\text{C}$, що є наслідком поглинання сонячної радіації озоном (*стратопauза*). У стратосфері під впливом космічного випромінювання і короткохвильової частини УФ-випромінювання Сонця молекули повітря йонізуються, у результаті чого утворюється озон. Як правило в стратосфері безвітряний простір. У стратосфері майже немає хмар вертикального розвитку (купчасто-дошових).

Мезосфера. Стратопauза відокремлює стратосферу від *мезосфери*, що знаходиться вище, температура знижується до -80°C у верхній частині влітку спостерігаються сріблясті хмари, природа яких ще досі невідома.

Термосфера. Вище мезосфери розташована *термосфера* (або йоносфера), для якої характерно безперервне підвищення температури зі збільшенням висоти, яка простягається до 800 км. Повітря в цьому шарі дуже йонізоване, що зумовлює його надзвичайну електропровідність, це має надзвичайне значення для радіозв'язку (від йоносфери відбуваються короткі хвилі). Температура в цьому шарі підвищується до 2000°C , але ця температура характеризує тільки кінетичну енергію руху молекул газів. Космічні кораблі та станції не відчувають дії такої високої температури внаслідок дуже великої розрідженості газів. У цьому шарі згорають метеорити та проходить полярне сяйво. На висоті 150 км температура досягає $200-240^{\circ}\text{C}$, на рівні 200 км – 500°C , а на висоті 500-600 км перевищує 1500°C . У термосфері гази дуже розряджені. Молекули їх рухаються з великою швидкістю, але рідко зустрічаються між собою і тому не можуть викликати навіть невеликого нагрівання тіла, що там перебуває. Такий температурний зріз атмосфери багато в чому визначається характером хімічних перетворень у цих областях.

Екзосфера (сфера розсіювання) – розповсюджується до 3000 км, складається з найлегших атомів (Гідрогену та Гелію). Поступово цей шар переходить у земну корону (до 20 000 км) та в космічний простір.

На відміну від температури, атмосферний тиск неухильно зменшується з висотою. Особливо різко він зменшується у нижніх висотах. Така особливість пояснюється стискуваністю атмосфери на відміну від гідросфери: на рівні моря тиск складає 760 мм ртутного стовпчика, на висоті 100 км $p = 2,3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., а на висоті 200 км – $p = 1,0 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Атмосфера є надзвичайно складною системою. Її пронизує випромінювання Сонця і частки високої енергії, які ним випускаються, а також космічне випромінювання. Цей потік енергії робить помітний хімічний вплив на атмосферу. Крім того, під впливом земного тяжіння більш важкі атоми і молекули опускаються в нижню частину атмосфери, а у верхній її частині залишаються більш легкі. У результаті *склад атмосфери виявляється непостійним.*

Склад атмосфери в приземному шарі, наприклад, склад сухого повітря поблизу рівня моря має такі характеристики: приблизно 99% всього складу припадає на частку двохатомних газів азоту і кисню, а все інше, за винятком вуглекислого газу, – на частку одноатомних газів (табл. 4.1). На висоті 110-120 км кисень майже весь стає атомарним.

Таблиця 4.1

Склад повітря в приземному шарі

Компонент	Вміст у % (мольних)	Молярна маса	Концентрація, мг/м ³
Азот, N ₂	78,04	28,013	976300
Кисень, O ₂	20,948	31,998	299300
Аргон, Ar	0,934	29,948	16550
Карбон(IV) оксид, CO ₂	0,033	44,009	591
Неон, Ne	0,001818	20,183	16,2
Гелій, He	0,000524	4,003	0,9
Метан, CH ₄	0,0002	16,043	3,7
Криптон, Kr	0,000114	83,800	–
Водень, H ₂	0,00005	2,0159	0,045
Нітроген(I) оксид, N ₂ O	0,00005	44,013	0,98
Ксенон, Xe	0,0000087	131,300	0,45

Примітка. Озон O₃, сульфур(IV) оксид SO₂, нітроген(IV) оксид NO₂, амоніак NH₃, карбон(II) оксид CO присутні в якості домішок, і їх вміст може змінюватися.

Передбачається, що вище 400-500 км і азот перебуває в атомарному стані. Киснево-азотний склад зберігається приблизно до висоти 400-600 км. Вище 600 км у атмосфері починає переважати гелій приблизно до висоти 1600 км, а вище 2000-3000 км переважає водень.

Хоча на верхні зони атмосфери припадає лише невелика частина її маси, ці верхні шари значною мірою визначають життя на поверхні Землі. Вони захищають нашу планету від потоку променів і граду частинок високих енергій. У результаті такого впливу молекули і атоми піддаються хімічним перетворенням. Під дією сонячного випромінювання в атмосфері протікає безліч реакцій, у яких беруть участь азот, кисень, озон, оксиди нітрогену, карбон діоксид і пари води.

Йонізація відбувається в основному на висоті 70-80 км. При цьому відзначаються негативні (N^- , O^- , CO_3^- , NO_2^- , NO_3^-) і позитивні (N^+ , O^+ , O^{2+} , H^+) йони. Ці йони утворюють різні комплекси: NO^+N_2 ; NO^+CO_2 ; NO^+H_2 ; $\text{O}^{2+}(\text{H}_2\text{O})$.

Об'ємні концентрації компонентів, що постійно містяться в атмосфері, так званих «квазіпостійних», залишаються практично незмінними до висоти 100 км. Вміст інших компонентів, «активних» домішок, істотно змінюється залежно від пори року, географічного положення і висоти над рівнем моря.

Зміна складу атмосфери з висотою визначаються двома причинами.

По-перше, вона зумовлена дифузійним поділом: більш легкі молекули і атоми слабше притягаються до Землі. За довгий період часу вони перемістилися у верхні шари атмосфери. Нагадаємо, що на цих висотах взагалі дуже мало атомів або молекул. Дифузний поділ (більш важкі – внизу, легші – нагорі) за тривалий період призвів до того, що елемент Гелій, вміст якого в атмосфері на рівні моря дуже малий, на висотах від 500 до 1000 км стає найголовнішим компонентом атмосфери. Гелієва «корона» Землі простягається приблизно до 1600 км, а вище 2000-3000 км переважає водень.

По-друге, зміна складу атмосфери з висотою викликається хімічними реакціями під впливом сонячної радіації. Електромагнітне випромінювання Сонця і частинки високої енергії, які викидаються, бомбардують атмосферу і поглинаються нею. Поглинання енергії призводить до дисоціації та йонізації атомів і молекул. Завдяки нерівномірному нагріванню сонячними променями у різних широтах, особливо між полярними і екваторіальними зонами, атмосферне повітря інтенсивно циркулює. Циркуляція повітря усереднює склад компонентів у ньому та сприяє переміщенню як водяної пари з океанів у континентальні райони, так і забруднень на великі відстані.

Тривалість перебування домішок в атмосфері, їх «час життя», залежить від їх хімічної активності, розчинності у воді, розмірів (для аерозолів).

Речовини, що мають великий «час життя», добре переміщуються в атмосфері, й таким чином можна очікувати високу постійність їх концентрацій по всій земній кулі. Якщо ж у речовини тривалість перебування в атмосфері мала, висока ймовірність її локальних виявлень. Гази з коротким часом перебування в атмосфері легко поглинаються рослинами, твердими речовинами, водою. Але найбільш частою причиною нетривалого перебування домішок в атмосфері є протікання хімічних реакцій. Більшість частинок, що утворюються в результаті реакцій, швидко видаляються з атмосфери з дощами й тому мають «час життя» близький до

тривалості перебування атмосферної вологи. Водяна пара в атмосфері, як і розчинені в ній гази й аерозолі, характеризуються «часом життя» в атмосфері біля 10 діб. Домішки з великим «часом життя» можуть накопичуватися в відносно високих концентраціях в порівнянні з тими, тривалість перебування яких менше. Але навіть якщо домішки з коротким «часом життя» швидко виводяться з атмосфери, їх висока реакційна спроможність може призвести до накопичення продуктів реакції – вторинних забруднювачів.

Атмосфера поблизу поверхні Землі, як тропосфера, так і стратосфера, містять не тільки гази, а й дрібнодисперсні рідкі і тверді частинки у зваженому стані – *аерозолі*. В аерозолях міститься основна маса хімічних інгредієнтів, які випадають на поверхню Землі з атмосферними опадами або в результаті процесів седиментації. Характерною властивістю аерозольних систем є їх нестійкість. Седиментація, випаровування, конденсація, електромагнітні поля, броунівський рух – ці різноманітні фізичні фактори можуть призвести до змін в аеродисперсній системі. В свою чергу, прояв кожного з цих факторів залежить від властивостей самих аерозолів.

Поведінка аерозолів в повітряному потоці визначається *коефіцієнтом дифузії* та *швидкістю осадження*. Важливу роль у виведенні з атмосфери аерозолів, що мають густину помітно більшу за густину повітря і достатньо великі розміри (частинки з радіусом 20 мкм і більше) відіграє гравітаційне осідання.

Швидкість гравітаційного осідання w_a визначається співвідношенням сил гравітаційного тяжіння й аеродинамічного опору для даної частинки. За визначеного ступеня в'язкості середовища аерозолі осідають із швидкістю, яка описується рівнянням Стокса:

$$\omega_a = \frac{2g(\rho_n - \rho) \cdot r^2}{9 \cdot \eta} \quad (4.1)$$

де ω_a – вертикальна швидкість прямування частинки;

g – прискорення сили тяжіння;

ρ_n – густина повітря;

ρ – густина частинки;

r – радіус частинки;

η – в'язкість середовища.

Для аерозолів з радіусом менше 5 мкм процесами седиментації можна знехтувати. Найбільш діюча трансформація таких домішок відбувається при включенні їх у процеси хмаро- і туманоутворення в якості ядер конденсації, а також при поглинанні їх опадами в хмарах і під ними.

Середній час перебування компонентів в атмосфері в умовах динамічної рівноваги можна визначити з рівняння:

$$\tau = A/Q, \quad (4.2)$$

де τ – час перебування речовини в атмосфері, в одиницях часу;

A – кількість речовини в атмосфері, в одиницях маси;

Q – швидкість надходження або виведення речовини з атмосфери, в одиницях маси на одиницю часу.

Атмосферне повітря – це механічна суміш більше 50 різних газів. За вмістом можна виділити такі три основні групи складових атмосферного повітря:

1. Гази, які входять до складу повітря практично в сталих кількостях – *основні гази* – азот, кисень, аргон. Їх кількість є сталою.

2. Гази, які завжди присутні в атмосферному повітрі, але кількість їх змінна – водяна пара, озон, вуглекислий газ, метан, амоніак, аерозолі.

3. Гази та інші речовини, які можуть бути присутні в атмосферному повітрі в змінних кількостях різні домішки природного походження і забруднення, що утворюються в результаті виробничої діяльності людини (викиди промислових підприємств, вулканічні викиди, оксиди сульфуру та нітрогену).

Сучасний хімічний склад атмосфери встановився близько 500 млн років тому назад. На сьогодні хімічний склад сухого атмосферного повітря залишається практично незмінним на всій земній кулі до висот 95-100 км. У зв'язку з цим, нижній 100-кілометровий шар атмосфери називають *гомосферою*. *Однорідність хімічного складу забезпечується* інтенсивним його переміщенням, що здійснюється турбулентними рухами, впорядкованими вертикальними рухами та крупно-масштабними горизонтальними переміщеннями.

Атмосферними опадами називають воду в рідкому (дощ, мряка) або в твердому (град, сніг, снігова крупа, льодяна крупа, льодяний дощ) стані, що випадає з хмар на землю. Опади дають лише ті хмари, елементи яких (краплі води й кристали льоду) зростають до таких розмірів, які не можуть утримуватися у завислому стані і під дією сили тяжіння падають на Землю, долаючи сили опору повітря і висхідні потоки. Зростання елементів хмар може відбуватися шляхом конденсації, сублімації і коагуляції крапель води. Вирішальну роль відіграє коагуляція.

Однорідні за структурою хмари, опадів майже не дають. Здебільшого опади дають хмари змішаного типу, в яких йде процес дифузної перегонки водяної пари від крапель води до кристалів льоду. Падаючи, кристали льоду наштовхуються на молекули водяної пари та переохолодженні краплі води, приморожують їх і зростають у об'ємі й масі. Якщо в нижній частині хмари або під хмарою температури плюсові, кристали льоду тануть і випадає дощ, якщо мінусові — випадає сніг або крупа.

Як дощ, так і сніг випадають лише з конвективних або фронтальних хмар. З фронтальних хмар випадають затяжні дощі, які охоплюють значні площі. З конвективних хмар, переважно купчасто-дощових, ідуть раптові короткочасні зливи. Іноді в теплих або місцевих повітряних масах формуються шаруваті або шарувато-купчасті хмари, з яких іде мряка. Крім опадів з повітря осідають *гідрометеори*: роса, паморозь, іній, рідкий наліт.

У різних районах Землі атмосферні опади містять різну кількість хімічних інгредієнтів. Так, над поверхнею суходолу Євразії найбільш характерними є

такі інтервали концентрацій головних йонів (мг/л): SO_4^{2-} (3-12); Cl^- (1-3); HCO_3^- (0,5-5); Ca^{2+} (0,5-3); Mg^{2+} (0,2-0,7); Na^+ (1-2); K^+ (0,4-1). Для атмосферних опадів над Тихим та Індійським океанами вони дещо інші: SO_4^{2-} (1-5); Cl^- (2-12); HCO_3^- (0,6-6); Na^+ (2-12); K^+ (0,5-1,5). Аналіз цих результатів приводить до висновку, що над територією суходолу нашої планети переважають *опади сульфатно-кальцієвого складу*. Наприклад, причиною підвищення вмісту (SO_4^{2-} і Ca^{2+}) є збагачення атмосфери аерозолями континентального походження. Далі, із просуванням до океанів склад атмосферних опадів значно змінюється (зокрема, збільшується концентрація йонів хлору і натрію, а зменшуються концентрації йонів кальцію, сульфатів та гідрокарбонатів).

Кислотність атмосферних опадів в основному характеризується величиною $\text{pH} = 5-6$, хоча при значному забрудненні атмосфери деякими промисловими викидами (NO_2 , SO_2) вона може становити $\text{pH} = 4,5-5$ (кислотні дощі). На території України у зоні змішаних лісів атмосферні опади виникають в окисному середовищі і мають дуже кислу реакцію ($\text{pH} = 5,2$), що можна пояснити наявністю у воді опадів значної кількості кисню (11-14 мг/л), неорганічних сильних кислот (HCl , H_2SO_4) і вільного карбон(IV) оксиду, який перебуває в рівновазі з CO_2 атмосфери. Своєю чергою, переважання нітратів (2,58 мг/л) серед неорганічних сполук Нітрогену зумовлено окисненням атмосферного азоту внаслідок електророзрядів у атмосфері та під впливом енергії сонячного випромінювання (нітрати не з'являються у складі атмосфери внаслідок їх швидкого окиснення). Амоніак в опадах з'являється під впливом промислових та ґрунтових газів.

Дані про концентрацію біогенних елементів, мікроелементів та органічних сполук в атмосферних опадах обмежені.

Опади випадають з різною інтенсивністю. *Інтенсивність* – кількість води, що випала за 1хв на горизонтальну поверхню за умови відсутності просочування та випаровування і вимірюється в мм/хв. За інтенсивністю опади поділяють на *слабкі* (менше за 0,5 мм/хв.), *середні* (0,5-1,0 мм/хв.) і *сильні* (більше за 1,0 мм/хв.).

Опади вимірюються *опадомірами* різних конструкцій та *плювіографами* - записувачами інтенсивності дощу.

Атмосферне повітря ніколи не буває абсолютно чистим. Загальна кількість забруднювачів, що постійно перебувають в атмосферному повітрі над планетою, складає приблизно 10 млн. т, що зумовлено як господарською діяльністю людини, так і процесами, що відбуваються у природі. Частина домішок під впливом сили тяжіння й інших факторів випадає на земну поверхню. Більшість хімічних сполук зазнає серйозних змін під дією УФ-радіації, вологи, озону і кисню повітря. Продукти цих реакцій, а також вихідні сполуки, які безпосередньо викинуті в атмосферу (*первинні забруднювачі*), взаємодіють між собою й утворюють іноді ще більш токсичні і небезпечні сполуки (*вторинні забруднювачі*).

Під впливом атмосферних опадів, сонячної радіації, перенесення повітряних мас, взаємодії з гідросферою й літосферою та діяльності

мікроорганізмів атмосферне повітря позбавляється від сторонніх домішок. Цей процес називають *самоочищенням атмосфери*. Проте, в деяких випадках, а саме при низькому природному потенціалі атмосфери щодо самоочищення, в атмосфері переважають процеси накопичення забруднюючих речовин.

Існує два види забруднень атмосфери: *природне та антропогенне (штучне)*, кожне з яких обумовлене відповідними джерелами.

Кислотні дощі. У результаті антропогенного забруднення атмосфери оксидами сульфуру і нітрогену, відбувається утворення туманоподібних краплин сульфатної та нітратної кислот, що випадають на Землю разом з опадами. Цей термін вперше ввів у вжиток англійський інженер *Р.Сміт* у книзі «Повітря і дощі: початок хімічної кліматології». *Кислотними називають взагалі будь-які опади – дощ, сніг, туман, якщо значення їх рН становить менше ніж 7,0*. Кислотні дощі мають значення рН частіше в межах 4,1-2,1, а в деяких випадках навіть менше ніж 2,1. Спостереження свідчать, що ще 100 років тому дощова вода мала рН=7,0, тобто осаді були нейтральними. Рекордно кислотний дощ (рН=1,7) випав у 1979 р. в Уїлінгу (США, штат Вірджинія).

Вперше кислотні дощі зареєстровані в Англії в 1972 році. В Україні кислотні дощі часто випадають у Сумській, Черкаській та Рівненській областях, де в повітря викидається значна кількість оксидів сульфуру і нітрогену. Україна забруднена також за рахунок транскордонного перенесення цих оксидів з країн Західної Європи.

Виявлено мінливість випадання кислотних опадів у теплий і холодний періоди року: частіше такі опади спостерігались у січні-березні, жовтні-грудні.

Загальна мінералізація опадів на території України коливалась у межах 16-78 мг/дм³. За середнім умістом основних забруднювачів атмосферних опадів компоненти хімічного складу розподілились так, % загальної мінералізації: сульфати – 38, гідрокарбонати – 16, кальцій – 10, натрій – 9, нітрати і хлориди – 6, нітроген амонійний – 5, магній – 3.

Під впливом кислотних опадів відбувається закиснення водойм і ґрунтів, вимивання з ґрунту калію, магнію, кальцію, зменшенню врожайності, деградації флори і фауни. Внаслідок випадання кислотних дощів гинуть ліси, особливо букові, тисові та кедрові. У свою чергу загибель лісів зумовлює гірські зсуви та селі. У Швейцарії від кислотних дощів гине третина лісів, у Великій Британії висихають 69% букових і тисових лісів. Від кислотних опадів особливо потерпають закриті водойми – озера і ставки. У Швеції в 4 тис. озер риба повністю зникла.

Наукові дослідження щодо впливу кислотних дощів та причин їх утворення розпочались наприкінці 60-х років XX століття, причому основним ініціатором була Швеція, яка майже не має природних ресурсів, окрім лісів і блакитних озер, одним із пріоритетних напрямків свого економічного розвитку має туризм. Власних потужних виробництв Швеція не має, тому було

доведено, що основною причиною є транскордонне забруднення атмосферного повітря діоксидом сульфуру із території Бельгії та Німеччини. Саме шведи були ініціаторами наукових досліджень по вивченню причин утворення кислотних дощів та наслідків цих процесів.

В Україні за останні 35 років площа кислих ґрунтів зросла на 33%. Кислі ґрунти потребують вапнування, що підвищує собівартість сільськогосподарської продукції.

Антропогенні джерела забруднення атмосфери розрізняються також за потужністю викиду, а саме за могутністю, величиною, дрібністю, за висотою викиду на: *низькі, середньої висоти і високі*, за температурою вихідних газів на: *нагріті й холодні*. Для підготовки вихідних даних для розрахунку ***гранично допустимих викидів (ГДВ)*** підприємства для кожного джерела за кожним показником потрібна класифікація не тільки джерел забруднень, але і класифікація та характеристика викидів, ступінь вивченості і облік в розрахунках. При цьому враховують *організовані, неорганізовані та розподілені викиди*.

Організовані викиди зазвичай проводяться зі стаціонарних джерел. Їх характеризує велика висота труб (50-100 м), а також значні концентрації та обсяги. *Неорганізовані викиди* проявляються у вигляді надходжень токсикантів до атмосфери з виробничих приміщень підприємств. Концентрація і обсяг забруднюючих речовин менше, висота викиду невелика. *Розподілені викиди* пов'язані в основному з транспортом, а також з обробкою сільськогосподарських територій отрутохімікатами.

Найбільш поширені викиди промисловості – це зола, пил, оксид цинку, сірчистий ангідрид, сірководень, меркаптан, альдегіди, вуглеводні, смоли, оксид і діоксид нітрогену, амоніак, озон, оксид і діоксид карбону, гідроген флуорид, гідроген хлорид, натрій силіцій флуорид, радіоактивні гази й аерозолі.

ГДК сажі і кіптяви жорстко нормується, зважаючи на вміст канцерогенних вуглеводнів (ПАВ): середньодобова ГДК сажі – 0,05 мг/м³.

Вирішити проблему зменшення забруднення атмосферного повітря можна тільки у тісній співпраці громадських організацій та державних закладів, а у планетарному обсязі – лише на основі міжнародного співробітництва та спільних зусиль всіх країн. На підставі Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” (1992) *всі громадяни мають право на споживання екологічно чистих продуктів харчування, вживання доброякісної питної води та дихання чистим повітрям*. Однак внаслідок діяльності промисловості, експлуатації фізично і морально застарілого обладнання, недостатнього впровадження у виробництво безвідходних і маловідходних технологій, відсутності або малоефективності очисних пристосувань, різкого збільшення автотранспорту, росту чисельності міського населення на тлі низького рівня екологічної грамотності, а нерідко і

злочинної безвідповідальності за дотримання гігієнічних вимог до роботи підприємств, зростає негативний антропогенний вплив на навколишнє природне середовище, в тому числі й на атмосферне повітря. З цих причин в кожному населеному пункті при плануванні будівництва житла і підприємств треба враховувати пануючі вітри, передбачати облаштування санітарно-захисної зони для кожного підприємства, що викидає в атмосферу шкідливі речовини. Ці зони відокремлюють промислові підприємства від житлових будівель, в них обов'язково насаджуються дерева і забороняють будівництво житла та тривале перебування людей.

Температура поверхні Землі підтримується внаслідок існування балансу між надходженням теплоти – від сонячних променів, і охолодженням – внаслідок відтоку тепла від поверхні у атмосферу. Енергія, яка виходить від Сонця, нагріває Землю. Частина тепла відходить від Землі у атмосферу у вигляді довгохвильового інфрачервоного випромінювання. І якби вся теплота йшла у космос, то температура Землі була б на 30 °С нижче, ніж зараз, і життя на ній практично б завмерло. Але частина теплових променів поглинається газами атмосфери, які затримують необхідну кількість тепла. Так забезпечується баланс між енергією, що надходить і енергією яка втрачається, тобто підтримується природний «парниковий ефект». Але починаючи з минулого століття він почив порушуватися. Зростання концентрації «парникових» газів у атмосфері призводить до посилення парникового ефекту і, як наслідок, до глобального потепління.

Тепловий баланс Землі характеризується *величиною Альbedo*. Під величиною Альbedo розуміють *відношення кількості енергії, що випромінюється Землею у космос до кількості енергії, яка надходить до поверхні Землі від Сонця*.

Величина Альbedo для Землі в середньому складає $\approx 30\text{-}35\%$. В той же час, для чорноземів ця величина складає 10%, а для чистого снігового шару – 90%. Це говорить про динамічність цієї величини в різні періоди року, а також про можливість зміни величини Альbedo в часі, в тому числі і під впливом господарської діяльності людини, наприклад, внаслідок запилення поверхні снігового шару, зменшення площ вкритих снігом земель тощо.

Під «парниковим ефектом» прийнято називати поступове потепління клімату Землі внаслідок збільшення в атмосфері парникових газів (CO_2 , CH_4 , фреони тощо). У земній атмосфері парникові гази діють подібно до скла в парнику: вони пропускають сонячне світло, але затримують теплоту розігрітої сонцем поверхні Землі, що зумовлює розігрівання поверхні планети.

До початку XX століття на коливання клімату дуже мало впливала діяльність людей на планеті. Але в подальшому стрімкий розвиток промисловості і спалювання багатьох видів палива спричинило швидке зростання вмісту вуглекислого газу (CO_2) у атмосфері Землі. За останні 140 років (з 1860 по 2000 рік) концентрація вуглекислого газу у атмосфері

збільшилась з 0,028 до 0,035 відсотка (тобто на 26%) і продовжує зростати. Прогнози свідчать, що до середини XXI століття його вміст подвоїться, внаслідок чого середня температура на планеті підвищиться на 2-4°C. Це призведе до негативних наслідків - зміняться такі важливі фактори, як опади, вітер, океанські течії, а також розміри полярних крижаних шапок. Потепління у Арктиці і Антарктиці призведе до танення льодовиків. За підрахунками вчених, підвищення температури на 10°C викличе підвищення рівня світового океану на 5-6 метрів. Багато прибережних територій буде затоплене водою, узбережжя стануть більш вологими і жаркими, а внутрішні райони континентів стануть більш сухими. Очікується, що основні кліматичні зони змістяться на північ на 400 км, а отже для деяких країн у північній півкулі це покращить життєві умови, а у південній півкулі – призведе до зростання пустель.

Вперше на проблему підвищення середньорічної температури звернув увагу французький математик Ж. Фур'є у 1824 році. Саме в цей період почалось потепління європейського клімату. Англійський фізик Дж. Тиндаль у 1869 році своїми дослідженнями показав, що діоксид карбону може екранувати інфрачервоне випромінювання Землі подібно водяній парі. Наприкінці XIX століття, шведський хімік С. Арреніус висунув ідею про можливість зміни клімату внаслідок збільшення кількості тепла, що надходить в атмосферу. Крім того, Арреніус звернув увагу на збільшення концентрації діоксид у карбону в атмосфері внаслідок господарської діяльності людини. Ідея про те, що збільшення концентрації діоксид у карбону в атмосфері може впливати на клімат в бік його потепління належить англійському геологу Р. Шерлоку.

Останнім часом тривога з приводу парникового ефекту зростає, так як виявилось, що крім вуглекислого газу, внесок якого у парниковий ефект складає близько 55%, парниковий ефект спонукають також деякі інші гази, які називають «малими домішками». До них належать закис азоту (N_2O), метан (CH_4), водяна пара (H_2O), озон (O_3) та хлорфторвуглеводні (CFC).

Моделлю «парникового ефекту» є клімат на Венері. Її атмосфера на 98% складається з вуглекислого газу, і тому температура її поверхні складає близько 500°C.

Таким чином, парниковий ефект - надто небезпечний експеримент з кліматом планети. Тому у грудні 1997 року на зустрічі у Кіото (Японія), присвяченій глобальній зміні клімату, делегатами з більш ніж 160 країн була прийнята конвенція, яка зобов'язує розвинені країни скоротити викиди CO_2 . Зокрема, до 2008-2012 рокам викиди CO_2 38-ма індустріально розвиненими країнами повинні бути скорочені на 5% порівняно з 1990 роком (країни ЄС - на 8%, США - на 7% і т.д.).

Іншою важливою причиною зміни клімату на Землі є зменшення площі лісів. Кожної хвилини у світі знищується близько 21 га лісів. Особливу

тривогу викликає їх зменшення у Африці, Азії і особливо у Південній Америці, де зосереджено близько 55% їх загальної кількості. Щорічно площа тропічних лісів зменшується на 1%. На сьогоднішній день африканські тропічні ліси займають не більше 40% їх попередньої площі. З початку колонізації Бразилія втратила 40% своїх лісів. Останньому величезному природному лісному масиву нашої планети, розміщеному у басейні Амазонки, який виробляє близько 50% кисню, який продукується рослинним світом Землі, і поглинає 25% вуглекислого газу, який міститься в атмосфері, загрожує знищення. На початок 90-х років у регіоні вже було знищено від 10 до 25% лісової площі.

Суттєвий вплив на зміну клімату на Землі може здійснити і збільшення кількості пилу у атмосфері та дрібнодисперсних аерозолів у стратосфері. Кількість пилу і аерозолів, які утворюються в результаті господарської діяльності людини, можна співставити з самими значними вулканічними виверженнями, при яких у атмосферу можуть виноситись десятки мільйонів тон пилу.

Слід сказати, що в атмосфері проходять процеси, які є протилежні «парниковому ефекту». Це, насамперед, запилення атмосфери та зниження її прозорості, що може стати причиною зменшення кількості енергії Сонця, яка надходить до поверхні Землі. Такі процеси можуть викликати похолодання, аж до «ядерної зими», а зменшення кількості енергії Сонця, що надходить до поверхні Землі, негативно позначиться на діяльності рослин, буде відмічатись зменшення інтенсивності фотосинтезу, аж до деградації флори.

Кліматичні зміни можуть відбуватися не лише завдяки антропогенному впливу людства на склад атмосфери, а і внаслідок зміни ним типу поверхні Землі. Заміна лісів культурними плантаціями призводить до зниження випаровування і збільшення прямої віддачі тепла від поверхні Землі, а отже до зміни циркуляції шарів атмосфери.

Крім того, людство вже створило на поверхні Землі промислові райони, в яких концентрація теплової енергії призводить до теплової аномалії. Такі теплові плями добре помітні з космосу під час теплової зйомки.

Таким чином, господарська діяльність людини по-різному впливає на кліматичні зміни. Одні її види підвищують температуру на поверхні Землі, викликаючи парниковий ефект (викиди в атмосферу вуглекислого та інших «парникових» газів), інші знижують її (винищення лісів, забруднення повітря пилом та сажею).

При оцінюванні стану навколишнього середовища використовують такі критерії:

- 1) *гранично допустимі концентрації забруднювачів*. Цим критерієм послуговуються при оцінюванні допустимої кількості діючої речовини у середовищі;

2) *гранично допустимі дози* (кількість шкідливої речовини, дія якої не викликає згубної дії на організм, екосистему). Аналіз ситуації за цими параметрами дає змогу з'ясувати допустимий ефект дії;

3) *гранично допустимі викиди речовин в атмосферу*, гранично допустимі викиди шкідливих речовин у водні об'єкти. Їх встановлюють для кожного джерела забруднення атмосфери, водного об'єкта з метою оцінювання його інтенсивності;

4) *гранично допустиме антропогенне навантаження* (зумовлене людською діяльністю навантаження на навколишнє природне середовище, тривалий вплив якого не призведе до зміни екосистем). За цим критерієм встановлюють допустиме екологічне навантаження на довкілля.

Життя на Землі залежить від енергії Сонця, яка надходить у вигляді різних випромінювань. Серед них переважають промені видимого світла, а також довгохвильові (інфрачервоні, або теплові) та короткохвильові (ультрафіолетові) промені. Ультрафіолетове (УФ, UV) випромінювання має найбільшу енергію, є фізіологічно активним і діє на живу матерію, викликаючи небажані фізіологічні зміни у організмах. Увесь потік УФ променів Сонця, що доходить до земної атмосфери, умовно ділять на три види:

UV-A (довжина хвилі 400-315 нм),

UV-B (315-280);

UV-C (менше 280).

Надзвичайно шкідливими і навіть смертельними для життя є UV-B і особливо UV-C. Захищає нас і всю біосферу Землі від згубної дії УФ (UV) випромінювання ***озоновий шар атмосфери***.

Озон – алотропна видозміна Оксигену (O_3), утворюється у стратосфері при реакції молекулярного кисню з атомарним, газ з різким характерним запахом, сильний окисник. Має велике еколого-біологічне значення, оскільки активно поглинає шкідливе ультрафіолетове випромінювання Сонця. Визначає температурний режим стратосфери, захищає все живе від жорсткого (280 нм) випромінювання.

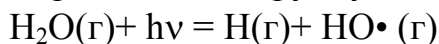
Озоновий шар розташований в атмосфері на висоті 25-45 км і є природним захисним бар'єром від проникнення на поверхню Землі жорсткого ультрафіолетового випромінювання Сонця.

Середня річна кількість озону в озоновому шарі становить близько 300 добсоновських одиниць (ДО). ***1 ДО відповідає шару озону, що дорівнює 0,001 см за нормальної температури й тиску.***

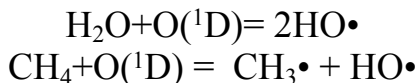
Але останнім часом озоновий шар зазнає руйнувань. Так, гази, що реагують з атомарним киснем стратосфери, також можуть перешкоджати утворенню озону і бути відповідальними за виснаження озонового шару. Значний внесок в процес руйнування озону вносять ланцюгові процеси, що протікають за участю гідроксидних радикалів, оксидів Нітрогену, сполук хлору і бромю.

1) **Дія $\text{OH}\cdot$ радикалів.** Шлях молекул води із тропосфери в стратосферу непростий, оскільки, відповідно до законів атмосферної динаміки, перенос повітряних мас через тропосферу практично не відбувається, за винятком потужних купчастих хмар. Гідроксидні радикали $\text{OH}\cdot$ утворюються:

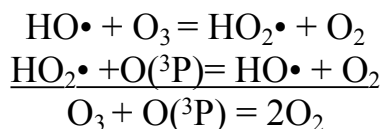
а) якщо під дією УФ-випромінювання руйнуються молекули води:



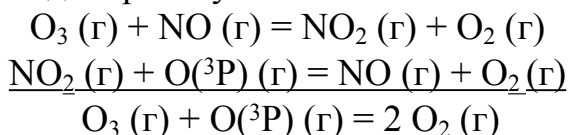
б) при взаємодії молекул води або метану із збудженим атомом Оксигену:



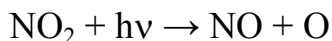
Гідроксидний радикал, що утворився в цих процесах, може вступити в реакцію з озоном. Продуктами цієї взаємодії є гідропероксидний радикал і молекула кисню. Гідропероксидний радикал при взаємодії з атомарним Оксигеном в основному стані утворює молекулу кисню і гідроксидний радикал:



2) **Дія оксидів Нітрогену.** Озоновий цикл забезпечує підвищення температури в стратосфері. У цей цикл залучаються багато хімічних реакцій; загальним результатом є розкладання озону. Так, наприклад, монооксид нітрогену при взаємодії з озоном окиснюється до діоксиду нітрогену, але при взаємодії NO_2 з атомарним Оксигеном в незбудженому стані знов утворюється монооксид нітрогену.



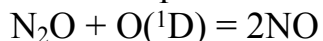
З цієї послідовності реакцій видно, що NO збільшує швидкість розкладу O_3 . Хімічний стан NO в кінцевому результаті не змінюється, тобто він діє як каталізатор. Необхідний для другої реакції атомарний Оксиген може утворюватися як в результаті реакції фотодисоціації кисню та води, що було розглянуто вище, так і в реакції фотодисоціації діоксиду нітрогену:



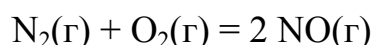
Остання реакція, на відміну від реакції фотодисоціації молекул кисню, яка потребує фотонів світла з $\lambda \leq 240$ нм, протікає навіть під дією «м'якого» ультрафіолетового випромінювання (межа дисоціації NO_2 відповідає довжині хвилі випромінювання 400 нм), що може проникати аж до поверхні Землі.

Необхідно відзначити, що небезпеку для озонового шару становлять оксиди Нітрогену, що утворюються тільки безпосередньо в стратосфері. NO і NO_2 , що викидаються з наземних джерел або утворюються в тропосфері, мають малий час життя і не встигають досягти стратосфери. Серед оксидів Нітрогену, які утворюються на поверхні Землі, небезпеку для озонового шару становить лише геміоксид нітрогену (N_2O), у якого достатньо великий

час життя, і тому він здатний подолати глобальний інверсійний бар'єр та досягти зони максимальної концентрації озону. Цей газ утворюється в процесах денітрифікації в ґрунті, а також в процесах горіння, наприклад, в автомобільних двигунах з каталітичним перетворювачем. При взаємодії із збудженим атомом Оксигену геміоксид нітрогену перетворюється на монооксид нітрогену, який далі ініціює розкладання озону:



Останнім часом вивчається питання про вплив на озоновий шар атмосфери надзвукових транспортних літаків (НЗТЛ), які літають в стратосфері. В двигунах внутрішнього згорання розвиваються настільки високі температури, що з атмосферного кисню і азоту утворюється нітроген(II) оксид, який викидається в стратосферу, істотно знижуючи концентрацію озону:

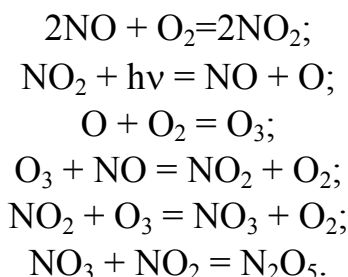


Ця реакція ендотермічна і швидкість її за звичайних умов дуже мала, але за високих температур вона протікає вже з вимірюваною швидкістю, тому в двигунах НЗТЛ утворюється значна кількість монооксиду нітрогену, який буде викидатися в стратосферу, де концентрація озону велика. Широке використання НЗТЛ в усьому світі призвело до утворення такої кількості NO, яка здатна значно знизити повний вміст озону в стратосфері, а особливо над районами Землі, які знаходяться під найбільш інтенсивними маршрутами руху літаків.

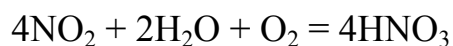
Руйнування озону в основному обумовлюють сполуки Нітрогену через антропогенне забруднення атмосфери:

- * ядерні вибухи. Розігрів до 6 000 K і швидке охолодження (замерзання NO). 1 Мт при вибуху дає від 1 000 до 12 000 тон оксидів Нітрогену ($2,5 \times 10^{32}$ молекул);
- * надзвукові літаки (18 г NO на 1 кг палива). 1 млн тон оксидів Нітрогену в рік викидають двигуни надзвукових літаків;
- * використання мінеральних нітратних добрив;
- * спалювання палива дає до 3 млн тон оксидів нітрогену на рік.

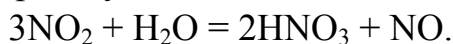
У хімії та фотохімії атмосфери беруть участь п'ять основних нітрогеновмісних газів: N_2 , NH_3 , N_2O , NO, NO_2 . У конденсованій фазі нітроген присутній у формі йону амонію (NH_4^+) та нітратного йону (NO_3^-). Можливі взаємодії можна описати такою схемою:



Цикл взаємодій на основі сполук Нітрогену в тропосфері доповнюється виникненням нітратної кислоти:



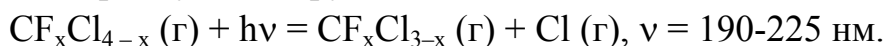
або за реакцією диспропорціонування:



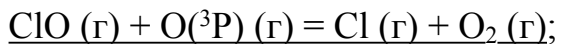
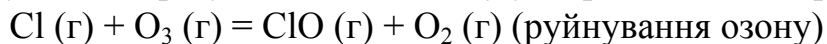
Деякі автори вважають, що причинами руйнування стратосферного озону є стратосферні перламутрові хмари, які є акумулятором Нітрогену і які утворюються при низьких температурах.

3) **Дія сполук Хлору.** Руйнування озону зумовлено також впливом *флуорхлорметанів* (фреонів) (технічна назва групи насичених аліфатичних галогеновмісних вуглеводнів загальної формули $\text{CF}_x\text{Cl}_{4-x}$), головним чином CF_2Cl_2 і CFCl_3 . Ці речовини вже більше 60 років широко використовуються в якості газуватих холодоагентів в холодильних установках, при виробництві пінопласту і каучуку, у виготовленні різних побутових товарів в аерозольних упаковках.

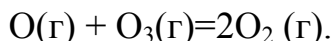
Фреони дуже добре зберігаються в атмосфері, погано розчиняються у воді, не горять, мають низькі температури кипіння, тому добре випаровуються на повітрі. З тропосфери частина фреонів може йти з водою і, не гідролізуючись, скупчуватися в океані, який стає своєрідним резервуаром фреонів. Вони настільки інертні в хімічному відношенні, що важко уявити собі якісь порівняно швидкі хімічні процеси, які можуть виводити фторхлорметани з нижніх шарів атмосфери. Тому тривале перебування молекул цих речовин в атмосфері визначається швидкістю, з якою вони розсіюються в стратосферу і зазнають там дії короткохвильового ультрафіолетового випромінювання. Дія світла високої енергії з довжинами хвиль в діапазоні від 190 до 225 нм призводить до фотолізу фторхлорметанів, до розриву під дією фотонів світла зв'язків між атомами Карбону та Хлору:



За цим слідує розкладання $\text{CF}_x\text{Cl}_{3-x}$ і т. д. Розрахунки показують, що швидкість утворення атомів хлору повинна бути максимальною на висоті 30 км. Атомарний Хлор, який утворився в результаті фотолізу, може швидко реагувати з озоном, утворюючи молекулярний кисень і оксид хлору, який, в свою чергу, може реагувати з атомарним киснем, що знаходиться в незбудженому стані, в результаті чого знову утворюється атомарний хлор:



обрив ланцюга може відбуватися при взаємодії хлору з молекулами водню, метану, води, гідроген пероксиду. У підсумку маємо сумарну реакцію:



Ця пара реакцій аналогічна реакціям з участю гідроксидного радикалу та монооксиду нітрогену, й призводить до результуючої реакції – розпаду озону. Істотно, що швидкість розпаду озону під час дії сполук Хлору приблизно в 6 разів більша, ніж під час дії сполук Нітрогену.

Важливим моментом в хімії стратосферного озону у цих ланцюгових реакціях є те, що одна молекула забруднювача може бути причиною руйнування великої кількості молекул озону. В усіх випадках відбувається регенерація початкових частинок OH, NO, Cl, які можуть розглядатися як каталізатори процесу руйнування озону. Так, один атом хлору призводить до розкладання 100 тис. молекул озону. Вважається, що час життя в атмосфері двох розповсюджених хлорфлуорвуглеводнів – фреон-11 та фреон-12 – становить 75 і 100 років відповідно.

Відповідно до *монреальського протоколу* (у 1987 році представники 24 країн світу у Монреалі підписали угоду, де зобов'язалися скоротити вдвічі використання фреонів до 1999 року) та інших *додаткових міжнародних протоколів* (у 1990 році у Лондоні прийнято поправки до Монреальського протоколу, за якими припиняється використання фреонів, галогенів та тетрахлорметану до 2000 року, а метилхлороформу – 2005 року), **виробництво озоноруйнуючих фреонів практично припинено**. Але, оскільки швидкість дифузії молекул від земної поверхні в стратосферу дуже невелика, може пройти ще декілька десятиріч, протягом яких буде відчуватися дія флуорхлорметанів. Причиною цього є й досить тривалий час «життя» озоноруйнуючих газів: для фреонів він становить 80 років, тетрахлорметану – 50 років, газів, які містять в складі молекули атоми Гідрогену, – близько 10 років. Отже, навіть при повному припиненні використання цих газів, їх вплив ще довго буде позначатися на концентрації озону в атмосфері.

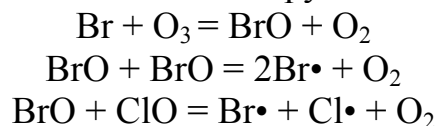
Крім того, заміна фреонів на альтернативні холодоагенти R-125 (C₂HF₅), R-134 (C₂H₅F₄), R-32 (CH₂F₂), R-23 (CHF₃), які не містять хлору або броду, призводять до надмірних витрат коштів. Ці речовини, які визнані «холодоагентами-сурогатами», в чотири рази дорожчі, ніж фреони і на одиницю холоду споживають на 10-20% більше електроенергії, ніж фреони, що недопустимо з екологічної точки зору. Крім того, ці речовини є отруйними, при розкладі утворюють високо небезпечні речовини.

У той же час, ряд вчених вважають, що фреони, в силу інертності цих сполук не мають відношення до «озонових отворів», а вбачають причину цих небезпечних явищ в природних процесах. Так, в зразках льоду, які датуються 900-річним віком, знайдено фреоноподібні сполуки, отже ці компоненти можуть мати природне походження. Із загальних міркувань про перебіг процесів в біосфері, в природі не утворюється сполук, що являють потенційну загрозу руйнування біосфери в цілому. Тому, роль фреонів як причина утворення «озонових отворів» значно перебільшена

Для збереження озонового шару Землі запропоновані не лише *пасивні методи* тобто зменшення викидів фреонів, їх заміна, але й *активні*. До активних методів відносять хімічну та фізичну дію на стратосферу. Хімічна дія полягає у використанні етану і пропану в районах утворення «озонових отворів», які при взаємодії з оксидами хлору (активним хлором) будуть зв'язувати його в малоактивний хлористий гідроген. Фізична дія полягає в

ініціації процесів утворення озону в стратосфері шляхом дії на неї випромінювань високих енергій (лазерне, йонізуюче тощо). Така дія на стратосферу сприяє фотодисоціації молекул кисню, з утворенням атомарного Оксигену, який є передумовою утворення озону. Ці заходи дають змогу зменшити руйнування озонового шару Землі, а іноді і сприяти зростанню концентрації стратосферного озону, що дозволить, в майбутньому, зберегти озоновий екран.

4) **Дія сполук Броду.** Атом Броду подібно атому Хлору здатний при взаємодії з озоном утворювати оксид броду і молекулу кисню. Проте на відміну від хлор(II) оксиду BrO може вступити також в реакцію з іншою молекулою оксиду броду або з оксидом хлору:



У всіх розглянутих до цього випадках руйнування озонового шару реакція за участю атомарного Оксигену є найповільнішою, і її швидкість лімітує відповідні процеси. У разі дії сполук Броду процес значно прискорюється, і *брод – потенційно найбільш небезпечний для озонового шару*. Дослідження показали, що озоноруйнуюча здатність атома Броду в 10 разів вища, ніж атома Хлору. Проте вплив таких сполук на озоновий шар в даний час менший, ніж вплив інших. Це пов'язано з меншими концентраціями броду в стратосфері. Основними джерелами броду в стратосфері є органічні сполуки, що мають в своєму складі брод, які використовуються для гасіння пожеж (галони). Ці сполуки, як і фреони, стійкі в тропосфері, мають великий час життя і, потрапляючи в стратосферу, розкладаються під дією жорсткого ультрафіолетового випромінювання.

Якими би не були причини утворення «озонових отворів», ці явища являють загрозу існуванню біосфери в цілому і людській цивілізації зокрема, тому вони повинні розглядатися як *екологічно небезпечні процеси*. У результаті руйнування озонового шару до Землі досягає підвищена кількість сонячного випромінювання UV-B, що виявляє негативний вплив як на живі істоти (людей, тварин, рослинність), так і на предмети. Наслідки занадто «тонкого» озонового шару:

- * зменшується витривалість різних матеріалів (наприклад, гуми) і разом з тим – тривалість користування цими матеріалами;
- * гинуть водні організми, що живуть у верхніх шарах води (бентос);
- * знижуються сільськогосподарські врожаї та рибні улови;
- * знижується імунітет населення проти різних захворювань;
- * збільшується можливість захворювання раком шкіри і катарактою ока (як у людей, так і у тварин), а також кількість захворювань легень і верхніх дихальних шляхів.

У повітряному басейні перебуває багато неорганічних і органічних сполук природного та антропогенного походження в газуватому і паруватому

стані та у вигляді рідких і твердих аерозолів. Порівняно з вмістом у природних водах концентрації хімічних сполук, що забруднюють повітря, значно менші і складають, за винятком основних компонентів – кисню, азоту, аргону, карбон діоксиду та парів води, – величини на рівні мг/м³ та мкг/м³. Через те визначення мікродомішок токсичних речовин у повітрі потребує, як правило, їх попереднього концентрування, яке в основному проводять в процесі відбору проб для аналізу.

Визначення основних компонентів атмосферного повітря, як правило, не проводиться, тому що їх концентрація над поверхнею Землі є практично сталою і тільки при значному віддаленні від земної поверхні помітно зменшується.

Однак у випадках замкнутого простору, наприклад у приміщеннях підводних човнів у зануреному стані або в атмосфері виробничих цехів, виникає потреба визначення кисню, карбон діоксиду та парів води.

Визначити всі речовини-забруднювачі в атмосферному повітрі або у повітрі виробничих приміщень практично неможливо. У зв'язку з цим у кожному конкретному випадку необхідно виявити головні забруднювачі, виходячи з характеру і кількості промислових та інших викидів в атмосферу та ступеня їх токсичності. Слід також мати на увазі, що багато хімічних речовин у повітрі взаємодіють між собою з утворенням нових сполук, які безпосередньо в атмосферу не потрапляли. Наприклад, сульфур діоксид, який є постійним компонентом викидів теплових електростанцій, при взаємодії з киснем повітря та парами води утворює аерозоль сульфатної кислоти. Як відомо, Нітроген діоксид при контакті з парами води утворює нітритну(III) та нітратну(V) кислоти. Твердий аерозоль амоній хлориду утворюється при взаємодії газуватого амоніаку з хлороводнем тощо. Утворення нових сполук внаслідок хімічних, а також фотохімічних процесів може заважати концентруванню та визначенню окремих інгредієнтів у повітрі, що слід враховувати при відборі проби повітря та її підготовці для аналізу.

Попередньо оцінку агрегатного стану токсичних речовин можна зробити на підставі їхньої леткості, тобто максимальної концентрації парів при даній температурі.

Леткість L , мг/дм³ визначають за формулою:

$$L = 16 \cdot P \cdot M / (273 + t), \quad (4.3)$$

де P – тиск насиченої пари речовини, мм рт.ст., при температурі t , °C;

M – молярна маса речовини.

У довідковій літературі часто відсутні дані про тиск насиченої пари речовини за різних температур. У таких випадках значення P , мм рт.ст., за температури t для речовини з температурою кипіння $t_{\text{кип}}$ можна обчислити за наближеною формулою

$$p = 2,763 - 0,019 \cdot t_{\text{кип}} + 0,024 \cdot t. \quad (4.4)$$

Таким чином, *знаючи температуру кипіння речовини, можна визначити тиск її насиченої пари за будь-якої температури повітря та її леткість при цій же температурі*. Розрахунок леткості за емпіричною формулою (4.65) дає похибку до $\pm(30-40)\%$.

Вміст токсичних речовин у повітрі визначається з урахуванням їх гранично допустимих концентрацій (ГДК) і через те при виборі способу відбору проби для аналізу слід брати до уваги не тільки леткість токсичної речовини, але також її ГДК. Наприклад, ртуть ($t_{\text{кип}} = 357^\circ\text{C}$) порівняно з октиловим спиртом ($t_{\text{кип}} = 195^\circ\text{C}$) можна вважати малолеткою речовиною, оскільки їх леткість при 20°C дорівнює 15 і 420 мг/м^3 відповідно. Однак ГДК цих речовин відповідно становить 0,0003 і 0,6 мг/м^3 , і тому вміст ртуті в повітрі, насиченому її парами при 20°C , перевищує норму ГДК в 5000 разів, а октилового спирту за цих умов – лише в 700 разів.

У зв'язку з цим при санітарно-хімічному контролі *агрегатний стан токсичних домішок у повітрі оцінюють* через відношення леткості токсиканту при 20°C (L_{20} , мг/м^3) до його ГДК (мг/м^3) або *величиною відносної леткості $L_{20}/\text{ГДК}$* .

Якщо відносна леткість речовини за температури 20°C нижча за ГДК у 10 і більше разів, то наявністю її парів у повітрі можна нехтувати і визначати вміст токсиканту тільки в аерозолях.

Навпаки, якщо відносна леткість $L_{20}/\text{ГДК}$ перевищує гранично допустиму концентрацію у 50 і більше разів, то в повітрі визначають лише вміст парів токсиканту.

При інших співвідношеннях $L_{20}/\text{ГДК}$ необхідно визначати сумарний вміст токсиканту в парі та в аерозолях.

Таким чином, попередній розрахунок величини відносної леткості визначуваного токсиканта та її порівняння з ГДК дають змогу обрати оптимальний спосіб відбору проби повітря для аналізу з врахуванням агрегатного стану токсиканта.

Запитання для самоперевірки.

1. Назвіть і охарактеризуйте основні сфери атмосфери.
2. Назвіть основні компоненти тропосфери.
3. Як змінюється вміст основних компонентів атмосфери з висотою?
4. У якій сфері найбільше зосереджено атмосферного повітря?
5. Назвіть ділянки, які відокремлюють сфери в атмосфері.
6. Охарактеризуйте склад повітря в приземному шарі атмосфери.
7. Назвіть основні йони, які утворюються під час йонізації в атмосфері.
8. Напишіть основні рівняння реакцій фотодисоціації води у атмосфері.
9. Порівняйте фотодисоціацію кисню та азоту.
10. Напишіть реакції дисоціативної рекомбінації для атмосферних йонів.
11. Зобразіть за допомогою рівнянь хімічних реакцій узагальнений процес циклічного виникнення і розкладання озону.

12. Назвіть основні джерела утворення і стоку гідроксидного і гідропероксидного радикалів в атмосфері.
13. Що Ви можете сказати про добові та сезонні зміни озону в атмосфері. Проаналізуйте причини утворення «озонових дир» над Антарктидою.
14. Опишіть механізм утворення озону. Що таке «нульовий» цикл озону? Які процеси приводять до порушення «нульового» циклу озону?
15. Напишіть за допомогою рівнянь хімічних реакцій дію гідроксильних радикалів на руйнування озону.
16. Назвіть важливий каталізатор розкладу озону, опишіть цей процес.
17. Назвіть п'ять основних нітрогеновмісних газів, що беруть участь у хімії та фотохімії атмосфери.
18. Що таке фреони, як вони впливають на руйнування озону? Зобразіть за допомогою рівнянь хімічних реакцій утворення смогів, охарактеризуйте їх.
19. Кислотні дощі – їх утворення та негативний вплив на довкілля.
20. Яка мета моніторингу атмосферного повітря?
21. Назвіть наслідки занадто «тонкого» озонового шару.
22. Назвіть показники, які характеризують санітарно-гігієнічний стан повітря.
23. Назвіть речовини, які представляють гігієнічну небезпеку в повітрі приміщень
24. Охарактеризуйте стан озонового шару над територією України.
25. Основні вимоги до аналізу повітря.
26. Що таке леткість, для чого її визначати?
27. Основні особливості відбору проб повітря.
28. Які тверді адсорбенти, які використовують для аналізу повітря?
29. Назвіть найважливіші фактори, які можуть призводити до помилок під час відбору проб повітря шляхом аспірації через рідкі поглинальні середовища або через трубки, заповнені твердим адсорбентом.
30. Назвіть основні способи підготовки проб повітря до аналізу.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАВДАНЬ

Приклад 1. Скільки см³ 1 н розчину NaOH потрібно взяти, щоб приготувати 100 см³ 0,2 н розчину NaOH, для визначення кислотності природної води?

Розв'язання. Знаходимо кількість NaOH, що міститься у 100 см³ 0,2 н його розчину:

$$\vartheta_2 = C_{H2} \cdot V_2 = 0,2 \text{ моль/дм}^3 \cdot 0,1 \text{ дм}^3 = 0,02 \text{ моль.}$$

Оскільки $\nu_2 = \nu_1$, то знаходимо об'єм V_1 , який потрібно взяти для визначення кислотності:

$$V_1 = \frac{\vartheta_1}{C_{H1}} = \frac{0,02 \text{ моль}}{1 \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}} = 0,02 \text{ дм}^3 = 20 \text{ см}^3.$$

Відповідь: потрібно 20 см³ 1 н розчину NaOH.

Приклад 2. Розрахувати, скільки г трилону Б треба взяти для приготування 2 дм³ 0,01 н розчину ($M = 372,2$ г/моль).

Розв'язання. Знаходимо масу трилону Б за формулою:

$$C_H = \frac{\vartheta}{V} = \frac{m}{Mr \cdot V}$$

Звідки

$$m = C_H \cdot Mr \cdot V = 0,01 \text{ моль/дм}^3 \cdot 372,2 \text{ г/моль} \cdot 2 \text{ дм}^3 = 7,444 \text{ г.}$$

Відповідь: для приготування даного розчину потрібно 7,444 г трилону Б.

Приклад 3. Наважку руди масою 1,5243 г розчинили в мірній колбі об'ємом 500 см³. На титрування 10 см³ розчину було витрачено 17,3 см³ 0,01 н розчину $K_2Cr_2O_7$. Визначте масову частку Феруму в руді.

Розв'язання. Вміст Феруму в руді при титруванні розчину методом аліквотування розрахуємо за рівнянням:

$$w_A, \% = \frac{C_{H, K_2Cr_2O_7} \cdot V_{K_2Cr_2O_7} \cdot M_{e, Fe} \cdot V_{M.K.} \cdot 100}{1000 \cdot m_{нав.} \cdot V_{ал.}}$$

Молярна маса еквівалента Феруму дорівнює

$$M_{e, Fe} = \frac{M_{Fe}}{n} = \frac{56}{1} = 56 \text{ г/моль-екв.}$$

Тоді

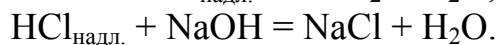
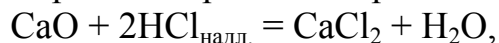
$$w_A, \% = \frac{0,01 \cdot 17,3 \cdot 56 \cdot 500 \cdot 100}{1000 \cdot 1,5243 \cdot 10} = 31,87\%.$$

Відповідь: масова частка Феруму в руді становить 31,87%.

Приклад 4. Для визначення вмісту Кальцію наважку шлаку масою 0,5215 г розчинили в 50 см³ 0,1018 н розчину HCl. Після закінчення реакції надлишок

HCl відтитрували 23,7 см³ 0,1037 н розчину NaOH. Розрахуйте масову частку Кальцію у шлаці.

Розв'язання. Для визначення вмісту Кальцію був використаний метод зворотного титрування. У розчині протікають реакції:



Вміст Кальцію визначимо за рівнянням:

$$w_{\text{Ca}}, \% = \frac{(C_{\text{H, надл.}} \cdot V_{\text{надл.}} - C_{\text{H, титр.}} \cdot V_{\text{титр.}}) \cdot M_{\text{e, Ca}} \cdot 100}{1000 \cdot m_{\text{нав.}}}.$$

Молярна маса еквівалента Кальцію дорівнює

$$M_{\text{e, Ca}} = \frac{M_{\text{Ca}}}{n} = \frac{40}{2} = 20 \text{ г/моль-екв.}$$

Тоді
$$w_{\text{Ca}}, \% = \frac{(0,1018 \cdot 50 - 0,1037 \cdot 23,7) \cdot 20 \cdot 100}{1000 \cdot 0,5215} = 10,1\%.$$

Відповідь: масова частка Кальцію у шлаці становить 10,1%.

Приклад 5. Який з фреонів – Ф-11 або Ф-152 – представляє найбільшу небезпеку для озонового шару планети?

Розв'язання. У відповідності з системою, розробленою спеціалістами фірми «Дурон», при класифікації фреонів цифрами позначається різниця між числом, в якому записані підряд цифри, що означають кількість атомів Карбону, Гідрогену та фтору в молекулярній формулі фторхлорвуглеводнів, та деяким «кодовим» числом, яке прийнято рівним 90. Наприклад, Ф-11 буде означати, що в склад сполуки входить 1 атом Карбону, 0 атомів Гідрогену, 1 атом Флуору (11+90=101). Оскільки Карбон має валентність 4, в склад молекули фреону Ф-11 повинно входити також 3 атоми Хлору. Тому молекулярна формула фреону Ф-11 відповідає сполуці CFC₃.

У випадку фреону Ф-152 маємо: 152+90=242, тобто в склад фторхлорвуглеводнів входять 2 атоми Карбону, 4 атоми Гідрогену, 2 атоми Флуору. Атоми Карбону у фторхлорвуглеводнях зв'язані між собою одинарними зв'язками, тому у фреоні може бути тільки 6 неуглецевих зв'язків. Всі вакантні місця зайняті атомами Гідрогену та Флуору, тому в цьому фреоні не має атомів хлору. Його формула буде такою C₂H₄F₂.

Оскільки фреон Ф-152 не містить хлору він не становить небезпеки озоновому шару. Однак в результаті його трансформації в тропосфері можливе утворення токсичних сполук.

Відповідь: фреон Ф-11, що містить 3 атоми Хлору в кожній молекулі представляє більшу небезпеку для озонового шару, ніж фреон Ф-152, молекули якого не містять Хлору.

Приклад 6. Маса атмосфери оцінюється величиною 5·10¹⁵т. Визначте масу кисню в атмосфері припустивши, що атмосфера складається тільки з таких компонентів як азот, кисень і аргон, а їх об'ємна концентрація відповідає значенню, характерному для приземного шару атмосфери.

Розв'язок: для розв'язку задачі на першому етапі необхідно розрахувати середню молярну масу повітря $M_{\text{пов}}$:

$$M_{\text{пов}} = M_{\text{N}_2} \cdot \alpha_{\text{N}_2} + M_{\text{O}_2} \cdot \alpha_{\text{O}_2} + M_{\text{Ar}} \cdot \alpha_{\text{Ar}}$$

де M_{N_2} , M_{O_2} , M_{Ar} – молярна маса азоту, кисню і аргону;

α_{N_2} , α_{O_2} , α_{Ar} – об'ємні частки відповідних компонентів в повітрі.

$$M_{\text{пов}} = 28,01 \cdot 0,7808 + 32,00 \cdot 0,2095 + 39,95 \cdot 0,00934 = 28,95 (\text{г/моль}).$$

За відомою масою атмосфери $m(\text{г})$ і середньою молярною масою повітря $M_{\text{пов}}$ (г/моль) визначимо загальну кількість моль повітря в атмосфері $n_{\text{пов}}$:

$$n_{\text{пов}} = m / M_{\text{пов}};$$

$$n_{\text{пов}} = 5 \cdot 10^{15} \cdot 10^6 / 28,95 = 1,7 \cdot 10^{20} (\text{моль}),$$

де 10^6 – коефіцієнт переведу тонни в грами.

Оскільки мольні і об'ємні частки газів в суміші рівні між собою, можна знайти кількість моль і масу кисню в атмосфері:

$$n_{\text{O}_2} = n_{\text{пов}} \cdot \alpha_{\text{O}_2} = 1,7 \cdot 10^{20} \cdot 0,2095 = 3,6 \cdot 10^{19} (\text{моль}).$$

$$m_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \cdot M_{\text{O}_2} = 3,6 \cdot 10^{19} \cdot 32 = 1,15 \cdot 10^{21} (\text{г}).$$

Відповідь: маса кисню в атмосфері дорівнює $1,15 \cdot 10^{15} (\text{т})$.

2. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

2.1. Хімія гідросфери

1. Скільки см^3 37%-ного розчину HCl (густиною $1,19 \text{ г/см}^3$) потрібно взяти, щоб приготувати 200 см^3 0,1н розчину HCl , щоб провести визначення лужності питної води? ($1,7 \text{ см}^3$).
2. Скільки см^3 2 н розчину NaOH потрібно взяти, щоб приготувати 500 см^3 0,1 н розчину NaOH , для визначення кислотності природної води? (25 см^3).
3. Скільки грамів $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ необхідно взяти для приготування 500 см^3 розчину, що використовують для визначення концентрації приблизно 0,1н розчину HCl , щоб провести визначення лужності природної води? ($9,55 \text{ г}$).
4. Скільки грамів $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необхідно взяти для приготування 250 см^3 розчину, що використовують для визначення концентрації приблизно 0,1н розчину HCl ?
5. На титрування 20 см^3 0,1н розчину NaOH пішло 25 см^3 розчину HCl . Визначити молярну та нормальну концентрації розчину HCl , кількість грамів HCl , що міститься в 1 дм^3 цього розчину.
6. Які значення рН (7, >7, <7) мають розчини таких речовин: CH_3COONa , CH_3COOH , Na_2CO_3 , NH_4Cl , NaCl ? Вкажіть, які робочі розчини потрібно використовувати під час титрування означених розчинів за методом нейтралізації, які індикатори треба застосовувати в кожному окремому випадку для визначення точки еквівалентності?

7. Скільки грамів CH_3COOH міститься у розчині, якщо на його титрування витрачено 15 см^3 $0,1 \text{ н}$ розчину NaOH .
8. При визначенні кислотності стічних вод на титрування 100 см^3 води (за фенолфталеїном) витрачено 10 см^3 $0,1 \text{ н}$ розчину NaOH . Чому дорівнює кислотність води?
9. На титрування 100 см^3 досліджуваної води витрачено за метилоранжем 5 см^3 , а за фенолфталеїном 2 см^3 $0,1 \text{ н}$ розчину HCl . Визначити вільну і загальну лужність води.
10. pH води дорівнює 6. Які показники якості води можна визначити методом нейтралізації?
11. Яка маса соди (у грамах) необхідна для усунення твердості води об'ємом 1000 дм^3 , насиченої кальцій сульфатом за температури 20°C , якщо розчинність його рівна 2 г/дм^3 ?
12. Чому дорівнює карбонатна твердість води, якщо для її усунення до води об'ємом 20 дм^3 додано $3,71 \text{ г}$ натрій карбонату?
13. Визначити твердість води, якщо у 200 см^3 води міститься 20 мг іонів Ca^{2+} і 8 мг іонів Mg^{2+} .
14. Визначити тимчасову твердість води, у 1 дм^3 якої міститься $0,1463 \text{ г}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.
15. Яка маса кальцій гідроксиду буде потрібна для пом'якшення води об'ємом 1000 м^3 , щоб її карбонатна твердість зменшилася від $T_1 = 28 \text{ ммоль/дм}^3$ до $T_2 = 12 \text{ ммоль/дм}^3$?
16. На титрування $0,05 \text{ дм}^3$ води витрачено $4,8 \text{ мл}$ $0,1 \text{ н}$ трилону Б. Чому дорівнює карбонатна твердість води?
17. Чому дорівнює постійна твердість води, якщо для її усунення до 25 дм^3 води додано $21,6 \text{ г}$ Na_2CO_3 ?
18. Твердість деякої проби води обумовлюється тільки магній гідрокарбонатом. Під час кип'ятіння $0,5 \text{ дм}^3$ води в осад випало 14 мг $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Чому рівна твердість води?
19. Чому дорівнює твердість $0,003 \text{ М}$ розчину MgCl_2 ?
20. На титрування $0,5 \text{ дм}^3$ проби води витрачено $22,8 \text{ см}^3$ $0,1 \text{ н}$ розчину трилону Б. Чому рівна карбонатна твердість води?
21. Для пом'якшення 10 дм^3 води необхідно $1,55 \text{ г}$ Na_2CO_3 . Чому рівна твердість води?
22. Один літр води містить $48,6 \text{ мг}$ кальцій карбонату і $29,6 \text{ мг}$ магній сульфату. Скільки моль Ca^{2+} і Mg^{2+} міститься у 1 дм^3 проби води? Чому рівна загальна твердість такої проби води?
23. Чому рівна твердість $0,005 \text{ М}$ розчину CaCl_2 ?
24. Твердість деякої проби води обумовлюється тільки ферум(II) карбонатом. Під час кип'ятіння $0,25 \text{ дм}^3$ води у осад випали 4 мг FeCO_3 . Чому дорівнює твердість води?
25. Для пом'якшення 100 дм^3 води необхідно $12,72 \text{ г}$ Na_2CO_3 . Чому рівна твердість води?

26. При визначенні тимчасової твердості на титрування 0,1 дм³ води витрачено 5,25 см³ 0,01 н розчину трилону Б. Чому дорівнює тимчасова твердість води?
27. Твердість деякої проби води обумовлюється тільки кальцій нітратом Ca(NO₃)₂. При обробці 0,25 дм³ проби води натрій карбонатом Na₂CO₃ у осад випало 37,8 мг CaCO₃. Чому рівна твердість води?
28. Розрахуйте загальну твердість річкової води, якщо у 225 см³ проби міститься 0,00392 г FeCl₂, 0,00418 г Mg(HCO₃)₂, 0,0117 г MgCl₂, 0,0112 г Ca(HCO₃)₂, 0,0052 г CaCl₂.
29. Розрахуйте тимчасову та постійну твердість річкової води, якщо для її усунення до 1 дм³ води додано 0,117 г Na₂CO₃ та 0,091 г Ca(OH)₂.
30. Визначити твердість води, якщо для її усунення в об'ємі 1 м³ потрібно 159 г натрій карбонату.
31. Визначити твердість мінеральної води «Нарзан», якщо в об'ємі 1 дм³ міститься 0,3894 г йонів кальцію та 0,0884 йонів магнію.
32. Визначити магнієву твердість води, якщо твердість вихідної води становить 4 ммоль/дм³, а вміст йонів кальцію дорівнює 60 мг/дм³.
33. Яку масу вапна потрібно додати до 10 дм³ води, що містить 1,2 г/дм³ розчиненого Ca(HCO₃)₂, щоб осадити його у вигляді CaCO₃?
34. Визначити масу гашеного вапна, яку необхідно додати до 1000 дм³ води, щоб усунути її тимчасову твердість, рівну 1,45 ммоль/дм³.
35. Визначити карбонатну твердість, якщо на осадження карбонатів, що містяться у 500 см³ води витрачено 0,265 г соди.
36. Розрахувати твердість води, у 200 см³ якої міститься 0,15 г йонів кальцію.
37. Яку масу вапна (у кг) потрібно додати до 10 м³ води, що містить 1,5 г/дм³ розчиненого Ca(HCO₃)₂, щоб осадити його у вигляді CaCO₃. Визначити кальцієву твердість, якщо твердість вихідної води становить 10 ммоль/дм³, а вміст йонів магнію дорівнює 100 мг/дм³.
38. Визначити твердість мінеральної води «Моршинська», якщо в об'ємі 1 дм³ міститься 0,45 г йонів кальцію та 0,035 г йонів магнію.
39. Солоність природних вод оцінюють за вмістом Cl⁻-йонів у пробі. Розрахуйте солоність досліджуваної води, якщо на титрування проби об'ємом 10 см³ пішло 19 см³ 0,01 н розчину AgNO₃.
40. Розрахуйте солоність природної води, якщо при аналізі за схемою:

$$4\text{Cl}^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{H}^+ = 2\text{CrO}_2\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O};$$

$$2\text{CrO}_2\text{Cl}_2 + 4\text{OH}^- = \text{CrO}_4^{2-} + 2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O},$$
на титрування проби об'ємом 10 см³ пішло 23 см³ 0,01 н розчину K₂Cr₂O₇.
41. Визначити вид стічної води (кисла або лужна), якщо концентрація йонів OH⁻ дорівнює (моль/дм³):

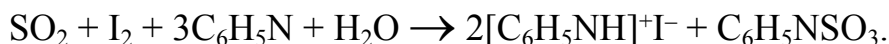
№	моль/дм ³	№	моль/дм ³
1	4·10 ⁻³	9	0,5·10 ⁻⁷
2	5,8·10 ⁻⁸	10	8,2·10 ⁻³

3	$0,2 \cdot 10^{-7}$	11	$3,5 \cdot 10^{-2}$
4	$4,7 \cdot 10^{-2}$	12	$9 \cdot 10^{-7}$
5	$3,6 \cdot 10^{-5}$	13	$5,3 \cdot 10^{-6}$
6	$7 \cdot 10^{-4}$	14	$8 \cdot 10^{-11}$
7	$9 \cdot 10^{-10}$	15	$4,5 \cdot 10^{-5}$
8	$2 \cdot 10^{-6}$	16	$3 \cdot 10^{-9}$

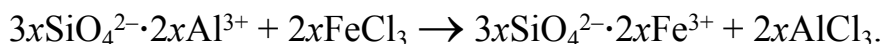
42. Визначити концентрацію йонів H^+ і OH^- у стічній воді, водневий показник якої рівний:
- 3,2;
 - 5,7;
 - 9,4;
 - 1,6.
43. Для очищення стічної води від токсичного шестивалентного хрому (у вигляді $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в якості відновника використали Na_2SO_3 . Напишіть рівняння реакції і розрахуйте кількість натрій сульфїту, необхідного для повного відновлення 800 г шестивалентного хрому.
44. Для очищення стічної води від токсичного шестивалентного хрому (у вигляді $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в якості відновника використали NaNO_2 . Напишіть рівняння реакції і розрахуйте кількість натрій нітриту, необхідного для повного відновлення 800 г шестивалентного хрому.
45. Для очищення стічної води від токсичного шестивалентного хрому (у вигляді $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в якості відновника використовували FeSO_4 . Напишіть рівняння реакції і розрахуйте кількість залізного купоросу, необхідного для повного відновлення 700 г шестивалентного хрому.
46. Напишіть рівняння реакцій і розрахуйте кількість BaCl_2 , необхідного для повного осадження 500 г шестивалентного хрому, що міститься у стічній воді.
47. Для очищення стічної води від токсичного шестивалентного хрому (у вигляді $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в якості відновника використовували SO_2 . Напишіть рівняння реакції і розрахуйте кількість сірчистого газу, необхідного для повного відновлення 950 г шестивалентного хрому.
48. Кислоти, що містяться у стічних водах машинобудівних виробництв, нейтралізують вапняним молоком (розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Який об'єм вапняного молока, що містить 500 г/дм³ CaO , потрібно для нейтралізації 100 дм³ 6%-го розчину хлоридної кислоти, густиною 1,03 г/см³?
49. Який об'єм 20%-ї хлоридної кислоти, густиною 1,098 г/см³, буде потрібно для нейтралізації 700 дм³ 5 М лужної стічної води?
50. Вуглекислий газ поглинають зі стічної води розчином кальцій гідроксиду. Спочатку утворюється осад, потім він зникає. Визначити загальний об'єм газу (у дм³), витрачений на утворення 74 г осаду.

2.2. Хімія ґрунту

1. При заболочуванні ґрунтового повітря витісняється водою, а ферум, сульфур, нітроген переходять у відновні форми (Fe^{2+} , S^{2-} , SO_3^{2-} , NO_2^-), а потім окиснюються, зв'язуючи кисень, що залишився. Оскільки анаеробні організми продовжують виробляти CO_2 , змінюється реакція середовища. Визначте рН ґрунту, якщо утворився 0,01 М розчин H_2CO_3 , $K_{\text{дис.}} = 4,45 \cdot 10^{-7}$.
2. Вилужений горизонт у підзолі, в якому розташована більша частина коріння, містить ферум(III) нітрат у кількості 0,0001 моль/дм³. Складіть рівняння гідролізу ферум(III) нітрату та визначте масу ферумвмісного продукту гідролізу.
3. Рендзини (дерено-карбонатні ґрунти) формуються, як правило, на вапняках і крейдових відкладаннях, що містять CaCO_3 до 80 %. Розрахуйте рН середовища, якщо концентрація йонів OH^- у ґрунтовій воді становить $3,15 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³.
4. У буроземах (коричневих лісових ґрунтах) досить високий вміст кальцій хлориду. Складіть рівняння гідролізу цієї солі і розрахуйте рН ґрунту, враховуючи, що утворюється розчин із вмістом HCl $1,15 \cdot 10^{-6}$ % (густина розчину 1005 кг/дм³).
5. Розрахуйте вологість зразка ґрунту масою 50 г, якщо для її визначення був застосований метод Фішера, причому на титрування пішло 20 мл 0,1 М розчину I_2 :

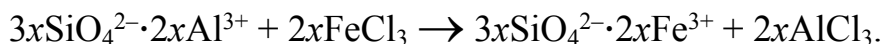


6. У мінеральному кістяку ґрунту встановився йонний обмін із ґрунтовим розчином за схемою:



Розрахуйте концентрацію йонів Al^{3+} у розчині (моль/дм³), якщо ґрунтова вода із густиною 1015 кг/дм³ містить 2 % йонів Fe^{3+} .

7. Між ґрунтовим розчином та мінеральним кістяком ґрунту встановився йонний обмін за схемою:



Розрахуйте концентрацію йонів Al^{3+} у розчині (моль/дм³), якщо ґрунтова вода із густиною 1037 кг/дм³ містить 4 % йонів Fe^{3+} .

8. При вивітрюванні гірських порід протікає реакція:



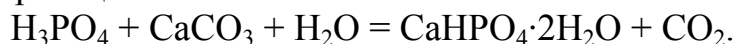
Розрахуйте, скільки утворюється каоліну на 1 дм³ розчину, якщо рН дорівнює 9,2.

9. Яка маса цинкового купоросу потрібна для приготування 0,05 % розчину з розрахунку застосування 400 дм³/га для обробітку 10 га землі? Густина солі складає 3,8 г/см³.
10. Визначте масу піролюзиту, масова частка манган діоксиду в якому 98%, необхідну для отримання 16,5 кг мангану.

11. Визначте масу галуни складу $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, який потрібно додати до 600 г розчину калій сульфату з масовою часткою солі 0,1, щоб масова частка останнього збільшилася у 1,5 рази.
12. Яку масу вапняку, що містить 10% некарбонатних домішок, потрібно розкласти для отримання вуглекислого газу, необхідного для взаємодії з лугом з метою отримання розчину, що містить 10,6 г натрій карбонату та 42 г натрій гідрогенкарбонату.
13. Визначте, яку масу ферум(II) сульфату гептагідрату потрібно додати до 100 мл 0,1М розчину ферум(II) сульфату ($\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$), щоб отримати розчин солі з масовою часткою речовини 10%.
14. Визначте, який об'єм вуглекислого газу (н.у.) необхідно пропустити крізь розчин гашеного вапна масою 394,7 г з масовою часткою речовини 15%, щоб отримати 98,6 г суміші кальцій карбонату та кальцій гідрогенкарбонату.
15. Визначте, який об'єм вуглекислого газу (н.у.) виділиться, якщо 400 г доломіту з масовою часткою некарбонатних домішок 8% помістити в надлишок хлоридної кислоти.
16. Визначте, в якому об'ємі води потрібно розчинити алюмокалієвий галун, щоб приготувати 300г розчину калій сульфату з масовою часткою солі 0,02.
17. Визначте, в якому об'ємі води потрібно розчинити сіль Мора, щоб приготувати 300 г розчину ферум(II) сульфату з масовою часткою солі 0,02.
18. Визначте масу залізного купоросу, яку потрібно розчинити в 400г води, щоб отримати розчин солі з масовою часткою речовини 4%.
19. Визначте масу мідного купоросу, яку потрібно розчинити в 200г води, щоб отримати розчин солі з масовою часткою речовини 0,1.
20. В якому об'ємі води розчинили 50 г мідного купоросу, якщо отримали розчин з масовою часткою солі 0,4?
21. При дії надлишку кальцінованої соди на розчин, що містить однакові маси хлоридної та сульфатної кислот, виділилося 13,44 л газу (н.у.). Яка маса осаду утвориться при дії на такий же за складом і масою розчин кислот надлишком розчину барій нітрату.
22. Газ, отриманий при обпалюванні 1,92 кг піриту, окиснили киснем. Масова частка домішок у піриті становила 15%. Продукт реакції окиснення розчинили у 21,2 кг розчину сульфатної кислоти з масовою часткою кислоти 60%. До отриманого розчину додали надлишок розчину барій нітрату. Визначте масу осаду, що при цьому утворився.
23. З 2 кг технічного піриту отримали сульфур діоксид, при взаємодії якого з надлишком сірководню виділилося 2304 г сірки. Масова частка виходу сульфур діоксиду склала 80%. Розрахуйте масову частку FeS_2 у технічному піриті.

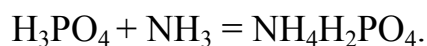
24. Визначте маси купрум(II) хлориду дигідрату та розчину купрум(II) хлориду з масовою часткою солі 0,2, які потрібно використати для приготування розчину масою 500 г з масовою часткою солі 0,25.
25. Яку масу кальцій нітрату тетрагідрату потрібно додати до 200 г розчину кальцій нітрату з масовою часткою солі 0,15, щоб отримати розчин з масовою часткою солі 38%.
26. Визначте масу розчину купрум(II) хлориду з масовою часткою солі 0,2, до якого потрібно додати 17,1 г купрум(II) хлориду дигідрату, щоб приготувати розчин з масовою часткою солі 0,4.
27. Визначте масу залізного купоросу та об'єм води (в см³), які необхідно використати для приготування 700 г розчину з масовою часткою солі 25%.
28. Розрахуйте масову частку Карбону (%) в еквімолярній суміші кальцинованої та питної соди масою 120 г.
29. У 5 г хромової руди, в якій Хром перебуває у вигляді ферум(II) хроміту, міститься 0,8 г Феруму. Розрахуйте масову частку хром(III) оксиду в цій руді.
30. Скільки тонн потрібно взяти фосфориту, який містить 65% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, щоб отримати з нього 1 тону фосфору, якщо втрати фосфору при виробництві складають 3%.
31. 25 г хромової руди, в якій Хром перебуває у вигляді ферум(II)хроміту, містить 4 г Феруму. Визначте масову частку Хрому у цій руді.
32. Яку масу коксу, що містить 90% Карбону, потрібно витратити на отримання заліза з 5 кг руди, масова частка ферум(III) оксиду в якій становить 95%? Виробничі втрати коксу в процесі реакції відновлення руди становлять 15%.
33. Яку масу алюмінію можна отримати з 2 тонн глинозему, що містить 96% алюміній оксиду? Виробничі втрати у процесі добування оксиду становлять 20%.
34. З гірської породи масою 50г, що містить мінерал куприт, отримали 40г міді. Яка масова частка Cu_2O в даній породі?
35. Яку масу фосфору можна отримати з двох тонн фосфориту, масова частка кальцій фосфату в якому становить 80%. Відомо, що виробничі втрати складають 15%.
36. Розрахуйте масову частку Оксигену (%) в еквімолярній суміші кристалічної та питної соди масою 120 г.
37. Розрахуйте масову частку Натрію (%) в еквімолярній суміші кристалічної та каустичної соди масою 120 г.
38. Скільки тонн потрібно взяти фосфориту, який містить 56% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, щоб отримати з нього 500 кг фосфору, якщо втрати фосфору при виробництві складають 1%.
39. 25 г хромової руди, в якій Хром перебуває у вигляді ферум(II) хроміту, у кількості 4 г. Визначте масову частку Феруму в цій руді.

40. Преципітат $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (розповсюджене фосфатне добриво) одержують за реакцією:



Розрахуйте, яка кількість CaCO_3 , що містить 8% домішок, буде потрібна для одержання 1 т преципітату.

41. Для некореневої підгодівлі бобових культур використовується 0,01%-й розчин молібденовокислого амонію $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Яку кількість цієї речовини необхідно взяти для приготування 5 дм^3 такого розчину? Густина солі складає 1,05 кг/дм^3 .
42. Для передпосівного обробітку насіння використовується купрум(II) сульфат пентагідрат з розрахунку 10 кг/га . Скільки кг цієї речовини необхідно взяти для приготування 150 м^3 0,1%-го розчину і яку територію можна обробити? Густина розчину 1,01 кг/дм^3 .
43. Амофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ одержують шляхом нейтралізації фосфатної кислоти амоніаком:



Скільки амоніаку у м^3 за н.у. буде потрібно для одержання 10 т амофосу?

44. Для некореневої підгодівлі деяких рослин використовується 0,8%-й розчин борної кислоти H_3BO_3 з розрахунку 500 $\text{дм}^3/\text{га}$. Який об'єм кислоти необхідно взяти для обробітку 15 га землі? Густина кислоти 1,435 г/см^3 .
45. Визначте масу піролюзиту, масова частка манган(IV) оксиду, в якому становить 80%, та об'єм хлоридної кислоти ($\omega=0,2$, $\rho=1,1 \text{ кг/дм}^3$), які потрібно використати для добування хлору масою 14,2 кг . Вихід продукту становить 85%. (25,6 кг ; 156л)
46. Які маси червоного фосфору та калій хлорату були використані для добування фосфор(V) оксиду, якщо відомо, що при розчиненні цього оксиду у 200г розчину ортофосфатної кислоти ($\omega=10\%$) масова частка кислоти збільшилася на 4%. (2,82г Р, 9,27г KClO_3)
47. Визначте формулу кристалогідрату натрій фосфату, якщо після нагрівання 190 г його утворився твердий залишок масою 82г. ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)
48. Кальцій фосфід добувають з фосфориту та вугілля в електричних печах. Яку масу кальцій фосфіду можна добути з 50 кг фосфориту, масова частка кальцій ортофосфату в якому становить 62%, а виробничі втрати складають 5%? (17,3 кг)
49. Визначте масу фосфору, яку можна добути з двох тонн фосфориту, масова частка кальцій фосфату в якому становить 80%. Відомо, що виробничі втрати становлять 15%. (272 кг)
50. Яку масу ортофосфатної кислоти можна добути з 800 кг фосфориту, масова частка домішок у якому становить 35% (329 кг)
51. До розчину ортофосфатної кислоти об'ємом 106,5мл з масовою часткою речовини 40% ($\rho=1,38 \text{ г/см}^3$) прилили 196,74мл розчину натрій гідроксиду з масовою часткою лугу 20% ($\rho=1,22 \text{ г/см}^3$). З цього розчину нагріванням

- виділили 225,6г кристалогідрату. Визначте формулу кристалогідрату ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$)
52. При прожарюванні 12,1г кристалогідрату купрум(II) нітрату маса речовини зменшилася на 8,1г. Визначте формулу кристалогідрату. ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
 53. При термічному розкладі 300 г вапняку, що містить 10% не карбонатних домішок, утворилося 186,84г твердого залишку. Визначте ступінь розкладання кальцій карбонату (%) і масовий склад твердого залишку. (95%, 144,02г CaO)
 54. При сплавленні 50 кг вапняку та 120 г силіцій діоксиду одержали 45 г кальцій силікату. Обчисліть вихід продукту у відсотках. (77,6%)
 55. Яку масу цинкової обманки, масова частка домішок в якій становить 10%, потрібно окиснити, щоб отримати 44,8м³ сульфур діоксиду? (216кг)
 56. У збагаченому апатиті масова частка P_2O_5 становить 40%. Яка маса апатиту потрібна для одержання розчину ортофосфатної кислоти масою 196 кг з масовою часткою кислоти 60%. (213 кг)
 57. Яку масу фосфориту, що містить 80% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, необхідно використати для одержання 10 кг ортофосфатної кислоти? (19,8 кг)
 58. У якій масі бокситу міститься стільки ж алюмінію, скільки його є в 0,5 т кріоліту? Масова частка домішок у бокситі становить 20%. (179 кг)
 59. Масові частки елементів у мінералі нефелін і становлять: 24,67% K, 17,10% Al, 17,72% Si, 40,51% O. Подайте формулу мінералу як комбінацію оксидів. ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)
 60. При розчиненні 30 г кристалогідрату алюміній сульфату у 600 мл води утворився розчин з масовою часткою солі 3,23%. Визначте формулу кристалогідрату. ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)
 61. Визначте масу фосфор(V) оксиду, яку можна одержати при спалюванні фосфіну, одержаного з кальцій фосфіду масою 54,6 г. (42,6г)
 62. Який об'єм амоніаку витратили на добування 200 кг розчину калійної селітри з масовою часткою солі 80%, якщо виробничі втрати становлять 6% (60,5л)
 63. При дії сульфатної кислоти на фосфорит масою 0,5 т з масовою часткою кальцій фосфату 62% одержали суперфосфат масою 450 кг. Визначте вихід суперфосфату у відсотках від теоретичного можливого. (89%)
 64. Який об'єм розчину ортофосфатної кислот з масовою часткою кислоти 60% ($\rho=1,4 \text{ г/см}^3$) можна добути з 50 кг фосфориту, масова частка кальцій фосфату в якому становить 62%. (23,3м³)
 65. Глауберову сіль масою 644г розчинили у воді. При цьому отримали розчин, масова частка солі в якому 0,1. Визначте об'єм використаної води. (2196 мл)
 66. До складу природних геохімічних сполук входить магнеєва слюда $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$. Розрахуйте відсотковий склад елементів, що входять до складу цієї слюди.
 67. Найпоширеніші мінерали – це польові шпати. Вони становлять більше половини маси земної кори. Напишіть формулу натрієвого польового

шпату, молярна маса якого рівна 262, зважаючи на те, що у його молекулу входить йон натрію, котрий відіграє роль зовнішньої сфери комплексної сполуки, а відсотковий масовий склад елементів такий: Na – 8,79%; Al – 10,3%; Si – 32,06%; O – 48,85%.

68. Визначте молекулярну формулу речовини, використовуючи такі дані про її кількісний та якісний склад: речовина містить Натрій, Сульфур та Оксиген; масові частки Натрію та Сульфуру у сполуці відповідно становлять 32,4% та 22,5%.
69. Визначте молекулярну формулу речовини, використовуючи такі дані про її кількісний та якісний склад: кристалогідрат містить Магній, Сульфур та Оксиген та кристалізаційну воду. Їхні масові частки відповідно становлять 9,76%, 13,01%, 26,02% та 51,21%.
70. Визначте молекулярну формулу речовини, використовуючи такі дані про її кількісний та якісний склад: кристалогідрат містить Ферум, Сульфур, Оксиген та кристалізаційну воду, масові частки яких відповідно становлять 20,14%, 11,51%, 23,02% та 45,33%.
71. До складу одного з добрив входить Карбон, Оксиген, Нітроген, Гідроген. Масові частки Карбону, Оксигену та Нітрогену відповідно становлять 0,2000, 0,2667, 0,4667. Визначте молекулярну формулу речовини.
72. Визначте молекулярну формулу сполуки, що містить Карбон, Оксиген та Гідроген і має молекулярну масу 60 г/моль. Масові частки Карбону та Оксигену в сполуці становлять 40% та 53,33%.
73. До складу речовини входить Гідроген, Фосфор та Оксиген, масові частки яких відповідно становлять 3,06%, 31,63% та 65,31%.
74. Виконати розрахунки показників властивостей ґрунтів (пористості n , коефіцієнта пористості e , щільності скелета ґрунту ρ_{sk} а також ступеня вологості S_r) та коефіцієнта повітровмісту або коефіцієнта аерації (G_r) для варіантів завдань наведених у табл. 1.

Таблиця 1

Варіанти завдань контрольної роботи

№ варіанта	ρ , г/см ³	ρ_s , г/см ³	W, ч. од.
1	1,70	2,66	0,120
2	1,90	2,69	0,370
3	2,00	2,67	0,230
4	2,07	2,65	0,204
5	1,80	2,67	0,420
6	1,81	2,68	0,081
7	1,98	2,62	0,190
8	1,91	2,64	0,225
9	1,85	2,61	0,210
10	1,95	2,63	0,240
11	1,78	2,61	0,195
12	1,86	2,63	0,235
13	1,71	2,65	0,150
14	1,95	2,64	0,400
15	2,10	2,60	0,250

16	2,00	2,65	0,210
17	1,90	2,57	0,520
18	1,91	2,68	0,180
19	1,89	2,62	0,310
20	1,95	2,65	0,250

*Примітка: ρ – щільність ґрунту, г/см³; ρ_s – щільність часток ґрунту г/см³, W – вологість ґрунту, ч. од.

75. Виконати оцінку гранулометричного складу ґрунту, його однорідності, а також щільності будови та ступеня вологості для варіантів завдань наведених у табл. 2, показники фізичних властивостей прийняти згідно таблиці 1.

Таблиця 2

Варіанти завдань контрольної роботи

№ завдання	Вміст часток у % (за масою) d, мм									
	>2,0	2,0÷1,0	1,0÷0,5	0,5÷0,25	0,25÷0,1	0,1÷0,05	0,05÷0,01	0,01÷0,005	0,005÷0,001	<0,001
1	2,0	10,0	12,0	32,0	30,0	5,0	4,0	4,0	0,5	0,5
2	1,0	1,0	20,0	25,0	20,0	28,0	3,0	1,5	0,5	0,0
3	4,0	3,0	20,0	24,0	30,0	10,0	4,0	3,0	2,0	0,0
4	0,5	1,5	18,0	27,0	18,0	26,0	4,0	3,0	2,0	0,0
5	0,0	4,5	4,7	16,7	14,0	30,0	20,0	7,5	1,4	1,2
6	1,2	1,3	23,0	28,0	19,2	21,1	2,5	2,0	1,2	0,5
7	0,0	1,0	3,0	20,0	46,0	20,0	7,0	2,0	1,0	0,0
8	2,0	10,0	12,0	32,0	15,0	10,0	10,0	8,0	1,0	0,0
9	5,0	3,0	25,0	27,0	20,0	8,0	8,0	3,0	1,0	0,0
10	1,0	5,0	15,0	18,0	42,0	12,0	4,0	2,0	1,0	0,0
11	5,0	5,0	25,0	27,0	18,0	18,0	1,0	1,0	0,0	0,0
12	2,0	5,0	10,0	23,0	40,0	6,0	10,0	3,0	1,0	0,0
13	1,0	11,0	11,0	33,0	29,0	6,0	3,0	3,0	2,5	0,5
14	1,0	2,0	19,0	25,0	20,0	28,0	3,0	1,5	0,5	0,0
15	4,0	3,0	20,0	24,0	30,0	10,0	4,0	3,0	2,0	0,0
16	0,5	1,5	18,0	27,0	18,0	26,0	4,0	3,0	2,0	0,0
17	0,0	4,5	4,7	16,7	14,0	30,0	20,0	7,5	1,2	1,0
18	1,2	1,3	23,0	28,0	19,2	21,1	2,5	2,0	1,0	0,7
19	0,0	1,0	3,0	20,0	46,0	20,0	7,0	2,0	1,0	0,0
20	2,0	10,0	14,0	30,0	15,0	10,0	8,0	10,0	1,0	0,0

За даними результатів оцінки гранулометричного складу ґрунту необхідно:

- побудувати циклограму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1);
- побудувати трикутну діаграму Ферре гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 2);
- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі (див. рис. 3).

2.3. Хімія атмосфери

1. Суміш амоніаку та азоту має густину за гелієм 6. Обчисліть: а) об'ємну частку азоту (%) у суміші; б) масову частку (%) амоніаку в суміші. (64%; 25,5%)
2. Газова суміш складається з метану, азоту та амоніаку, об'єми яких відносяться відповідно як 2:1:2. Обчисліть відносну густину суміші за гелієм. (4,7)
3. Густина за повітрям суміші карбон діоксиду та карбон монооксиду становить 1,3. Обчисліть об'ємні частки (%) газів, що входять до складу суміші. (60,6%; 39,4%)
5. Обчисліть густину за повітрям еквімолярної газової суміші, що містить азот та кисень. (1,034)
6. Обчисліть густину за воднем газової суміші, що містить 100 см³ азоту, 300 см³ кисню та 400 см³ карбон діоксиду. Виміри об'ємів проводились за однакових умов. (18,75)
7. Обчисліть густину за амоніаком суміші, що містить карбон монооксид, карбон діоксид та водень, об'єми яких відносяться відповідно як 1:4:5. (1,26)
8. Густина за воднем суміші кисню та азоту становить 15,5. Обчисліть масові частки газів (%) у суміші. (77,4%; 22,6%)
9. Розрахуйте об'єм повітря необхідний для спалювання 20,0 дм³ суміші чадного газу та водню (н.у.). Густина за амоніаком цієї суміші становить 1,2. (47,6л)
10. Обчисліть густину за воднем суміші пропану та метану, якщо відомо, що суміш містить 40% метану за об'ємом. Який об'єм кисню піде на спалювання 20 дм³ (н.у.) цієї суміші? (16,4; 76л)
11. Густина за воднем суміші метану та чадного газу 10. Обчисліть об'єм кисню (н.у.), який витратиться на спалювання 5 моль вихідної суміші. (168,56 л)
12. При термічному розкладі суміші амоній карбонату та амоній гідроген карбонату масою 120 г з масовою часткою амоній карбонату 30% утворилась двокомпонентна газова суміш, яку привели до нормальних умов. Розрахуйте густину цієї суміші за воднем. (14,48)
13. Який об'єм метану потрібно додати до 20 дм³ (н.у.) карбон діоксиду, щоб густина одержаної суміші становила 1,34 г/дм³? (19,95 л)
14. Який об'єм кисню потрібно використати для повного спалювання 120 м³ газової суміші (н.у.), що містить чадний газ та водень, об'єми яких відносяться як 1:4? Розрахуйте густину за воднем вихідної суміші. (60м³; 3,6)
15. Розрахуйте об'єм повітря (н.у.), що піде на спалювання 40 см³ еквімолярної суміші метану та чадного газу. Обчисліть густину вихідної суміші за амоніаком. (238см³; 1,3)
16. Обчисліть густину за повітрям газової суміші (н.у.), що утвориться при термічному розкладі купрум(II) нітрату. (1,425)
17. При термічному розкладі суміші натрій гідрогенкарбонату та амоній гідрогенкарбонату масою 49,4 г утворилось 13,44 дм³ (н.у) газової суміші.

- Обчисліть: а) густину утвореної газової суміші за воднем; б) масові частки солей (%) у вихідній суміші. (17,5; 32%; 68%)
18. Густина за воднем суміші, що містить метан, водень та карбон діоксид, становить 8,0. На спалювання 200 см³ вихідної суміші витратили 500 см³ повітря. Обчисліть об'ємний склад вихідної суміші (%). Усі виміри об'ємів проводились за однакових умов. Об'ємна частка кисню в повітрі становила 20%. (10%; 60%; 30%)
19. При адсорбції SO₂ вапняним молоком (Ca(OH)₂) поглинається 0,6 кг SO₂. Який об'єм вапняного молока витрачено, якщо концентрація його 10% (за масою), а густина 1,12 г/см³?
20. При вловлюванні SO₂ амоніачною водою (NH₄OH) поглинається 0,8 кг SO₂. Який об'єм амоніачної води витрачено, якщо концентрація її 10 % (за масою), а густина 0,958 г/см³?
21. Який об'єм (м³) метану (CH₄) можна одержати при каталітичному гідруванні 10 м³ промислового газу, що містить 15% (за об'ємом) CO?
22. При абсорбції хлору із промислового газу, що містить 10 % (за об'ємом) Cl₂ витрачено 10 дм³ 10 % мас. розчину NaOH густиною 1,1 г/см³. Який об'єм промислового газу пропущено через адсорбент?
23. Для поглинання нітроген(IV) оксиду газу, що відходять, обробляють водою. Розрахуйте, скільки літрів NO₂ міститься у 1 дм³ газів, що відходять, якщо при пропущенні 100 дм³ газу через 5 дм³ води одержали 5 кг 1%-го розчину нітратної кислоти?
24. Розрахувати масу CO₂, що поступає в атмосферу, під час спалювання 2,7 т коксу, якщо ступінь очистки газу становить 75 %.
25. В атмосферу викидається 8000 т SO₂. З цієї кількості відходів уловлюється лише 44%. Визначити, яка кількість CaCO₃ необхідна для поглинання цієї кількості SO₂.
26. 500 т сухого коксового газу містить: водень – 56 %; метан – 25,5 %; етилен – 2,5 %; карбон(II) оксид – 7 %; карбон(IV) оксид – 2,6 %; кисень – 0,7 %, азот – 5,7 %. Визначити масовий склад продуктів згоряння палива.
27. Напишіть формули фреонів Ф-21, Ф-113 і Ф-123. Розташуйте фреони в порядку зростання їх впливу на руйнацію озону в атмосфері.
28. Напишіть формули фреонів Ф-11, Ф-115 і Ф-123. Розташуйте фреони в порядку зростання їх впливу на руйнацію озону в атмосфері.
29. Напишіть формули фреонів Ф-32, Ф-135 і Ф-123. Розташуйте фреони в порядку зростання їх впливу на руйнацію озону в атмосфері.
30. Запишіть у кодованій формі фреону наступні фторхлорвуглеводні: а) CH₃CCl₂F; б) CF₃CHCl₂; в) CF₂Cl₂; г) CHF₂Cl. Який з цих фреонів найбільш небезпечний для озонового шару?
31. Запишіть у кодованій формі фреону наступні фторхлорвуглеводні: а) CH₃CClF₂; б) CF₃CH₂Cl; в) CHFCl₂; г) CH₂FCl. Який з цих фреонів найбільш небезпечний для озонового шару?

Рекомендована література

Базова

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометиздат, 1970. – 444 с.
2. Аналитическая химия (химические методы анализа). Под ред. О.М. Петрухина. – М.: Химия, 1993. – 400 с.
3. Аналітична хімія: підручник для студентів напряму «Фармація» і «Біотехнологія» вищих навчальних закладів / Н.К. Федущак, Ю.І. Бідниченко, С.Ю. Крамаренко, В.О. Калібабчук [та ін.]. – Вінниця: Нова Книга, 2012. – 640 с.: іл.
4. Аналітична хімія: Якісний та кількісний аналіз: Навчальний конспект лекцій / В.В. Болотов, О.М. Свєчнікова, М.Ю. Голік та ін.; За ред. проф. В.В. Болотова. – Вінниця: Нова книга, 2011. – 424 с.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд. МГУ, 1970. – 488 с.
6. Базель Я.Р., Кормош Ж.О., Тирчо Ю.Б. Практикум з аналітичної хімії для студентів хімічного факультету (хімічні методи аналізу). – Ужгород: УжДУ, 1999. – 72 с.
7. Гождзінський С.М., Зайцев В.М., Калібабчук В.О., Рудковська Л.М. Основы аналітичної хімії. – Київ, 2002. – 141 с.
8. Дмитриев М.Т., Казанина Н.И., Пинигина И.А. Санитар-но-химический анализ загрязняющих веществ в окружа-ющей среде // Справочник. – М.: Химия, 1989. – 368 с.
9. Золотов Ю.А. Основы аналитической химии. В 2 кн. – М.: Высшая школа. 1999.
10. Луцевич Д.Д., Мороз А.С., Грибальська О.В., Огурцов В.В. Аналітична хімія. – Київ: Здоров'я, 2003. – 296 с.
11. Луцевич Д.Д. Аналітична хімія: підручник / Д.Д. Луцевич, А.С. Мороз, О.В. Грибальська. – 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Медицина, 2009. – 416 с., іл.
12. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. – М.: Химия, 1996. – 319 с.
13. Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища. – К.: Либідь, 1996. – 304 с.
14. Новикова Ю.Ю., Ласточкина Л.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
15. Перегуд Е.Л., Гернет Е.В. Химический анализ воздуха промышленных предприятий. – Л.: Химия, 1973. – 440 с.
16. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Аналитическая химия. 2-х книгах. – М.: Химия, 1990. – 845 с.
17. Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А. Моніторинг навколишнього природного середовища. – К.: КНТ, 2007. – 172 с.
18. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде. – М.: Мир, 1982. – 280 с.

19. Хімічні та фізико-хімічні методи аналізу в екологічних дослідженнях / Ломницька Я.Ф., Чабан Н.Ф. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. – 304 с.
20. Чеботарьов О.М., Малахова Н.М., Щербакова Т.М. Пробовідбір та пробопідготовка при аналізі об'єктів навколишнього середовища. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів хімічного факультету. – Одеса, ОНУ імені І. І. Мечникова, 2005. – 60 с.
21. Чеботарьов О.М., Захарія О.М., Щербакова Т.М., Шестакова М.В. Методи дослідження природних та промислових вод. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів хімічного факультету. – Одеса, ОНУ імені І. І. Мечникова, 2002. – 90 с.

Допоміжна

1. Алесковский В.Б., Бардин В.В., Бойчинова М.И. и др. Физико-химические методы анализа. Практическое руководство: Учебн. пособие для вузов / Под ред. В.Б.Алесковского. – Л.: Химия, 1988. – 376 с.
2. Анализ объектов окружающей среды: Инструментальные методы: пер. с англ. / Под ред. Р. Сониасси. – М.: Мир, 1993. – 80 с.
3. Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач / В.П. Васильев, Л.А. Кочергина, Т.Д. Орлова; под ред. В.П. Васильева. – 2-е изд. – М.: Дрофа, 2003. – 320 с.
4. Гурецкий И.Я., Кузнецов В.В., Кузнецова Л.Б., Кучкарев Е.А. и др. Практикум по физико-химическим методам анализа / Под ред. О.М.Петрухина. – М.: Химия, 1987. – 248 с.
5. Дорохова Е.Н. Задачи и вопросы по аналитической химии / Е.Н. Дорохова, Г.В. Прохорова. – М.: Мир, 2001. – 267 с.
6. Крешков А.П. Основы аналитической химии: в 3 т. / А. П.Крешков. – М.: Химия, 1980.
7. Кузяков Ю.Я., Семененко К.А., Зоров Н.Б. Методы спек-трального анализа: Уч. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 213 с.
8. Кунце У. Основы качественного и количественного анализа / У. Кунце, Г. Шведт. – М.: Мир, 1997. – 424 с.
9. Набиванец Б.И., Мазуренко Е.А. Хроматографический анализ: Пособие для вузов. – Киев: Вища школа, 1979. – 264 с.
10. Основы аналитической химии: в 2 кн. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева [и др.]; под ред. Ю.А. Золотова. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1999. – 351 с.
11. Основы аналитической химии. Практическое руководство / В.И. Фадеева, Т.Н. Шеховцова, В.М. Иванов [и др.]; под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. шк., 2001. – 463 с.
12. Практикум по аналитической химии / В.П. Васильев, Р.П. Морозова, Л.А. Кочергина; под ред. В.П. Васильева. – М.: Химия, 2000. – 328 с.
13. Фритц Дж. Количественный анализ / Дж. Фритц, Г.Шекк. – М.: Мир, 1978. – 557 с.
14. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.:Химия, 1984. – 168 с.

Розчинність кислот, основ, солей у воді

Катіони	Аніони												
	OH ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	CO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	CH ₃ COO ⁻
H ⁺	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р
NH ₄ ⁺	р	р	р	р	р	—	р	р	р	р	р	—	р
Na ⁺ , K ⁺	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
Mg ²⁺	н	м	р	р	р	—	н	р	р	н	н	н	р
Ca ²⁺	м	н	р	р	р	—	н	м	р	н	н	н	р
Ba ²⁺	р	м	р	р	р	р	н	н	р	н	н	н	р
Al ³⁺	н	м	р	р	р	—	—	р	р	н	—	н	р
Cr ³⁺	н	м	р	р	н	н	—	р	р	н	—	н	р
Zn ²⁺	н	м	р	р	р	н	н	р	р	н	н	н	р
Mn ²⁺	н	р	р	р	р	н	н	р	р	н	н	н	р
Co ²⁺	н	м	р	р	р	н	н	р	р	н	н	н	р
Ni ²⁺	н	м	р	р	р	н	н	р	р	н	н	н	р
Fe ²⁺	н	м	р	р	р	н	н	р	р	н	н	н	р
Fe ³⁺	н	м	р	р	—	—	—	р	р	н	—	н	—
Cd ²⁺	н	р	р	р	р	н	н	р	р	н	н	н	р
Hg ²⁺	—	р	р	м	н	н	н	р	р	н	—	—	р
Cu ²⁺	н	р	р	р	—	н	н	р	р	н	н	н	р
Ag ⁺	—	р	н	н	н	н	н	м	р	н	н	н	р
Sn ²⁺	н	р	р	р	м	н	—	р	—	н	—	—	—
Pb ²⁺	н	н	м	м	н	н	н	н	р	н	н	н	р
р – розчинна, м – малорозчинна, н – нерозчинна речовина, — речовина не існує або розкладається водою													

Додаток Б

Константи дисоціації кислот та основ

Таблиця Б.1

Константи дисоціації деяких кислот

Назва	Формула	K_a	pK_a
Дифосфатна	$H_4P_2O_7$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	0,91
		$7,9 \cdot 10^{-3}$	2,10
		$2,0 \cdot 10^{-7}$	6,70
		$4,8 \cdot 10^{-10}$	9,32
Карбонатна	H_2CO_3	$4,5 \cdot 10^{-7}$	6,35
		$4,8 \cdot 10^{-11}$	10,32
Мурашина	$HCOOH$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75
Нітритна	HNO_2	$5,1 \cdot 10^{-4}$	3,29
Ортофосфатна	H_3PO_4	$7,1 \cdot 10^{-3}$	2,15
		$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,21
		$5,0 \cdot 10^{-13}$	12,30
Оцтова	CH_3COOH	$1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76
Сульфідна	H_2S	$1,0 \cdot 10^{-7}$	6,99
		$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,60
Сульфітна	H_2SO_3	$1,4 \cdot 10^{-2}$	1,85
		$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,20
Хроматна	H_2CrO_4	$1,6 \cdot 10^{-1}$	0,80
		$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,50
Ціанідна	HCN	$5,0 \cdot 10^{-10}$	9,30
Щавлева	$H_2C_2O_4$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25
		$5,4 \cdot 10^{-5}$	4,27

Таблиця Б.2

Константи дисоціації деяких основ

Назва	Формула	K_b	pK_b
Розчин амоніаку	$NH_3 \cdot H_2O$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	4,75
Розчин гідразину	$N_2H_4 \cdot H_2O$	$9,3 \cdot 10^{-7}$	6,03
Розчин гідроксиламіну	$NH_2OH \cdot H_2O$	$8,9 \cdot 10^{-9}$	8,09

Додаток В

Добутки розчинності малорозчинних сполук

Таблица В.1

Добутки розчинності деяких малорозчинних сполук

Формула речовини	ДР	Формула речовини	ДР
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	Cu(OH) ₂	$8,3 \cdot 10^{-20}$
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	CuS	$6,3 \cdot 10^{-36}$
AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	Fe(OH) ₂	$7,1 \cdot 10^{-16}$
Ag ₂ SO ₄	$1,6 \cdot 10^{-5}$	Fe(OH) ₃	$6,3 \cdot 10^{-38}$
AgSCN	$1,1 \cdot 10^{-12}$	FeS	$5,0 \cdot 10^{-18}$
Ag ₂ CrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-12}$	HgS	$1,6 \cdot 10^{-52}$
Ag ₃ PO ₄	$1,3 \cdot 10^{-20}$	Mg(OH) ₂	$6,0 \cdot 10^{-10}$
Al(OH) ₃	$3,2 \cdot 10^{-34}$	MgCO ₃	$2,1 \cdot 10^{-5}$
AlPO ₄	$5,75 \cdot 10^{-19}$	MnCO ₃	$1,8 \cdot 10^{-11}$
BaSO ₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$	MnS	$2,5 \cdot 10^{-10}$
BaCO ₃	$4,0 \cdot 10^{-10}$	Ni(OH) ₂	$2,0 \cdot 10^{-15}$
BaCrO ₄	$1,2 \cdot 10^{-10}$	NiS	$3,2 \cdot 10^{-19}$
Bi(OH) ₃	$4,0 \cdot 10^{-10}$	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Bi ₂ S ₃	$1,0 \cdot 10^{-97}$	PbCrO ₄	$1,8 \cdot 10^{-14}$
CaF ₂	$4,0 \cdot 10^{-11}$	PbI ₂	$1,1 \cdot 10^{-9}$
CaCO ₃	$3,8 \cdot 10^{-9}$	Pb(OH) ₂	$7,9 \cdot 10^{-16}$
CaSO ₄	$2,5 \cdot 10^{-5}$	SrCO ₃	$1,1 \cdot 10^{-10}$
Ca ₃ (PO ₄) ₂	$2,0 \cdot 10^{-29}$	Sb(OH) ₃	$1,7 \cdot 10^{-38}$
CdS	$1,6 \cdot 10^{-28}$	Zn(OH) ₂	$1,4 \cdot 10^{-17}$
Co(OH) ₂	$6,3 \cdot 10^{-15}$	Zn ₃ (PO ₄) ₂	$9,1 \cdot 10^{-33}$
Cr(OH) ₃	$6,3 \cdot 10^{-31}$	ZnS	$2,5 \cdot 10^{-22}$

Навчальне видання

**Базюк Лілія Володимирівна
Кузишин Ольга Василівна
Мідак Лілія Ярославівна**

**Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу
«Аналітична хімія навколишнього середовища»**

Літературний редактор і коректура – Лілія Мідак, Лілія Базюк
Комп'ютерна верстка – Лілія Базюк
Дизайн обкладинки – Іван Кравець

Підписано до друку 04.12.2018.
Формат 60х84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура "Times New Roman". Ум. друк арк. 4,8825
Наклад 100 пр. Зам. № 27 від 10.12.2018.

Видавець: ФО-П Петраш Ксенія Тарасівна
77300 Україна, Івано-Франківська обл., м. Калуш,
вул. Дзвонарська, 4, тел. (066) 656-62-63
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ДК № 4928 від 02.07.2015 р.

Виготовлювач: підприємець Голіней О. М.
76000, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 128,
тел.: (0342) 580 432, +38 066 481 66 01,
+38 050 540 30 64
e-mail: gsm1502@ukr.net