

**С. А. ПОЛІЩУК, С. І. ЦЕХМІСТРЕНКО
В. М. ПОЛІЩУК**

ХІМІЯ З ОСНОВАМИ БІОГЕОХІМІЇ

ПРАКТИКУМ



С.А. Поліщук, С.І. Цехмістренко, В.М. Поліщук

**ХІМІЯ
З ОСНОВАМИ
БІОГЕОХІМІЇ
ПРАКТИКУМ**

Біла Церква
2024

УДК 664.1/9 (076)

Затверджено вченою радою Білоцерківського національного аграрного університету (протокол № 6 від 28.06.2024 р.)

Рецензенти:

Бітюцький В.С., д-р с.-г. наук, професор, зав. кафедри екології та біотехнології Білоцерківського національного аграрного університету.

Михайленко О.В., канд. хім. наук, доцент кафедри супрамолекулярної хімії Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Поліщук С.А., Цехмістренко С.І., Поліщук В.М. Хімія з основами біогеохімії. Практикум / С.А. Поліщук, С.І. Цехмістренко, В.М. Поліщук. – Біла Церква, 2024. – 208 с.

У посібнику викладено теоретичні аспекти основних розділів хімії: фізичної, колоїдної, аналітичної, органічної та біогеохімії. Розглянуто основні напрямки розвитку науки про структуру і властивості органічних сполук (вуглеводнів та їх похідних), методи їх синтезу та розпаду, знаходження в природі та взаємодія з живим організмом. Висвітлено хімічні явища в основі з фізичними процесами для вивчення макро- і мезоскопічних систем живої та неживої природи, а також сучасні фізико-хімічні методи їх дослідження. У розділі «Основи біогеохімії» охарактеризовано основні цикли біогеохімічних колообігів хімічних елементів у природі, їх фізіологічна роль, значення та перетворення внаслідок впливу різних факторів.

Представлені лабораторні роботи виконуються за доступними методиками досліджень різних об'єктів біосфери і компонентів навколишнього середовища. Подані приклади питань для самоперевірки знань, умінь та навичок студентів.

© Поліщук С.А., Цехмістренко С.І., Поліщук В.М. 2024

© Білоцерківський національний аграрний університет

© БНАУ, 2024

ВСТУП

Вітаємо вас напочатку захоплюючої подорожі у світ хімії та її застосування в екології та сільському господарстві. Навчальний посібник «Хімія з основами біогеохімії. Практикум», який ви тримаєте в руках, створений спеціально для того, щоб забезпечити вас фундаментальними знаннями та практичними навичками, необхідними для розуміння складних взаємозв'язків між хімічними процесами та екологічними системами.

У сучасному світі, де екологічні виклики стають все більш нагальними, роль фахівців-екологів набуває першочергового значення. Ваша майбутня професія вимагатиме від вас глибокого розуміння хімічних основ природних процесів, здатності аналізувати екологічні проблеми та розробляти ефективні рішення для їх подолання. Саме тому ми приділили особливу увагу створенню цього посібника, який охоплює широкий спектр тем – від фізичної та колоїдної хімії до основ біогеохімії.

Структура підручника розроблена таким чином, щоб послідовно та логічно провести вас через ключові аспекти хімії, які мають безпосереднє відношення до екології та аграрних наук.

Розділ «Сучасні методи аналізу водного середовища, ґрунтів і рослинності» є фундаментальним для вашої майбутньої практичної діяльності. Ви ознайомитеся з передовими методами аналізу, які дозволяють оцінювати стан навколишнього середовища та виявляти потенційні екологічні загрози. Вода, ґрунт і рослинність є ключовими компонентами екосистем, і їх хімічний склад відіграє вирішальну роль у підтримці екологічного балансу. Ви дізнаєтесь про спектроскопічні, хроматографічні, електрохімічні та інші методи аналізу, які дозволяють визначати концентрації різноманітних хімічних елементів та сполук у природних об'єктах.

Особлива увага буде приділена методам визначення забруднюючих речовин, таких як важкі метали, пестициди та нітрати, які можуть негативно впливати на екосистеми та здоров'я людини. Ви також ознайомитеся з методами оцінки якості води, родючості ґрунтів та стану рослинності, що є критично важливим для аграрного сектору. Практичні навички, які ви отримаєте в цьому розділі, дозволять вам проводити комплексні хімічні дослідження, оцінювати вплив

антропогенних факторів на навколишнє середовище та розробляти стратегії для збереження та відновлення природних екосистем.

Розділ «Основи фізичної та колоїдної хімії» присвячений фундаментальним принципам фізичної та колоїдної хімії, які лежать в основі багатьох природних процесів та екологічних явищ. Поверхневий натяг, який визначає поведінку рідин у природі, впливає на процеси від капілярного підйому води в рослинах до формування крапель дощу. Розуміння сорбції допоможе вам пояснити, як забруднюючі речовини взаємодіють з ґрунтами та водними системами, що критично важливо для розробки методів очищення та ремедіації. Осмос є ключовим процесом для розуміння водного обміну в клітинах та транспорту речовин у рослинах. Ви дізнаєтесь про рН та його вплив на хімічні та біологічні процеси в навколишньому середовищі. Розуміння буферних систем допоможе вам пояснити, як природні водойми та ґрунти підтримують стабільність рН, незважаючи на зовнішні впливи. Ці знання будуть особливо корисними при вивченні впливу кислотних дощів, забруднення водойм та змін клімату на екосистеми.

Ви вивчите методи отримання та властивості колоїдних розчинів та грубодисперсних систем, що допоможе вам зрозуміти процеси, які відбуваються в ґрунтах, природних водоймах та живих організмах. Ці знання будуть особливо важливими при вивченні транспорту живих речовин та забруднювачів у навколишньому середовищі.

Розділ «Основи органічної хімії» охоплює способи одержання та властивості основних класів органічних сполук, які мають важливе значення для екології та аграрних наук. Органічна хімія є фундаментом для розуміння життєвих процесів та багатьох екологічних явищ. Окрім того ви вивчите хімічну структуру різних класів пестицидів, механізми їх дії та екологічні наслідки їх використання. Ці знання допоможуть вам оцінювати ризики, пов'язані з застосуванням пестицидів, та розробляти стратегії для мінімізації їх негативного впливу на екосистеми.

Розділ «Основи біогеохімії» об'єднує знання з хімії, біології та геології, щоб пояснити глобальні процеси, які формують наше довкілля. Ви дізнаєтесь про поширення та властивості хімічних елементів у природі, їх біологічну роль та механізми міграції між різними компонентами екосистем. Це допоможе вам зрозуміти, як

функціонують природні системи та як антропогенна діяльність впливає на глобальні біогеохімічні цикли.

Цей посібник не лише надасть вам теоретичні знання, але й допоможе розвинути практичні навички, необхідні для вашої майбутньої професійної діяльності. Кожен розділ містить практичні завдання, лабораторні роботи, які дозволять вам застосувати отримані знання до реальних екологічних проблем.

Ми також приділили особливу увагу міждисциплінарним зв'язкам. Ви побачите, як знання з хімії пов'язані з іншими науками – біологією, фізикою, геологією, та як вони застосовуються в різних галузях екології та сільського господарства.

Важливо зазначити, що цей посібник не є статичним джерелом інформації. Хімія та біогеохімія – динамічні науки, які постійно розвиваються. Тому ми заохочуємо вас не обмежуватися матеріалом, викладеним тут, а активно слідкувати за новими науковими відкриттями та технологічними інноваціями у цій галузі.

Ми сподіваємося, що ця книга стане для вас не просто джерелом знань, а справжнім путівником у світ хімії та біогеохімії. Нехай це надихне вас на нові відкриття, допоможе розвинути критичне мислення та сформувані цілісне розуміння природних процесів.

Пам'ятайте, що як майбутні екологи, ви відіграватимете ключову роль у вирішенні глобальних екологічних проблем та збереженні нашої планети для майбутніх поколінь. Знання, які ви отримаєте з цього підручника, будуть вашим інструментом у цій важливій місії.

Ми живемо в час безпрецедентних екологічних викликів – зміни клімату, втрати біорізноманіття, забруднення навколишнього середовища, наслідки воєнних дій тощо. Як екологи, ви будете на передовій цих змін, використовуючи свої знання та навички для розробки сталих рішень та створення більш гармонійних відносин між людством та природою.

Ми віримо у ваш потенціал як майбутніх лідерів у галузі екології та охорони навколишнього середовища. Цей посібник – лише початок вашого шляху. Продовжуйте вчитися, досліджувати, ставити питання та шукати відповіді. Пам'ятайте, що кожен з вас має потенціал зробити значний внесок у збереження нашої планети.

Бажаємо вам успіхів у навчанні та захоплюючої подорожі світом хімії та біогеохімії!

З повагою: автори

1. СУЧАСНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА, ГРУНТІВ І РОСЛИННОСТІ

Один з розділів хімії (аналітична хімія) – вивчає склад, будову та властивості речовини за допомогою хімічних методів. Її можна розділити на два основних розділи: якісний та кількісний аналіз. Якісний аналіз вивчає наявність певних елементів або сполук у досліджуваній речовині. Кількісний аналіз визначає кількість певних елементів або сполук у досліджуваній речовині.

Методи кількісного аналізу стану довкілля розподіляють на хімічні (гравіметричний, титриметричний), фізичні (спектральні, радіометричні, рентгеноспектральні, люмінесцентні), фізико-хімічні (оптичні, фотометричні, хроматографічні, електрохімічні), біологічні (біоіндикація, біомоніторинг, біотестування). Широке використання приладів та інструментів у ході аналітичних досліджень обумовило об'єднання фізико-хімічних та фізичних методів під спільною назвою – інструментальні методи.

Вибір методу дослідження для визначення конкретного показника залежить від потрібної точності аналізу, доступності методу для виконання, вмісту аналізованої речовини, хімічного складу досліджуваного об'єкта тощо (табл. 1).

Таблиця 1. Методи визначення деяких хімічних компонентів в об'єктах природного середовища

Метод аналізу	Компоненти природного середовища, що визначаються		
	у ґрунтах та донних мулах	у природних водах	у повітрі
Гравіметричний	вологість, мінеральний залишок, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , карбонати	нафтопродукти, мінеральний залишок, SO_4^{2-}	запиленість (вміст пилових часток)
Титриметричний	CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}	Оксиген (розчинний), CO_2 , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , H_2S , Cl^- , NH_4^+ , твердість води	кислоти і кислотні оксиди
Фотометричний	NO_2^- , NO_3^- , F^- , PO_4^{3-} , Al^{3+} , Hg^{2+}	органічні сполуки, H_2S ,	CO , CS_2 , SO_2 , HCl , HNO_3 , деякі

	Hg_2^{2+} , Cu^{2+} , NH_4^+	NO_2^- , NO_3^- , неорганічний фосфор, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}	органічні сполуки, пестициди
Люмінесцентний	нафтопродукти	нафтопродукти, хлорорганічні ароматичні сполуки, спирти, кетони	ароматичні вуглеводні, смолисті сполуки, кетони
Полум'яна фотометрія	Na^+ , K^+	Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+}	Li^+ , K^+
Емісійна спектроскопія	метали, мікроелементи	Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} тощо	Be^{2+}
Атомно- абсорбційна спектроскопія	Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+}	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Hg_2^{2+} тощо	Hg^{2+} , Sr^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} тощо
Потенціометричний	pH, NO_3^- , F^- , K^+ , Ca^{2+}	pH, NO_3^- , F^- , Cl^- , Cu^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , редокс потенціал	HF, ненасичені органічні сполуки
Радіометричний	Sr-90, Cs-137, U-238	Sr-90, Cs-137, U- 239	Sr-90, Cs-137
Хроматографічний	нафтопродукти, хлорорганічні сполуки, вуглеводні, пестициди	Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , органічні сполуки	CO , CO_2 , SO_2 , Cl_2 , CCl_4 , Al^{3+} , органічні сполуки

Хімічні (класичні) методи аналізу ґрунтовані на використанні різних типів хімічних реакцій, які кількісно протікають у розчинах, розплавах твердих тілах або газах. Їх розподіляють на:

- *гравіметричні (вагові)*, засновані на вимірюванні маси компоненту, що аналізується, в досліджуваному розчині. Залежно від процесів, що використовуються при визначенні цей метод аналізу розподіляють на: метод відгонки, осадження, виділення. Даний метод широко використовуються для дослідження руд, сплавів, води (наприклад, у природних і стічних водах визначають вміст іонів Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , хлоридів, сульфатів, деяких металів у вигляді малорозчинних сполук).

- *титрометричні (об'ємні)*, засновані на вимірюванні об'єму розчину реагенту відомої концентрації (титранту), витраченого на реакцію з речовиною, що визначається. Титрометричні методи аналізу залежно від типу хімічної реакції, що лежить в основі титрування поділяють на: кислотно-основне титрування (протолітометрія: ацидометрія, алкаліметрія), окисно-відновне титрування (редоксиметрія: перманганатометрія, дихроматометрія, броматометрія, йодометрія, нітритометрія, йодхлорметрія, аскорбінометрія, ферометрія тощо), комплексометричне титрування (комплесометрія: ціанідометрія, комплексометрія, меркуриметрія, флуорометрія тощо), осадове титрування (седиметрія: меркурометрія, аргентометрія, сульфатометрія, гексаціанофератометрія, тіоціанатометрія),

Хімічні методи аналізу мають широкий спектр застосування, високоточні, прості у використанні, не потребують спеціальної апаратури. Однак їх застосування пов'язане з деякими труднощами (виділення компонентів із складних сумішей) і порівняно невисокою межею чутливості.

Фізичні методи аналізу ґрунтуються на вимірюванні фізичних характеристик досліджуваних речовин (спектрів випромінювання, селективного розділення газоподібних іонів у магнітному та електричному полі, явищ радіоактивності тощо), які залежать від вмісту речовин. Ці методи аналізу класифікують за типом фізичних явищ, що лежать в їх основі, тому розрізняють спектральний, мас-спектрометричний, радіометричний, рентгеноспектральний, люмінесцентний та деякі інші методи аналізу.

Спектральний аналіз – метод визначення хімічного складу речовин за спектром випромінювання або поглинання. Залежно від структури речовини та її хімічного складу, а також від умов збудження, атоми або молекули речовини випромінюють або поглинають електромагнітне випромінювання на певних частотах. Ці частоти утворюють характерний для кожної речовини спектр, подібний до «відбитка пальця». Для збудження речовини використовують полум'я пальника, енергію електричної дуги чи іскри. Спектральний аналіз дає можливість установити елементний, молекулярний склад речовини та її будову.

За типом спектрів розрізняють атомний, молекулярний, емісійний спектральний аналіз. *Атомний спектральний аналіз* визначає

елементарний склад зразка по атомних (іонних) спектрах випускання і поглинання. *Молекулярний спектральний аналіз* – молекулярний склад речовини по молекулярних спектрах поглинання, люмінесценції і комбінованого розсіювання світла. *Емісійний спектральний аналіз* проводять по спектрах випускання атомів, іонів і молекул, збудженим різними джерелами електромагнітного випромінювання в діапазоні від γ -випромінювання до мікрохвильового.

Радіометричні методи аналізу – ґрунтуються на виявленні й вимірюванні як природної, так і штучної радіоактивності. Для кількісного визначення радіоактивності використовують поняття абсолютної активності радіоактивних речовин, що вимірюють у кюрі, та питомої активності – радіоактивності одиниці маси даної речовини, тобто міри відносного вмісту радіонуклідів у досліджуваному зразку, її виражають кількістю розпадів за хвилину (чи секунду) й вимірюють у беккерелях. Використовуючи природну радіоактивність, кількісно визначають понад 20 хімічних елементів, зокрема Уран, Торій, Радій, Актиній. Калій можна визначити у воді в концентрації 0,05 моль/л. Природна радіоактивність лежить в основі пошуку уранових руд за допомогою авіації та супутників. Радіонукліди застосовують для виявлення пошкоджень у газопроводах, місць витікання води з магістральних колекторів стічних і каналізаційних вод.

Рентгеноспектральний аналіз – ґрунтується на послабленні інтенсивності рентгенівського випромінювання під час проходження крізь пробу. У рентгенофлуоресцентному аналізі на пробу діє первинне рентгенівське випромінювання, під впливом якого виникає вторинне рентгенівське випромінювання проби, характер якого залежить від якісного та кількісного аналізованого складу речовини. Так само, як і в емісійній спектроскопії, якісний аналіз рентгеноспектральним методом проводять за допомогою визначення довжини хвилі ліній, що цікавлять, і їх подальшої ідентифікації. Метод широко використовується для визначення структури молекул, кристалів, мінерального складу гірських порід.

Люмінесцентний аналіз – ґрунтується на здатності речовин випромінювати світло за дії різних збудників: ультрафіолетового випромінювання або видимого світла (*фотолюмінесценція*), розламування (*тріболюмінесценція*), рентгенівського випромінювання (*рентгенолюмінесценція*), енергії хімічної реакції (*хемілюмінесценція*).

Люмінесценція виникає в результаті електронного переходу під час повернення частинок зі збудженого стану в нормальний. Отже, молекула перетворює поглинену енергію на власне випромінювання.

Явище хемілюмінесценції досить поширене в природі. Наприклад, вона спостерігається у деяких видів молюсків, ракоподібних, глибоководних риб. Реакція виникає внаслідок взаємодії Оксигену з молекулами люциферину. Ця реакція каталізується ензимом люциферазою, а явище називають біоломінесценція. Деякі мінерали, наприклад флюорит CaF_2 , світяться за дії ультрафіолетового випромінювання, що використовують для безконтактного пошуку корисних копалин, зокрема нафти, виявлення плям нафти й нафтопродуктів на поверхні ґрунту чи водної гладі Світового океану. Люмінесцентним методом аналізують природні й стічні води, повітря, ґрунт, продукти, визначають нафтопродукти.

Вказані фізичні методи аналізу характеризуються експресивністю, селективністю (вибірковістю), високою чутливістю, об'єктивністю отриманих результатів, можливістю автоматизації та комп'ютеризації процесу. Однак вони не завжди специфічні, так як на величину фізичного параметру впливає концентрація досліджуваної речовини, а також наявність інших речовин і домішок. Їх застосування часто потребує використання складної апаратури.

Фізико-хімічні методи аналізу основані на вимірюванні величин фізичних параметрів системи, що аналізується, які з'являються або змінюються в результаті проведення хімічних реакцій. Вони характеризуються високою точністю вимірювань, експресивністю та чутливістю (низька межа виявлення сполук 10^{-5} – 10^{-10} %, за використання класичних методів – 10^{-1} – 10^{-4} %). Фізико-хімічні методи аналізу розподіляють на оптичні, електрохімічні та хроматографічні методи.

До найбільш розповсюджених фізико-хімічних методів аналізу відносяться оптичні. Вони ґрунтуються на вимірюванні оптичних властивостей речовин (поглинання, розсіювання, відбиття, заломлення, поляризація, випромінювання світла), які виникають під час взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням. Електромагнітні випромінювання різних довжин хвиль утворюють електромагнітний спектр (рис. 1).

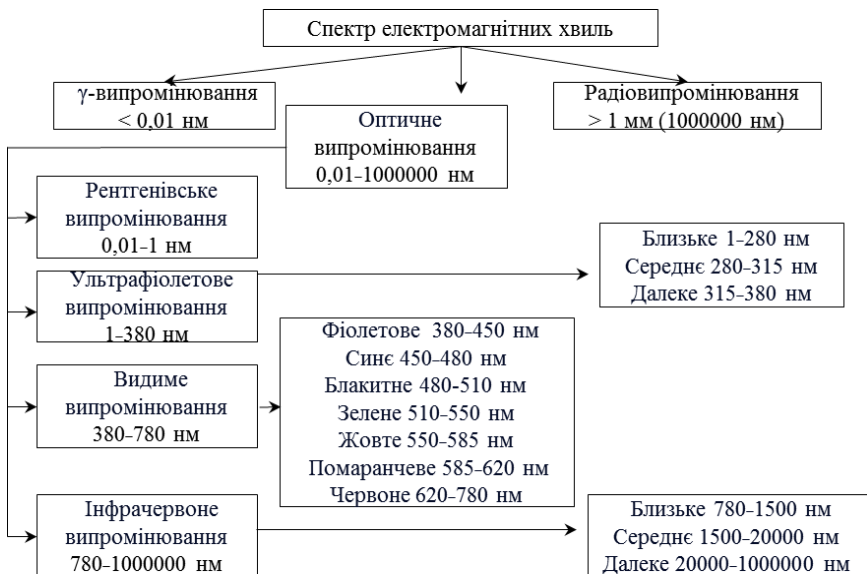


Рис. 1. Спектр електромагнітних хвиль.

Залежно від характеру взаємодії речовини з електромагнітним полем випромінюванням розрізняють наступні методи:

І. **Адсорбційні методи** аналізу – основані на взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною. До них належать:

1. **Колориметричний метод** – ґрунтується на візуальному порівнянні кольору або інтенсивності забарвлення стандартного та досліджуваного розчинів.

2. **Фотоколориметричний метод** – оснований на вимірюванні ступеня поглинання або пропускання монохроматичного світла речовиною, яку визначають у видимій ділянці спектру. Може використовуватись для визначення речовин у розчині (фосфати, нітрати, сульфати, катіони металів, білки, ліпіди, вуглеводи, пестициди, феноли тощо).

3. **Спектрофотометричний метод** – ґрунтується на вимірюванні поглинання речовиною монохроматичного випромінювання у видимій (380–780 нм), УФ- (180–360 нм) і ІЧ-ділянці (760–1100 нм) спектру. Використовується для визначення концентрації речовини у розчині.

4. *Атомно-адсорбційний метод* – оснований на вимірюванні поглинання монохроматичного світла атомами речовин, що знаходяться в газоподібному стані. Використовується для визначення концентрації близько 70 елементів у різних зразках (вода, ґрунт, рослини, тварини).

II. *Емісійні методи* – засновані на вимірюванні інтенсивності світла, що випромінюється речовиною:

1. *Емісійний спектральний аналіз* – оснований на вивченні спектра випромінювання атомів досліджуваного зразка. Використовується для контролю забруднення повітря та води, визначення концентрації частинок в суспензії, таких як бактерії, віруси, білки, ліпіди, полімери, пил, дим тощо.

2. *Полум'яна фотометрія* – ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світла, що випромінюється атомами в полум'ї. Один із найкращих методів для визначення K^+ , Na^+ , Ca^{2+} в усіх типах зразків (нафта, корисні копалини, ґрунти, добрива тощо).

III. *Методи, засновані на вимірюванні інтенсивності світла* після взаємодії його із суспендованими частками в розчині (емульсії, суспензії):

1. *Нефелометричний метод* – ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, розсіяного твердими частинками, що знаходяться у розчині в завислому стані. Широко використовується для аналізу води, суспензій, емульсій та інших мутних середовищ.

2. *Турбідиметричний метод* – оснований на вимірюванні інтенсивності потоку світла, що пройшло крізь розчин, в якому містяться завислі частинки. Використовується для аналізу суспензій, емульсій, каламутних розчинів.

3. *Флуорисцентний метод* – ґрунтується на реєстрації випромінювання світла молекулою, яке має більшу довжину хвилі, ніж те, що поглинуто молекулою. Метод має більшу чутливість порівняно зі спектрофотометрією. Використовують для проведення якісного та кількісного аналізу, визначення структури та просторової організації різних сполук (білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів, ліпідів, вітамінів тощо) та їх комплексів.

IV. *Методи, засновані на явищі поляризації молекул під дією світлового випромінювання:*

1. *Рефрактометричний метод* ґрунтується на вимірюванні показника заломлювання світла розчином. Використовується для аналізу горючих і мастильних матеріалів, біологічних і харчових продуктів, лікарських препаратів тощо.

2. *Поляриметрія* – метод оснований на вимірюванні кута обертання плоскості поляризації (α) поляризованого променю світла, що пройшов через оптично активне середовище. Застосовується в лабораторіях хімічної промисловості та інших галузях науки і виробництва для визначення концентрації розчинів оптично активних сполук (амінокислоти, моносахариди, гідроксикислоти).

Хроматографічний аналіз ґрунтується на розподілі компонентів між двома фазами – нерухомою (стаціонарною) і рухомою (мобільною). Нерухома фаза – це твердий адсорбент, який закріплений на твердому носії. Рухома фаза – потік газу або рідини, який проходить крізь шар сорбенту. Даний метод за короткий час допомагає розділити багатокомпонентні суміші на окремі складові та одночасно дає кількісну характеристику кожного компоненту. Хроматографічні методи на сучасному етапі використовуються спеціалістами в різноманітних сферах науки (аналітична хімія, геологія, біотехнологія, біогеохімія).

Хроматографію розподіляють за:

- агрегатним станом суміші, в якому відбувається її розділення на компоненти (газова, рідинна, газорідинна);
- механізмом розділення (адсорбційна, розподільна, молекулярна, осадова, іонообмінна);
- способами проведення процесу (колонкова, капілярна, паперова, тонкошарова).

Електрохімічні методи ґрунтуються на вимірюванні електрохімічних властивостей речовин:

- *Полярографія* основана на реєстрації сили струму за поступового зростання напруги на електродах, які занурені в досліджуваний розчин (якісний та кількісний аналіз). Полярографія є досить чутливим методом, який дає змогу працювати з надзвичайно розбавленими розчинами та невеликими об'ємами. В екології метод застосовують для визначення катіонів, аніонів, в різних об'єктах навколишнього середовища.

- *Потенціометрія* (рН-метрія) – основана на вимірі електрорушійної сили, що виникає внаслідок різниці потенціалів між

електродами визначення та порівняння, які поміщаються в розчин. Досліджують стічні води, озера, водні об'єкти на наявність речовин, які змінюють кислотність води та можуть призвести до небажаних наслідків.

- *Кондуктометрія* – ґрунтується на вимірюванні електропровідності розчинів за перебігу реакцій та зміні їх параметрів (концентрації, температури тощо). Використовується для оцінки якості води (вміст сульфатів, хлоридів, нітратів, фосфатів, катіонів лужних та лужноземельних металів, забруднювачів тощо).

Біологічні методи моніторингу довкілля ґрунтуються на визначенні екологічних, біохімічних параметрів живих організмів з метою характеристики параметрів навколишнього середовища, в якому вони мешкають. Вони дають змогу отримати комплексну характеристику довкілля. Біологічні методи розподіляються на три види:

- *Біоіндикація* – метод, який використовує живі організми (або їхні спільноти) для оцінки якості навколишнього середовища або окремих його компонентів. Ці організми слугують своєрідними індикаторами стану довкілля. Різні види живих організмів мають різні вимоги та чутливість до чинників довкілля (наприклад, температура, забруднення, кислотність). Деякі види особливо чутливі до певних чинників довкілля. Їхню присутність або відсутність, чисельність чи стан здоров'я можна використовувати як показник цих чинників. Наприклад, лишайники дуже чутливі до забруднення повітря, тому їхня відсутність може свідчити про високий рівень забруднення.

- *Біомоніторинг* – система спостережень за станом довкілля, яка використовує живі організми як індикатори. Досліджують зміни у властивостях та параметрах певного виду організму, що мешкає в природних умовах. Ці зміни можуть бути морфологічні (розмір, форма, колір), фізіологічні (активність, метаболізм, репродукція), біохімічні (вміст білків, ліпідів, ензимів, нуклеїнових кислот тощо), поведінкові (реакція на подразники, міграція).

- *Біотестування* – експериментальний метод оцінки впливу різних чинників навколишнього середовища на живі організми. За допомогою біотестування визначають токсичність проб води, ґрунту або повітря. В якості тест-об'єктів можуть використовуватись різні живі організми: бактерії, водорості, ракоподібні, рослини, риби. Вибір організму залежить від мети дослідження та речовини, яку необхідно оцінити. Для отримання достовірних результатів біотестування

проводять за чітко визначених умов. Це стосується температури, концентрації кисню, освітлення, поживних речовин тощо. Зазвичай використовують також контрольну групу, на яку не впливає досліджувана речовина.

Практичні роботи

1. Конструкція та принцип дії спектрофотометрів. Підготовка приладу до роботи

Принцип методу роботи спектрофотометра полягає у порівнянні двох світлових потоків для визначення спектрального пропускання або відбиття досліджуваного зразка. Світло з джерела освітлення потрапляє в монохроматор через вхідну щілину. В монохроматорі світло розкладається дифракційними ґратками або призмою в спектр. Виділене монохроматичне світло по черзі проходить через кювету з контрольним і досліджуваним зразком, які розташовані в кюветному відділенні. Випромінювання, що пройшло через кювету, потрапляє на фотоелемент, який перетворює світлову енергію в електричну. Електричний сигнал потім підсилюється та реєструється. Значення пропускання (одиниці оптичної густини) висвічується на цифровому табло (рис. 2).

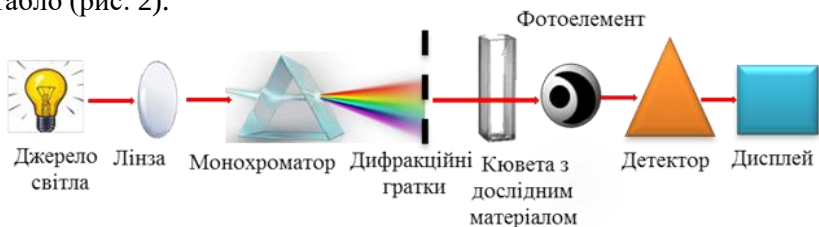


Рис. 2. Оптична схема спектрофотометра.

Монохроматор – оптична система, що відокремлює з усього спектру джерела світла випромінювання хвилі певної довжини. Це досягається за допомогою використання дифракційних ґраток або призми. Призми заломлюють світло різної довжини хвилі під різними кутами, що дає змогу відокремити потрібний спектр. Дифракційні ґратки розбивають світло на складові спектральні лінії, даючи змогу обрати потрібну довжину хвилі. У видимій ділянці спектру використовують скляні призми, однак в ультрафіолетовій вони не підходять, адже скло поглинає ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі не менше

400 нм. Тому для ультрафіолетового діапазону застосовують призми з кварцу, який не має такого поглинання.

Дифракційні ґратки – ще один тип монохроматора, що використовується для виділення світла з певною довжиною світла. Вони складаються з плоскої пластини, на якій нанесені паралельні лінії – борозенки. Коли біле світло падає на ґратки, воно розкладається на спектр через явище дифракції. Зазвичай в монохроматорах спочатку виділяють пучок світла з певним діапазоном довжин хвиль за допомогою призми, а потім розкладають його ще раз ґратками. Так отримують чисте монохроматичне світло.

Кювета – оптично прозорий посуд, в який наливають досліджуваний розчин для спектрофотометричних вимірювань. Кювети поміщають в кюветотримач, який має декілька комірок. В ультрафіолетовому діапазоні використовують кварцові кювети, у видимому спектрі можна застосовувати скляні та пластикові. При роботі з леткими, хімічно активними сполуками кювети закривають кришками. З кюветами потрібно поводитись дбайливо, оскільки бруд і подряпини спотворюють результати вимірювань. Особливо при визначення показників в ультрафіолетовому діапазоні. Протирати кювети від залишків розчину можна м'якою серветкою, мікрофіброю. Фільтрувальний папір з цією метою застосовувати не рекомендують. Органічні молекули поглинають ультрафіолетове світло, тому у процесі роботи з кюветами не можна торкатися оптичних стінок кювети голими руками. Наповнювати кювети розчином краще за допомогою піпетки. Таким чином можна уникнути утворення бульбашок повітря в дослідній пробі. Розчини повинні бути прозорими без утворення осаду. Кювети потрібно заповнювати до такого рівня, щоб потік випромінювання проходив цілком через шар розчину. Найчастіше використовуються кювети з довжиною оптичного шляху 1 см, в які зазвичай заливають 2,5 – 3,0 см³ розчину. У такі кювети входить близько 5 см³, але заповнюють їх повністю лише в тому випадку коли це необхідно.

Спектрофотометр використовує два типи фотоелементів та два джерела світла, щоб охопити широкий діапазон довжин хвиль (рис. 3). Сурм'яно-цезієвий фотоелемент з вікном з кварцового скла застосовується для вимірювань в діапазоні 186–650 нм. Киснево-

цезієвий елемент використовується для вимірювань у ділянці спектра від 600 до 1100 нм.

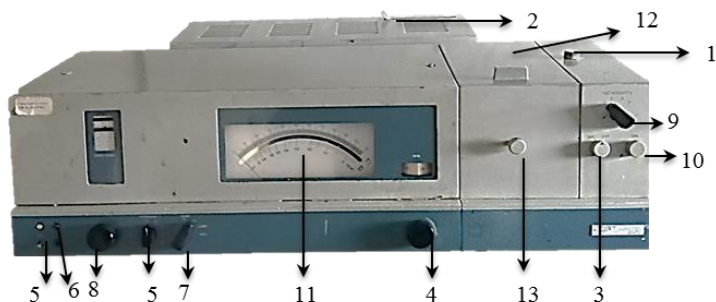


Рис. 3. Конструкція спектрофотометра СФ-26.

Дейтерієва лампа використовується в діапазоні від 190 до 350 нм, лампа розжарювання – для роботи у ділянці спектру від 340 до 1100 нм. Завдяки цій комбінації спектрофотометр може точно вимірювати поглинання світла в широкому діапазоні спектру.

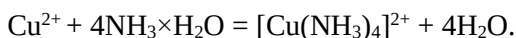
Перед використанням приладу встановлюють відповідний фотоелемент. Перемикання здійснюють за допомогою ручки (1). В положенні «Ф» – увімкнений сурм'яно-цезієвий фотоелемент, в положенні «К» – киснево-цезієвий фотоелемент. Перемикання ламп розжарювання та дейтерієвої здійснюється за допомогою спеціального важеля (2). Закривають фотоелемент, поставивши рукоятку (3) шторки в закрите положення, рукояткою (4) налаштовують ширину щілини приблизно 0,1 мм. Вмикають тумблер «Мережа» (5), після цього загоряється сигнальна лампа «Д» або «Н» відповідно до обраного джерела світла (6). Стабільна робота спектрофотометра забезпечується через годину після його вмикання.

Рукоятку «КОМПЕНСАЦІЯ» (7) в положення «0». Виставляють відповідно довжину хвилі (8) згідно інструкції. Ручку «ЧУТЛИВІСТЬ» (9) встановлюють у положення «1». Якщо потік випромінювання недостатній і досліджуваний та контрольний зразки значно поглинають випромінювання, встановіть рукоятку в положення «2», «3» або «4». При роботі в положенні «КАЛІБР» або «0,01» рукоятки (7), то рукоятку «ЧУТЛИВІСТЬ» встановлюють також в одне положення «2», «3», «4».

Для визначення оптичної густини розчинів рукоятку (10) встановлюють у положення «НУЛЬ». Повертаючи рукоятку механізму вимірювання ширини щілини (4) стрілку вимірювального приладу (11) встановлюємо на поділку «100 %». В кюветне відділення (12) поміщають контрольний зразок, переміщуючи рукояткою (13) каретку. За відсутності контрольного зразка вимір проводиться щодо повітря. Відкривають фотоелемент, встановивши рукоятку (3) шторки у положення «ВІДКРИТИ». На шляху потоку випромінювання встановлюють дослідний зразок, переміщуючи каретку рукояткою (13). Далі фіксують показання приладу за шкалою оптичної густини (11).

2. Спектрофотометричне визначення вмісту міді в розчині купруму (II) сульфату аміачним методом

Цей метод оснований на реакції взаємодії катіонів Cu^{2+} з надлишком розчину аміаку:



Комплексний іон $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ має інтенсивний синій колір.

Підготовка серії стандартних розчинів

Для приготування серії стандартних розчинів готують еталонний розчин купрум (II) сульфату. Для цього розраховують необхідну кількість хімічно чистого купрум (II) сульфату таким чином, щоб 1 дм³ розчину містив 1 г Cu^{2+} , або в 1 см³ розчину містилось 1 мг Cu^{2+} .

$$\begin{aligned} M(\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}) &= 249,68 \text{ г/моль}; \\ 249,68 \text{ г CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O} &\text{ містить } 63,546 \text{ г Cu}^{2+} \\ X \text{ г CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O} &\text{ містить } 1 \text{ г Cu}^{2+} \\ X &= \frac{249,68 \times 1}{63,546} = 3,9270 \text{ г}. \end{aligned}$$

На аналітичних терезах зважують точно 3,9270 г $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$. Кількісно переносять у колбу, розчиняють у воді, додають 5,0 см³ концентрованої H_2SO_4 ($\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$) і доводять водою до мітки 1 дм³ дистильованою водою.

Для побудови калібрувального графіка готують стандартні розчини. Спочатку готують розчин максимальної концентрації. Для цього в мірну колбу об'ємом 100 см³ відбирають піпеткою 25,0 см³ еталонного розчину, додають 10,0 см³ розведеного (1:3) розчину гідроксиду амонію, доводять водою до мітки, перемішують і

переливають в конічну колбу. За цим розчином підбирають умови роботи. Потім готують у тій же мірній колбі решту розчинів, відбираючи піпеткою відповідно 20,0; 15,0; 10,0; 5,0; 2,5 см³ еталонного розчину і по 10,0 см³ розведеного (1:3) розчину аміаку.

Для кожного розчину вимірюють абсорбцію 3–4 рази, знаходять середнє значення. Одержані дані вносять у таблицю 2.

Таблиця 2. Дані для калібрувального графіка

Вміст Cu ²⁺ у 1 см ³ розчину, мг	Оптичні густини при вимірюваннях, $\lambda_{575}-\lambda_{590}$ нм				Середнє значення
	1	2	3	4	
1,0					
0,5					
0,4					
0,3					
0,2					
0,1					
0,05					

Побудова калібрувальної кривої. Якість виконання лабораторних досліджень визначається вірно обраною і здійсненою методикою оцінки отриманих під час роботи з фотометричним обладнанням результатів. Вона базується на використанні градуального графіка (таблиці), чинників перерахунку, а також формули, яка враховує значення абсорбції (екстинкції) і концентрації стандартних проб, оброблених паралельно з дослідними в однакових з ними умовах.

Для побудови калібрувальної кривої готують 5 різних розведень із концентрованого (основного) стандартного розчину. Абсорбцію кожної проби, включаючи «холосту», визначають по 3 рази. Як розчин порівняння використовують воду або відповідний розчинник. Для кожного з визначень вираховують середні величини. Середній показник «холостої проби» віднімають від аналогічних величин стандартних проб. Скореговані таким чином середні значення абсорбції розташовують на осі ординат калібрувального графіка. Із відповідних точок осі ординат проводять тонкі лінії, паралельні «горизонтальній» осі (абсцис). На осі абсцис наносять значення концентрації. Із

отриманих точок проводять перпендикуляри і через місця їх перетину з перпендикулярами осі ординат, проводять калібрувальну криву.

Із калібрувальної кривої розраховують чинник перерахунку:

$$f = C/A,$$

де f – чинник перерахунку, C – значення концентрації, A – значення абсорбції.

При цьому краще всього знайти відповідний чинник для кожної з точок вимірювань і потім визначити середнє значення цих показників. Використання комп'ютерної техніки дає можливість швидко визначити концентрацію речовини в дослідній пробі за формулою:

$$C = f \times F,$$

де F – значення абсорбції дослідної проби.

3. Визначення концентрації розчину за показником заломлення світла



Рис. 4. Рефрактометр.

Рефракція – метод визначення заломлення променя світла. Як у лабораторіях, так і в польових умовах для аналізу заломлення використовують спеціалізований оптичний прилад рефрактометр.

Готують набір стандартних розчинів гліцеролу (5 %, 10, 15, 20, 25 і 30 %) для цього відбирають у колби наступні об'єми рідин (табл. 3).

Таблиця 3. Приготування стандартних розчинів гліцеролу

Зразки	1	2	3	4	5	6
Вода, см ³	4,75	4,5	4,25	4	3,75	3,5
Гліцерол, см ³	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5
Концентрація, %	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0

Розчини ретельно перемішують і визначають показник заломлення кожного з них. Показник заломлення залежить від довжини хвилі світла, температури, агрегатного стану, концентрації речовини, природи розчинника тощо. Прилад, що використовують для визначення показника заломлення, називають рефрактометром (рис. 4).

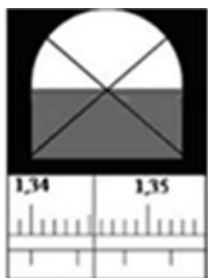


Рис. 5. Межа світлотіні на перехресті візирних ліній.

Для одержання в приладі чіткого поля зору прямокутний отвір призми спрямовують у бік, протилежний падінню світла. Падаючі промені розсіяного світла спрямовують в отвір призми відповідною установкою дзеркала. Для перевірки правильності роботи приладу і встановлення нульової точки на чисту поверхню вимірювальної призми рефрактометра скляною паличкою або піпеткою, не торкаючись призми, наносять 2–3 краплі дистильованої води за температури 20 °С.

Опускають освітлювальну призму, далі наводять окуляр на виразну видимість перехрестя візирних ліній (рис. 5) за допомогою дзеркала забезпечують найкращої освітленості шкали.

Обертанням маховика вводять межу світлотіні в поле зору окуляра. Маховиком компенсатора дисперсії забезпечують зникнення забарвленості граничної лінії. За допомогою маховика наводять межу світлотіні точно на перехрестя візирних штрихів і за шкалою показників заломлення знімають результат. Поверхні призм очищують після кожного вимірювання м'якою серветкою. Поліровану грань призми слід витирати без натиску, щоб не пошкодити полірування. Рефрактометричний блок після чищення деякий час тримають відкритим для випаровування рідини. Величину показника заломлення визначають після перевірки приладу за дистильованою водою. Показник заломлення для дистильованої води – 1,333. Для перевірки можна використовувати і інші рідини: хлороформ (1,4467), толуен (1,4992), анілін (1,5867). Всі визначення повторюють тричі.

Для визначення вмісту гліцеролу в розчинах на призму рефрактометра наносять декілька крапель стандартного розчину, результати спостережень заносять в таблицю 4. Будують калібрувальний графік залежно від показника заломлення (n) та вмісту гліцеролу в розчині (%). Визначення концентрації в досліджуваному розчині. Наносять на призму рефрактометра краплю розчину з невідомою концентрацією (дослід № X), за допомогою рефрактометра визначають n_X . Користуючись калібрувальним графіком обчислити концентрацію досліджуваного розчину.

Таблиця 4. Визначення концентрації гліцеролу за показником заломлення світла

Зразки	1	2	3	4	5	6	X
Вміст гліцеролу, % об'єм							
n_1							
n_2							
n_3							
$n_{\text{середнє}}$							

Визначення вмісту спирту в розчинах за табличними даними

Одну краплю досліджуваного розчину наносять на нижню призму рефрактометра і вимірюють показник заломлення. Вимірювання проводять три рази і розраховують середньоарифметичне значення показника заломлення. Вміст етанолу знаходять за табл. 5.

Найчастіше показник заломлення визначають за 20 °С. Якщо температура відрізняється від 20 °С, то вносять поправку за формулою:

$$n_t = n_{20^\circ} + (20 - t) \times 0,0002,$$

де: t – температура, при якій проводиться вимірювання.

Таблиця 5. Показники заломлення водних розчинів етилового спирту за 20 °С

Вміст етанолу, мас. %	nD^{20}	Вміст етанолу, мас. %	nD^{20}	Вміст етанолу, мас. %	nD^{20}
0	1,33297	35	1,35594	70	1,36455
5	1,33616	40	1,35800	75	1,36482
10	1,33962	45	1,35973	80	1,36489
15	1,34326	50	1,36117	85	1,36471
20	1,34695	55	1,36233	90	1,36419
25	1,35044	60	1,36328	95	1,36310
30	1,35349	65	1,36402	100	1,36130

4. Розподіл пігментів адсорбційним хроматографічним методом

Готують спиртову витяжку пігментів рослин. Для цього рослину подрібнюють та заливають 96 % розчином етанолу. Екстрагування здійснюють впродовж 30–40 хв. Далі за допомогою мікродозатора відбирають 10 мм³ наосадової рідини і наносять на підготовлені хроматографічні пластини у вигляді крапок або тоненьких смужок.

Після нанесення проби пластинку підсушують і поміщають у хроматографічну камеру на 10–15 хв. За цей час система розчинників піднімається до лінії фінішу. Рухомою фазою слугує суміш гексану, бензену, ацетону та етанолу у співвідношенні 20 : 10 : 10 : 2. На хроматограмах хлорофіли ідентифікують за зеленим забарвленням, а каротиноїди – за жовтим забарвленням у видимому світлі та червоною флуоресценцією в УФ-світлі.

5. Визначення концентрації нафтопродукту у воді екстракційно-рефрактометричним методом

Приготування і екстракція стандартних розчинів. У 5 пробірок ємністю 50 см³ наливають по 25 см³ дистильованої води, до кожної пробірки додають певну кількість нафтопродукту (оливи, гасу) (5, 10, 20, 30, 40 крапель). Розраховують масу нафтопродукту в кожній пробірці (для цього необхідно визначити масу однієї краплі). Пробірки затискають пробками і вміст збовтують впродовж 10 хв. Далі проводять екстракцію нафтопродукту з води гексаном. Для цього до кожної пробірки додають по 5 см³ гексану і знову збовтують 5 хв.

Після перемішування пробірки залишають на 30 хв у стані спокою з метою досягнення повного розшарування рідин. Необхідно обов'язково використовувати високі ємкості для чіткого розділення гексанового і водного шару. Впродовж цього часу пробірки повинні бути щільно закритими, щоб уникнути випаровування гексану. З верхнього органічного шару кожної пробірки піпеткою відбирають пробу, вміщують її у рефрактометр і вимірюють показник заломлення. Результати занотовують до табл. 6.

Таблиця 6. Концентрація нафтопродуктів у воді

№ пробірки	1	2	3	4	5
Кількість крапель нафтопродукту, шт.					
Маса однієї краплі нафтопродукту m, мг					
Загальна маса нафтопродукту в пробірці, m _п , мг					
nD ²⁰					
C, мг/л					

Екстрагування нафтопродукту із досліджуваної води і визначення його показника заломлення. У пробірку на 50 см³ наливають 25 см³ досліджуваної води, додають 5 см³ гексану і збовтують 5 хв. Далі для розшарування рідин пробірку витримують у стані спокою 30 хв

(пробірка повинна бути щільно закритою). Після цього піпеткою відбирають декілька крапель гексанового розчину нафтопродукту і вимірюють його показник заломлення n_x .

Визначення маси однієї краплі нафтопродукту. Для визначення маси однієї краплі необхідно виміряти на аналітичних вагах масу

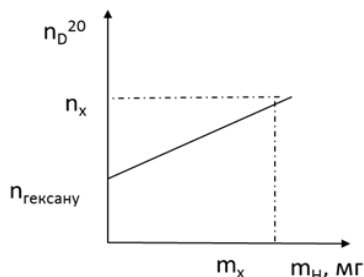


Рис. 6. Калібрувальний графік для визначення маси (m_H , мг) нафтопродуктів у воді за даними рефрактометрії.

декількох десятків крапель нафтопродукту і поділити виміряну масу крапель на їх кількість.

Визначення вмісту нафтопродукту в досліджуваному водному розчині. Вміст нафтопродуктів m_H (мг) у пробі води визначають за допомогою калібрувального графіка (рис. 6). Вміст нафтопродуктів C_x (у мг/л) у досліджуваній воді розраховують за формулою:

$$C_x = m_x \times 1000/V,$$

де m_x – маса нафтопродуктів у досліджуваній воді, мг; V – об'єм проби досліджуваної води, см^3 .

6. Виділення етанолу із водного розчину методом перегонки

Перегонка (дистиляція) – процес розділення рідин, заснований на їхній різній здатності переходити в пароподібний стан у залежності від температури і тиску.

Монтують перегінний апарат, який складається із штатива, перегінної колби, холодильника, приймальної колби. У перегінну колбу поміщають 50 см^3 водного розчину етанолу. Колбу закривають корком із вмонтованим термометром. До холодильника під'єднують воду та нагрівають перегінну колбу. Слідкують за температурою суміші у перегінній колбі, яка не повинна бути вище 90°C . Вимірюють об'єм перегнаного спирту у приймальній колбі та визначають концентрацію вихідного спиртового розчину за формулою:

$$X = A \times 100/B,$$

де X – концентрація вихідного спиртового розчину, %; A – об'єм дистиляту, см^3 ; B – об'єм вихідного спиртового розчину, см^3 .

7. Приготування водної витяжки ґрунту методом фільтрування

Фільтрування – це процес відділення твердих частинок від рідин або газів шляхом пропускання їх через пористі матеріали (фільтри). Фільтри затримують частинки, якщо їх розміри більше розміру пор. Для фільтрування можна використовувати спеціальний папір, тканину, марлю, вату, пісок, вугілля, пористу кераміку.

Наважку ґрунту вносять у колбу на 500–1000 см³ і доливають п'ятикратну кількість дистильованої води. Колбу з наважкою ґрунту закривають гумовою пробкою, струшують впродовж 3 хв, після чого витяжку фільтрують крізь паперовий складчастий фільтр.

За допомогою фільтрування можна очистити воду від грубодисперсних фракцій (органічні та неорганічні частки, пісок, мул, водорості тощо).

Питання до самоконтролю:

1. Вкажіть групи методів досліджень довкілля.
2. Назвіть хроматографічні методи досліджень.
3. Охарактеризуйте оптичні методи досліджень, наведіть приклади.
4. Дайте характеристику електрохімічним методам дослідження.
5. Поясніть принцип електрохімічних методів досліджень: потенціометрія, полярографія.
6. Якісний та кількісний аналіз: основні завдання та застосування методів.
7. Які переваги та недоліки кожної групи методів?
8. Вкажіть чинники, які можуть впливати на достовірність результатів аналізу.
9. Практичне застосування нефелометрії та турбідиметрії.
10. Які фізико-хімічні принципи покладені в основу тонкошарової хроматографії?

2. ОСНОВИ ФІЗИЧНОЇ ТА КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ

2.1. ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ, СОРБЦІЯ ТА ОСМОС

Поверхневі явища – це сукупність явищ, які виникають на межі розділу двох фаз (наприклад, рідина-газ, рідина-тверде тіло, газ-тверде тіло) і обумовлені силами міжмолекулярної взаємодії на цій межі. Це обумовлено тим, що речовини залежно від температури та тиску можуть перебувати в газоподібному (частки речовини знаходяться на великій відстані, більшій ніж їх розміри), рідкому (близьке розташування частинок, рідини займають певний об'єм) і твердому (частки знаходяться на відстані, яка дорівнює розмірам цих частинок) агрегатному стані. Розташовані на поверхні рідини молекули утворюють шар, який називається поверхневим шаром. Кожна молекула зазнає притягування зі сторони найближчих сусідів. Рівнодійна всіх сил для молекули, що знаходиться всередині рідини в середньому дорівнює нулю. Рівнодійна сил притягування, які діють на

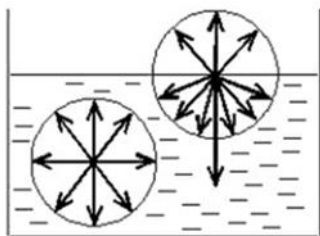


Рис. 7. Розташування молекул.

молекулу, що знаходяться у поверхневому шарі рідини, спрямована всередину рідини (рис. 7). Тому поверхневий шар рідини має меншу концентрацію молекул, ніж внутрішній, тобто виникають передумови скорочення площі поверхневого шару. Серед усіх фігур певного об'єму найменшу площу поверхні має куля. Чим ближче

розташовані молекули у речовині тим більша величина поверхневого натягу (наприклад ртуть формує кульку, а вода розтікається на поверхні).

Найчастіше для визначення поверхневого натягу рідин використовують наступні методи:

- вимірювання маси або глибини занурення предмета в досліджувану рідину;
- вимірювання геометричних розмірів вільних поверхонь розділу фаз (лежача крапля, бульбашка, що висить);
- підрахунок кількості крапель (сталагмометричний метод);
- вимірювання зусилля відриву предмета від поверхні розділу фаз;
- вимірювання капілярного підняття рідини;

- вимірювання максимального тиску в бульбашці газу або краплі рідини.

Всі речовини за впливом на поверхневий натяг розчинника можна розділити на поверхнево-активні (ПАР) і поверхнево-інактивні (ПІР).

ПАР – це сполуки, які адсорбуються на поверхні розділення фаз і зменшують поверхневий натяг розчинника. До них належать органічні кислоти ($R-COOH$), спирти ($R-OH$), аміни ($R-NH_2$), сульфопохідні ($R-SO_3H$), синтетичні миючі засоби, мила, білки тощо. Молекула ПАР дифільна і має полярну і неполярну частини. Полярна частина гідрофільна і сприяє розчиненню ПАР у воді, а неполярна частина гідрофобна і сприяє розчиненню ПАР у неполярних розчинниках. Поверхнева активність ПАР одного гомологічного ряду збільшується в 3–3,5 рази при збільшенні карбонового радикалу на одну $-CH_2-$ групу (*правило Дюкло-Траубе*). Дія правила обмежена кількістю атомів Карбону в молекулі ($<C_8$). Збільшення атомів Карбону приводить до зменшення поверхневого натягу, але не в такій залежності. ПАР широко використовують у сільському господарстві, будівництві, у побуті, в екології: очищення водної поверхні – від нафти і нафтопродуктів.

ПІР – сполуки, які не змінюють поверхневий натяг або дещо підвищують його. До поверхнево-інактивних речовин відносять солі, луги, мінеральні кислоти. Поверхневі молекули втягуються у середину рідини з більшою силою у розчині солі, ніж у чистій воді, що у свою чергу обумовлює зростання поверхневого натягу.

СОРБЦІЯ

Одним із найбільш поширених явищ природи є здатність твердих і рідких поверхонь і тіл поглинати гази або рідини. Розрізняють декілька видів поглинання речовини:

- *адсорбція* – поглинання поверхнею твердого тіла або поглинання на межі розділу рідина – рідина та рідина – газ (пара);
- *абсорбція* – поглинання всією масою рідини або твердого тіла;
- *хемосорбція* – поглинання з утворенням хімічної сполуки;
- *капілярна конденсація* – утворення рідкої фази в порах та капілярах поглиначи.

Адсорбент – тверда речовина, яка має велику питому поверхню і здатна адсорбувати на своїй поверхні інші речовини. До адсорбентів

відносять активоване вугілля, цеоліти, силікагель, глину тощо. Такі речовини широко застосовуються для очистки води та повітря.

Адсорбтив – речовина, яка адсорбується на поверхні адсорбенту (гази, рідини, розчинені речовини).

Адсорбат – речовина, яка утворюється в результаті поглинання адсорбтиву на поверхні адсорбенту. Складається з адсорбенту і адсорбованої на ньому речовини.

Десорбція – процес видалення адсорбованої речовини з поверхні адсорбенту будь-яким способом (нагріванням, промиванням розчинником тощо). Використовується для виділення розчинників з адсорбентів після їх використання в хроматографії.

Елюція – процес витіснення адсорбованої речовини з поверхні адсорбенту за допомогою розчинника (елюента). Метод використовується для розділення суміші речовин на хроматографічній колоні з адсорбентом, очистки води від домішок (феноли, солі важких металів, радіоактивні ізотопи) за допомогою іонообмінних смол.

За природою адсорбційних сил адсорбцію поділяють на *фізичну* і *хімічну* (хемосорбцію).

У разі *фізичної* адсорбції взаємодія адсорбенту і адсорбтиву здійснюється внаслідок фізичних сил. Вона є зворотною, тобто адсорбована речовина може бути десорбована з поверхні твердого тіла (наприклад, адсорбція газів на активованому вугіллі, адсорбція водяної пари на силікагелі).

У разі *хемосорбції* відбувається хімічна взаємодія між адсорбтивом і адсорбентом. Хімічна адсорбція незворотна, адсорбована речовина не може бути десорбована з поверхні твердого тіла без руйнування хімічного зв'язку (наприклад, окиснення аміаку на каталізаторі, хемосорбція водню на металах).

ОСМОС

Осмоз – це процес одnobічної дифузії (*самовільний рух молекул*) розчинника через напівпроникну мембрану із чистого розчинника в розчин або з розчину меншої концентрації в розчин більшої концентрації. Внаслідок цього розчинник чинить тиск на мембрану, який називається *осмотичним*.

Осмотичний тиск біологічних рідин підтримується на сталому рівні внаслідок активного транспорту іонів, злагодженої роботи

нирок, легень, інших систем та органів. Оскільки молярна концентрація речовин у всіх біологічних рідинах тваринних організмів підтримується на постійному рівні, їх осмотичний тиск також є відносно сталим. Близько 60 % осмотичного тиску крові створюють наявні в ній іони Na^+ і Cl^- , а значно меншу його частину обумовлюють білки. Тиск, що створюється високомолекулярними біологічно активними сполуками, називають *онкотичним тиском*. Він становить менше 0,5 % від загального осмотичного тиску і на 80 % визначається білками альбумінами. Завдяки йому в кров із тканинної рідини та лімфи надходить вода.

Високоорганізовані тварини і людина характеризується сталим показником осмотичного тиску крові. Це явище називається *ізоосмією*. Для нормального росту і розвитку рослин осмотичний тиск клітинного соку має бути більше осмотичного тиску ґрунтового розчину.

Залежно від величини осмотичного тиску розчини поділяються на:

- *гіпотонічні* – мають менший осмотичний тиск, у порівнянні з біологічною рідиною (кров, лімфа, ліквор тощо) або іншим розчином;
- *ізотонічні* – мають однакову величину осмотичного тиску з біологічною рідиною чи іншим розчином;
- *гіпертонічні* – характеризуються вищим осмотичним тиском порівняно з біологічною рідиною.

Осмотичний тиск ізотонічних розчинів дорівнює осмотичному тиску плазми крові людини і теплокровних тварин, тобто 7,7–8,1 атм. Іноді такі розчини ще називають фізіологічними. Це штучно виготовлені розчини, які за хімічним складом наближені до плазми крові. До ізотонічних розчинів можна віднести 0,85–0,9 % розчин хлориду натрію та 4,5–5,0 % розчин глюкози.

Біологічні мембрани більш проникні для води, ніж для більшості іонів, малих гідрофільних молекул та макромолекул. Це обумовлено наявністю в біомембранах клітин білків аквапоринів, які пропускають тільки молекули води. Якщо клітина перебуває в *ізотонічному розчині*, вона не втрачає і не набуває води. Стан осмотичної напруженості клітини, обумовлений підвищенням осмотичним тиском, називають *тургором*. Він забезпечує пружність та еластичність тканин.

У *гіпертонічному середовищі* клітина зморщується внаслідок зневоднення. Це явище називається *плазмолізом* (екзоосмос) – процесом, при якому цитоплазма клітини відходить від клітинної

стілки. У гіпотонічному розчині клітина навпаки збільшується в об'ємі і якщо надходження води не вдається спинити, це призводить до її руйнування – *осмотичного лізису* (ендоосмос). Забезпечення сталого значення осмотичного тиску біологічних рідин є необхідною умовою життєдіяльності організмів.

Осмос широко використовують у лабораторній техніці при визначенні молярних характеристик полімерів, концентрування розчинів, дослідженні різноманітних біологічних структур. Осмотичні явища іноді використовуються в промисловості, наприклад при отриманні деяких полімерних матеріалів, очищенні високо-мінералізованої води методом «зворотного» осмосу рідин. Явище осмосу знаходить своє застосування у бурінні, при будівництві нафтових та газових свердловин.

Практичні роботи

1. Визначення поверхнево-активних і поверхнево-інактивних сполук

У чашку Петрі наливають 20–30 см³ дистильованої води. На поверхню води натрушують тонкий шар порошку сірки або меленого перцю. Далі скляною трубкою в центр чашки послідовно вносять по 1–2 краплі розчину мила, CuSO₄, NaCl, C₂H₅OH. За переміщенням частинок сірки від місця внесення в чашку Петрі крапель досліджуваних розчинів дають оцінку поверхневій активності.

2. Визначення величин поверхневого натягу етанолу сталагмометричним методом

Суть сталагмометричного методу полягає у визначенні кількості крапель, що виходять у чашку Петрі з сталагмометра. У момент відриву краплі її маса практично дорівнює силі поверхневого натягу. За визначенням кількості крапель рідини з відомим поверхневим натягом і кількості крапель рідини, що вивчається, розраховується поверхневий натяг рідини. Для цього використовується наступна формула:

$$\delta = \delta_1 \times \rho \times n_1 / \rho_1 \times n,$$

де δ – поверхневий натяг дослідної рідини; δ_1 – поверхневий натяг води (73,26 дин/см); ρ – густина води (1,0); ρ_1 – густина дослідної рідини (етанол) – 0,983; n – число крапель дослідної рідини в об'ємі сталагмометра; n_1 – число крапель води в об'ємі сталагмометра.

Сталагмометр вертикально закріплюють у штативі. Розчин етанолу, за допомогою гумової груші, з склянки 3 засмоктують у сталагмометр

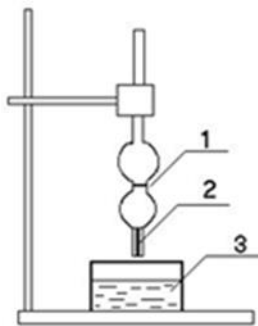


Рис. 8. Сталагмометр.

вище верхньої поділки 1 (рис. 8). Після цього етанол випускають з сталагмометра і одночасно підраховують кількість крапель. Підрахунок закінчують тоді, коли рідина досягне рівня нижньої поділки 2. Дослід повторюють декілька разів та використовують середню кількість числа крапель. Розходження між окремими вимірами не повинно бути більше 1–2 крапель. Після визначення кількості крапель етанолу прилад промивають кілька разів дистильованою водою. Потім у хімічну склянку наливають

дистильовану воду і проводять аналогічні дослідження як описано вище. Проводять визначення кількості крапель води в тому ж об'ємі.

3. Порівняння поверхневого натягу розчинів різних спиртів

При збільшенні величини радикалу в молекулі спирту зростає поверхнева активність речовин. Приготувати 0,2 молярні розчини спиртів: етилового, пропілового й ізоамілового. Визначають кількість крапель вищевказаних спиртів в об'ємі сталагмометра аналогічно роботі № 2. Записати результати.

Цифрові результати відображають у вигляді графіка, де на осі ординат відмічають число крапель етилового, пропілового й ізоамілового спирту в об'ємі сталагмометра, а на осі абсцис – число атомів Карбону відповідного спирту.

4. Залежність величини адсорбції від природи розчинника

В одну пробірку наливають 2 см³ 0,01 % водного розчину метиленового синього, в іншу – спиртового такої ж самої концентрації. В обидві пробірки додають по пучці активованого вугілля. Вміст пробірок перемішують і через деякий час фільтрують.

5. Адсорбція активованого вугілля на межі розділу двох рідких фаз

У колбу вносять 15 см³ 1 % суспензії активованого вугілля у воді. Додають 5–10 см³ бензену або хлороформу. Перемішують. Після розділення рідини на два шари (вода і бензен; вода і хлороформ) на їх межі розміщується ще один шар – активоване вугілля.

6. Визначення адсорбційної здатності активованого вугілля, білого вугілля, атоксілу, ентеросгелю, смекти

У ряд пробірок налити по 2 см^3 слабко забарвлених розчинів барвників (фуксин, метиленовий синій, діамантовий зелений). Далі у кожен пробірку вносять по $0,5\text{ г}$ адсорбентів (активоване вугілля, біле вугілля, атоксіл, смекта). Суміш збовтати та через декілька хвилин відфільтрувати.

7. Обмінна адсорбція в системі ґрунт – розчин солі

У колбу вносять декілька грамів подрібненого ґрунту та 100 см^3 дистильованої води. Суміш збовтують впродовж 1–2 хв. Частину суспензії відфільтровують через паперовий фільтр і до прозорого фільтрату додають 3–4 краплі метилового оранжевого. Якщо розчин почервоніє, то середовище кисле. У колбу приливають нову порцію свіжої дистильованої води і повторюють процедуру до тих пір, доки ґрунт не стане нейтральним.

До відмитого ґрунту додають 100 см^3 1 н розчину CH_3COONa , струшують і фільтрують через паперовий фільтр. До прозорого фільтрату додають 3–4 краплі метилового оранжевого і фіксують зміну забарвлення розчину. Для порівняння таку ж кількість крапель індикатора приливають до вихідного розчину натрію ацетату. Розчин натрію ацетату після взаємодії з ґрунтом сильно підкислюється і тому метиловий оранжевий забарвлює його у червоний колір. У вихідному розчині CH_3COONa , метиловий оранжевий залишається жовтим.

8. Елюція метиленового синього

У пробірку наливають $5\text{--}6\text{ см}^3$ 0,01 % розчину метиленового синього і додають декілька пучок активованого вугілля. Виникає адсорбційний комплекс – барвник-адсорбент. Фільтрують. До осаду, що утворився на фільтрі, додають 2 см^3 96° етанолу. З комплексу витісняється барвник, розчин якого збирають в іншу пробірку.

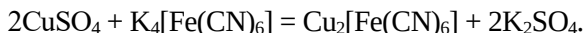
9. Ендо- і екзосмос

Беруть два мішечки з напівпроникної перегородки (мембрани), представлені колодієвою плівкою. У перший такий мішечок наливають 5 см^3 3 % розчину йоду в розчині KI і вміщують у колбочку, заповнену 5 % розчином крохмалю. У другий мішечок наливають

розчин крохмалю і вміщують у колбочку, наповнену розчином йоду в КІ. При зіткненні обох розчинників виникає синє забарвлення. Замалювати схеми дослідів. Визначити – де екзо-, а де ендосмос.

10. «Штучна» клітина Траубе (ендоосмос)

У колбу, заповнену 5 % розчином купрум (II) сульфату, опускають кристалики гексаціаноферату калію – $K_4[Fe(CN)_6]$. Через декілька хвилин на поверхні кристалу утворюється суцільна плівка $Cu_2[Fe(CN)_6]$:



Утворена мембрана проникна тільки для води, але не для розчинених в ній речовин, тобто зберігає властивість напівпроникної. В результаті різної концентрації розчинника (води) в середині оболонки і ззовні вода проникає в середину «штучної клітини». Оболонка розтягується. Виникає розтягнута порожнина. Через деякий час її вирости, які нагадують водорості або тіло гідри, внаслідок зростаючого осмотичного тиску руйнуються і знову виникають.

11. Вивчення явища осмосу в бульбах картоплі

Вирізати з бульби картоплі 3 кубики однакових розмірів, приблизно $1 \times 1 \times 1$ см. Помістити 1 кубик в пробірку з дистильованою водою, другий – в 10 % розчин NaCl, третій – у 0,9 % розчин NaCl. Спостерігати за зміною розмірів і форми кубиків.

Питання до самоконтролю:

1. Які поверхневі явища ви знаєте? Що таке поверхневий натяг?
2. Вкажіть чинники, які впливають на поверхневий натяг рідини?
3. Методи визначення поверхневого натягу.
4. Що таке ПАР, ППР де використовуються.
5. Який вплив ПАР на довкілля? Привести приклади.
6. Що таке сорбція, практичне значення? Застосування адсорбентів.
7. Чим відрізняється фізична адсорбція від хімічної?
8. Що таке осмос, та які види осмосу ви знаєте?
9. Будова та взаємозв'язок біологічних мембран з осмосом та осмотичним тиском.
10. Роль осмосу і осмотичного тиску в біологічних системах.

2.2. РЕАКЦІЯ СЕРЕДОВИЩА ТА БУФЕРНІ РОЗЧИНИ

Найважливішим елементом нашої планети є вода. Понад 70 % її поверхні вкрито водою, але придатною для пиття є лише 2 %. Основний запас прісноводної води заморожений у льодовиках. Водні екосистеми – це прісні (*озера, струмки, річки*), та солоні (*океани, моря*) води. Живий організм можна уявити як водний розчин, який знаходиться в оболонці – поверхні тіла. В організмі людини вміст води залежить від віку: в тканинах ембріону близько 94 %, у дорослих – 65 %. При втраті близько 10 % води в організм людини починаються зорові та слухові галюцинації. Втрата близько 20 % – смертельна для організму тварин і людини. За життя середньостатистична людина випиває близько 40 000 л води. Вміст води у тканинах неоднорідний: жирова, кісткова близько 30 %, мозок – 83 %, скелетне тіло – 98 %, біологічні рідини (кров, ліквор, сеча, лімфа, слина) – понад 90 %.

Вода виконує ряд важливих функцій в організмі: транспорт поживних речовин, виведення продуктів обміну з організму, джерело ендогенної води, регулювання температури тіла, підтримка електролітичного балансу, забезпечення хімічних реакцій тощо. Отже, вода є основним середовищем для перебігу життєво важливих фізико-хімічних і біохімічних процесів.

У рідкому стані молекули води зв'язані водневими зв'язками – які визначають унікальні фізичні й хімічні властивості води. Навколо молекул води утворюється гідратна оболонка, яка забезпечує просторову структуру з органічними сполуками. Завдяки гідратації молекул частина води в організмі знаходиться у зв'язаному стані – *іммобілізована вода* не є розчинником. Вода яка утворюється в процесі тканинного дихання при окисненні вуглеводів, жирів чи амінокислот називають *ендогенною* (100 г жирів → 107,1 г H₂O). Вода, що надходить в організм з продуктами харчування та питтям – *екзогенна вода*. Всмоктування відбувається в тонкому відділі кишечника далі кров'ю транспортується до різних органів і тканин. Залежно від різниці між кількістю води, що надходить, і кількістю виділеної води, розрізняють *позитивний, негативний і нульовий баланс води*. Вода вільно проходить через клітинні мембрани і розподіл її між клітинами та міжклітинним простором визначається осмотичними та гідростатичними силами.

У ґрунтах розрізняють різні типи води, які відрізняються за походженням, структурою, властивостями та іншими характеристиками. Вода в ґрунтах поділяється на зв'язану, перехідного типу та вільну (табл. 7).

Таблиця 7. Класифікація води у ґрунтах

Тип (категорія) води	Вид і різновиди води
Зв'язана	1. Вода кристалічних ґраток мінералів. 2. Адсорбційна вода.
Перехідного типу (від зв'язаної до вільної)	1. Осмотично поглинена вода. 2. Капілярна вода.
Вільна	1. Замкнена у великих порах (імобілізована). 2. Текуча.

Зв'язана вода в гірських породах утримується завдяки фізичним та хімічним силам зв'язку, які діють з боку поверхні мінералів та змінюють структуру і властивості води. Існує два типи зв'язаної води. Перший тип – вода, яка входить до складу кристалічних ґраток мінералів. Ця вода має не молекулярну, а конституційну форму і представлена ОН-групами, водою кристалізації різних кристалогідратів (якщо вони є у цій гірській породі), а також водою, «зв'язаною» з координаційно-ненасиченими атомами та іонами кристалічної ґратки мінералів.

Другий тип – це адсорбційна вода, яка утворюється внаслідок «тяжіння» молекул води до активних центрів адсорбції на поверхні мінералів. Ця вода утворює адсорбційні плівки товщиною в один або декілька молекулярних шарів і міститься в ґрунті в порах або мікротріщинах розміром менше 0,001 мкм.

Вода перехідного типу, на відміну від зв'язаної, менш схильна до дії поверхневих сил. Її утримують біля мінералів слабші зв'язки, тому її структура менш деформована, а фізичні властивості ближчі до властивостей вільної води. У межах цього типу виділяють осмотично поглинуту та капілярну воду.

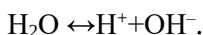
Вільна вода в ґрунті, яка має властивості звичайної води, поділяється на два типи:

- *нерухома (імобілізована)* – вода, що заповнює великі пори ґрунту. Ця вода нерухома і не може брати участь у процесах фільтрації та переміщення підземних вод.

- текуча, рухома вільна вода (вода ґрунтового потоку) – вода, що рухається ґрунтом під дією сили тяжіння або напору. Вона переміщується по великих порах і тріщинах за допомогою фільтрації. Ця вода утворює горизонти підземних вод, має властивості звичайної води та не має спотвореної структури.

Кількість рідкої фази в ґрунті може значно варіювати залежно від типу ґрунту, його мінерального складу, структури, а також від погодних умов та режиму зволоження.

Вода – універсальний розчинник, з твердими, рідкими та газоподібними речовинами утворює однорідні суміші – розчини. Майже всі рідини, які є в природі це розчини – гідросфера, нафта. Всі фізіологічні процеси в рослинах і організмах тварин відбуваються у водному середовищі при певній концентрації іонів Гідрогену. Вода, яка є слабким електролітом, в незначній мірі дисоціює на іони:



Константу дисоціації води можна представити:

$$K = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}.$$

Константа дисоціації води, визначена експериментально, при 22 °С дорівнює $1,8 \times 10^{-16}$, тобто із 555 000 000 молекул води дисоціює лише одна. Однією з причин такої незначної дисоціації води є те, що дисоціація пригнічується дією водневих зв'язків, які типові для води. У зв'язку з тим, що у воді знаходиться мізерна кількість дисоційованих молекул, концентрацію недисоційованих молекул води приймають за константу. Якщо це показати у молях, то на 1 дм³ отримують наступну кількість:

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1000/18 = 55,56 \text{ моль}.$$

Якщо цю цифру підставити у рівняння одержимо наступний вираз:

$$K = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{55,56}; \quad 55,56 \times K = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-].$$

Підставивши цифрове значення константи, одержують цифровий вираз добутку концентрації вільний іонів $[\text{H}^+]$ та $[\text{OH}^-]$:

$$[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 55,56 \times 1,8 \times 10^{-16} = 10^{-14}$$

Такий добуток називають *іонним добутком води*. Величина іонного добутку є сталою не тільки для води, але і для будь-яких розбавлених водних розчинів, в тому числі для розчинів кислот, лугів. Тому, якщо відома концентрація іонів H^+ , легко визначити концентрацію OH^- і навпаки. Однак, на практиці, щоб уникнути незручностей, пов'язаних із застосуванням чисел з від'ємними показниками ступеню, реакцію середовища звичайно характеризують за допомогою водневого показника. Водневий показник, позначений як рН, є від'ємним логарифмом концентрації іонів Гідрогену:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+].$$

Для абсолютно чистої води при 22 °С рН=7, для кислих середовищ рН<7, а для лужних рН>7.

Показник кислотності має велике значення для здійснення нормальної життєдіяльності рослин, їх росту та розвитку. Його величина впливає на асиміляцію катіонів важких металів та їх міграцію, на доступність засвоєння окремих поживних речовин рослинами обмінним ґрунтовим комплексом.

Реакція середовища ґрунту впливає на доступність хімічних елементів. Деякі елементи, такі як Ферум, Манган, Алюміній більш розчинні в кислих ґрунтах (рН 4,0–5,5) вони переходять у легкодоступні для засвоєння рослинами форми. Концентрація елементів у ґрунтах досягає токсичного рівня. При цьому надлишок цих металів порушує метаболізм білків і вуглеводів в рослин, утворення органів розмноження, що значно знижує врожай і може навіть обумовити загибель культурних посівів. За підвищеної кислотності ґрунтів спостерігається погіршення його фільтраційної здатності, капілярності та проникності, також відмічається пригнічення діяльності сапрофітної мікрофлори, яка бере участь у розкладанні гною, торфу, компостів тощо. В сильно кислому середовищі на коренях рослин погано розвиваються бульбочкові бактерії, у зв'язку з чим у бобових рослин погіршується засвоєння азоту з повітря. За таких умов не відбувається збагачення ґрунтів і не задовольняються потреби рослин, що необхідно враховувати при розробці стратегії удобрення.

У лужних ґрунтах (рН 7,5–8,5) Ферум, Манган, Фосфор, Цинк, Купрум, Бор та більшість мікроелементів стають менш доступними для рослин, оскільки утворюються малорозчинні форми гідроксидів. У результаті мінерального голодування культурні рослини можуть гинути. Для більшості рослин оптимальна нейтральна або слабкокисла (рН 6,0–7,0) реакція ґрунту. За таких умов більшість поживних речовин доступні для рослин. Встановлено, що оптимальне значення рН ґрунту для ефективного зростання картоплі знаходиться в межах 5–6,5; жита – 5–7; вівса – 5–6,5; пшениці – 6,5–7,5; люцерни – 6,5–7,5; цукрового буряку – 7,0.

Для швидкого наближеного визначення реакції середовища різних розчинів користуються *індикаторами* – це складні органічні речовини, які за хімічним характером є слабкими кислотами або основами і в залежності від концентрації іонів у розчині змінюють своє забарвлення. Розрізняють одно-, двоколірні та універсальні індикатори. До одноколірних індикаторів належать фенолфталеїн. За його допомогою визначається реакція лужного середовища від рН 8,3 до 10. Молекула фенолфталеїну у кислому середовищі безбарвна, тому що індикатор – слабка кислота і тут не дисоціює. Прикладом двоколірних індикаторів може бути метиловий оранжевий, який є слабкою основою. У недисоційованому стані індикатор має оранжеве забарвлення. Ступінь його дисоціації залежить від концентрації іонів H^+ . Катіони такого індикатора обумовлюють червоне забарвлення середовища різної інтенсивності при рН від 3,1 до 4,4. Універсальні індикатори послідовно змінюють забарвлення (рН від 2 до 10): 2 – червоний колір, 4 – оранжевий, 6 – жовтий, 8 – зелений, 10 – синій. Кількісне визначення рН здійснюється за допомогою рН-метрів.

Кислотно-основні властивості ґрунтів оцінюють для вирішення багатьох проблем в біогеохімії, ґрунтознавстві, агрохімії, меліорації тощо. Від реакції середовища ґрунтів залежить ріст і розвиток як природної, так і культурної рослинності. Не менш важливим є той факт, що кислотність, тією чи іншою мірою, обумовлює формування багатьох інших властивостей ґрунтів, впливаючи на рухомість хімічних елементів у ґрунтах та їхню доступність рослинам, на реальну ємність катіонного обміну, на ферментативну активність ґрунтів, їхні фізичні властивості. Ґрунти – це складні кислотно-основні системи. Вони містять різноманітні компоненти, які за умови

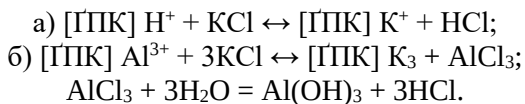
взаємодії з водою здатні проявляти властивості кислот, основ, амфотерних сполук. Розрізняють такі види кислотності ґрунтів:

- *активна кислотність*;
- *потенційна кислотність*, яку в свою чергу, поділяють на два види: *обмінну* та *гідролітичну*.

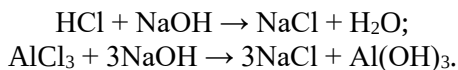
Активна кислотність визначається концентрацією іонів Гідрогену в рідких фазах ґрунтових систем і характеризується величиною рН. Значний вплив на кислотність ґрунту здійснюють постійно наявні у ґрунтовому розчині діоксид Карбону, карбонові кислоти та їхні солі. Вимірювання рН безпосередньо в ґрунті проводять досить рідко, що пов'язано з труднощами визначення та інтерпретацією одержаних результатів. Найчастіше реакцію середовища визначають в ґрунтових суспензіях. Таким чином можна отримати більш точні результатами та стандартизувати умови проведення аналізу. Реакція середовища водної суспензії ґрунту – величина не постійна, вона змінюється впродовж вегетаційного періоду. Тому частіше визначають рН сольової витяжки калію хлориду, величина якої нижча, ніж рН водної суспензії з того ж ґрунту (для кислих ґрунтів). За величиною рН сольової витяжки ґрунту роблять висновки про ступінь його кислотності і необхідність вапнування.

Потенційна кислотність показує сумарний вміст кислот в ґрунті. Вона визначається титруванням ґрунтової суспензії розчином лугу певної концентрації. Потенційну кислотність умовно ділять на дві форми: *обмінну* і *гідролітичну*.

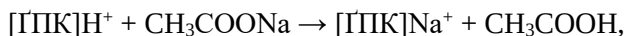
Обмінна кислотність виявляється у процесі взаємодії ґрунту з розчинами нейтральних солей. При цьому відбувається еквівалентний обмін катіона нейтральної солі на іони Гідрогену та Алюмінію, які наявні у ґрунтовому поглинальному комплексі (ГПК – сукупність мінеральних, органічних і орґано-мінеральних сполук високого ступеня дисперсності, нерозчинних у воді і здатних поглинати і обмінювати іони). Обмінне витіснення H^+ і Al^{3+} супроводжується появою у розчині кислоти. Зазвичай, обмінну кислотність визначають, застосовуючи 1 н розчин KCl, BaCl₂, CaCl₂ тощо. Реакція, яка призводить до появи обмінної кислотності, відбувається за схемою:



Ступінь кислотності оцінюють за величиною рН сольової (1 н KCl) витяжки або суспензії. Для визначення кількості кислотності сольову витяжку титрують розчином лугу за схемою:



Гідролітична кислотність – виявляється при взаємодії ґрунту з розчином гідролітично лужної солі (солі сильної основи і слабкої кислоти). Зазвичай, для цього використовують 1н розчин CH_3COONa . Реакція протікає аналогічно до тієї, яку розглянуто для обмінної кислотності:



однак внаслідок дії натрію ацетату величина кислотності є значно вищою, ніж унаслідок дії KCl. За величиною гідролітичної кислотності розраховують дози вапна, необхідного для нейтралізації всіх присутніх у ґрунті іонів H^+ та Al^{3+} . Гідролітичну кислотність визначають у чорноземах (рН = 6,5–7,0), болотних (рН < 4,5), дерново-підзолистих (рН = 4,5–6,5), сірих лісових (рН = 5,5–6,5) ґрунтах, які характеризуються слабо- чи сильнокислою реакцією. Сильнокисла та лужна реакції ґрунту здебільшого несприятливі для культурних рослин та корисних мікроорганізмів. Для покращення фізичних властивостей ґрунтів, підвищення їхньої родючості застосовують меліорацію. Для нейтралізації надлишкової кислотності проводять вапнування ґрунтів. Лужність ґрунтів пов'язують з аніонами слабких мінеральних (S^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , HSiO_3^- , H_2BO_3^- , HS^- , HPO_4^{2-} , HCO_3^{2-}) і відносно сильніших, передусім органічних, кислот. Ці аніони проявляють властивості акцепторів протонів або основ; за взаємодії з водою вони приймають від неї протон і у розчині з'являється гідрооксид-іон. Меліорація лужних ґрунтів передбачає внесення гіпсу ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$).

Однією з характерних властивостей внутрішнього середовища тваринних і рослинних організмів, ґрунтів є стала концентрація іонів Гідрогену. Це досягається як за допомогою фізіологічних (за участю таких органів, як нирки, печінка, легені, кишківник), так і фізико-хімічних механізмів (завдяки дії буферних систем).

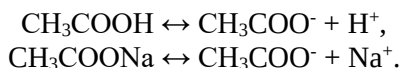
Буферними системами називають розчини, які здатні зберігати постійну концентрацію іонів Гідрогену, тобто значення рН

середовища, при додаванні до них невеликих кількостей кислоти чи лугу або при розбавлянні їх.

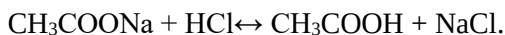
До буферних систем належать суміші, що містять:

- слабку кислоту і сіль цієї кислоти, утворену сильною основою, наприклад $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ (ацетатний буфер), $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ (бікарбонатний буфер);
- слабку основу і сіль цієї основи, утворену сильною кислотою, наприклад $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ (амонійний буфер);
- солі багатоосновних кислот, наприклад $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$ (фосфатний буферний розчин), $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ (карбонатний буфер);
- сильну або слабку кислоту (кислотний компонент) і гліцин або луг (основний компонент), наприклад, $\text{HCl} + \text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + \text{NaOH}$.

Розглянемо механізм буферної дії на прикладі ацетатного буфера:

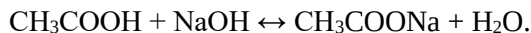


Додавання невеликої кількості сильної кислоти HCl приводить до реакції:



Сильна кислота (HCl) замінюється еквівалентною кількістю слабкої ацетатної кислоти (CH_3COOH), і концентрація іонів H^+ збільшується незначно. За законом розведення Оствальда підвищення концентрації слабого електроліту (CH_3COOH) знижує ступінь дисоціації незначно, і концентрація іонів H^+ практично не змінюється.

Додавання до буфера розчину сильної основи (NaOH) приводить до утворення еквівалентної кількості слабкоосновної солі і води:



Уцілому рівновага системи не порушується, оскільки утворення надлишку CH_3COO^- зміщує рівновагу $\text{CH}_3\text{COOH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}^+$ у бік утворення кислоти, а води навпаки.

Кожна буферна суміш зберігає сталість рН до певної кількості кислоти або лугу. Межа в якій виявляється буферна дія називається – *буферною ємністю*. З явищами буферності зв'язана родючість ґрунтів.

Вона дає змогу зберегти сприятливі для рослин властивості ґрунтів. Знаючи рН ґрунтового розчину, можна регулювати їх буферність, внесенням певних добрив. На кислих ґрунтах оптимальне рН ґрунтового розчину для рослин становить 4,5–5,0. Зменшення кислотності (рН=6–7) призводить до засихання рослин. На лужних ґрунтах рослини потребують рН=7,5–8,5.

В організмі внаслідок метаболізму утворюється значна кількість кислот: піровиноградна, цитратна, оксалатова, лактатна кислоти та інші, які з катіонами утворюють буферні системи. Головним джерелом іонів Гідрогену в організмі є CO_2 , який утворюється внаслідок метаболізму, наприклад декарбоксилування кислот.



Організм тварин постійно зазнає навантаження через іони Гідрогену, що компенсується такими основними буферними системами: гідрокарбонатною, фосфатною, гемоглобіновою, оксигемоглобіновою, білковою. Дія їх в організмі взаємопов'язана і забезпечує сталість рН (*ізогідрія*) у крові, клітинах, міжклітинній рідині, плазмі. Реакція середовища крові людини коливається в межах від 7,3 до 7,4. Оптимальність дії ензимів залежить від рН середовища. Наприклад, пепсин найбільш активний при рН=1,5, птіалін за рН 6,7. Навіть невеликі відхилення від цієї величини обумовлюють зміну нормальну життєдіяльність організму.

Буферна ємність екосистеми – здатність екосистеми протистояти забрудненню; кількість забруднювача, яку екосистема може поглинути без помітних негативних наслідків для неї. Буферність ґрунтів та води – визначається зміною їх хімічного складу (під впливом зовнішніх чинників), наявністю карбонатів і колоїдів без зміни рН.

Практичні роботи

1. Колориметричний метод визначення реакції середовища

Для орієнтовного визначення реакції середовища з похибкою в одиницю використовують колориметричний метод. Для цього використовуються індикатори. У якості універсального індикатора використовують екстракт червонокочанної капусти. Для його приготування подрібнюють листя капусти і заливають окропом на 5–

10 хв. Далі в 5 пробірок вносять по 2 см^3 екстракту капусти. Перша пробірка слугує контролем. У другу пробірку вносять розчин ацетатної кислоти, третю – сульфатної кислоти, четверту – гідрокарбонату натрію, п'яту – гідроксид натрію. Спостерігають за зміною кольору у пробірках.

2. Потенціометричний метод визначення реакції середовища



У 4 пробірки наливають по 5 см^3 розчинів CH_3COOH , HCl , NaOH і дистильованої води. Визначають рН розчинів індикаторним папером та за допомогою рН-метра (рис. 9). Результати роботи записують у табл. 8.

Рис. 9. рН метр (марка рН-150 М).

Таблиця 8. Реакція середовища розчинів різних класів речовин

Склад розчину	CH_3COOH	HCl	NaOH	H_2O	Невідомий розчин
Показник рН-метра					

3. Визначення активної кислотності у ґрунті

У склянку на 50 см^3 відважують 10 г ґрунту і додають 25 см^3 дистильованої води. Суміш збовтують впродовж 10–15 хв і залишають на 12 год. Піпеткою відбирають надосадову рідину і за допомогою рН-метра визначають реакцію середовища водної витяжки ґрунту.

4. Визначення обмінної кислотності в ґрунті

Готують ґрунтову суспензію за описом, наведеним для визначення активної кислотності, тільки замість дистильованої води приливають 25 см^3 1 н розчину KCl (рН 5,6–6,0). Всі подальші маніпуляції аналогічні, як і при вимірюванні водної витяжки.

5. Визначення гідролітичної кислотності ґрунту

У ємність поміщають 20,0 г повітряно-сухого ґрунту (дрібнозему), додають 50 см^3 1 н розчину CH_3COONa (рН 8,3–8,4). Суміш збовтують впродовж 3–5 хв і залишають у спокої на 18–20 год. Після відстоювання суміш збовтують та фільтрують через сухий складчастий фільтр у колбу, намагаючись якомога більше перенести

на фільтр ґрунту. Перші порції фільтрату 10 см³ видаляють. Якщо при фільтруванні одержують каламутний розчин, його повторно фільтрують. Далі 20 см³ фільтрату поміщають у конічну колбу ємністю 250 см³, додають 2–3 краплі фенолфталеїну та титрують 0,1 н розчином натрію гідроксиду до слабо рожевого кольору, яке не зникає впродовж 1 хв. Розрахунки проводять за формулою:

$$H, \text{ моль-екв/100 г ґрунту} = \frac{V_{\text{ал}} \times m_{\text{гр}}}{V_{\text{ал}} \times m_{\text{гр}}},$$

де C_{NaOH} – концентрація робочого розчину NaOH, моль-екв/л; V_{NaOH} – об'єм натрій гідроксиду, використаний за титрування 20 см³ ґрунтової витяжки, см³; $V_{\text{вит}}$ – об'єм приготовленої ґрунтової витяжки, см³; $V_{\text{ал}}$ – об'єм ґрунтової витяжки, взятої для титрування, см³; $m_{\text{гр}}$ – маса ґрунту, використана для приготування ґрунтової витяжки, г; 100 – перевідний коефіцієнт на 100 г ґрунту; 1,75 – перевідний коефіцієнт для компенсації неповного витіснення з ґрунту кислотних компонентів при однократній обробці ґрунту розчином для екстрагування.

6. Визначення загальної кислотності води

У конічну колбу ємністю 200–250 см³ піпеткою відбирають 100 см³ досліджуваної води, додають 3–4 краплини фенолфталеїну і титрують 0,1 М розчином NaOH (розчин луґу додавати краплинами) до появи слабкого рожевого забарвлення розчину, яке не зникає впродовж 2–3 хв. Титрування повторюють декілька разів до отримання не менше, ніж трьох результатів, що відрізняються не більше, ніж на 0,1 см³.

Загальну кислотність (ммоль/л) розраховують за формулою:

$$K_3 = \frac{C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}},$$

де C_{NaOH} – молярна концентрація NaOH у розчині, моль/л; V_{NaOH} – об'єм робочого розчину NaOH, витрачений на титрування з фенолфталеїном, см³; $V_{\text{H}_2\text{O}}$ – об'єм проби води, см³.

7. Визначення загальної лужності води

У конічну колбу місткістю 250 см³ піпеткою відміряють 100 см³ досліджуваної води, додають 3–4 краплини метилового оранжевого і титрують 0,1 М розчином HCl до переходу забарвлення від жовтого

до помаранчевого (рН=4). Розрахунок лужності загальної (Л₃) розраховують за формулою:

$$Л_3 = \frac{C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \times 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}},$$

де: C_{HCl} – молярна концентрація розчину HCl, моль/л; V_{HCl} – об'єм 0,1 М розчину HCl, витрачений на титрування в присутності метилового помаранчевого, см³; V_{H₂O} – об'єм проби води, що взяли для дослідження, см³.

8. Приготування ацетатних буферних розчинів і визначення концентрації водневих іонів буферним методом

У 5 пробірок наливають з градуйованих піпеток розчин 0,1 н ацетатної кислоти і 0,1 н натрію ацетату (табл. 9).

Таблиця 9. Приготування ацетатних буферних розчинів

Пробірки	1	2	3	4	5
Кількість кислоти, см ³	4,5	4,0	2,5	1,5	0,5
Кількість солі, см ³	0,5	1,0	2,5	3,5	4,5
Значення рН	3,76	4,05	4,53	4,99	5,57
Виміряне значення рН					
Колір універсального індикатора					

У кожную пробірку додають по 3 краплі індикатора метилового червоного. В залежності від рН буферного розчину в пробірках виникає забарвлення різної інтенсивності. В подальшому цей ряд пробірок служить кольоровою шкалою для визначення рН невідомого розчину за забарвленням. При цьому з'являється забарвлення, яке порівнюють із забарвленням у пробірках кольорової шкали. Відповідність кольорів свідчить про однакову концентрацію іонів Н⁺.

9. Визначення буферної ємності ґрунту

До наважки ґрунту 20 г додають 40 см³ дистильованої води, суміш перемішують скляною паличкою через кожні 4–5 хв впродовж 30 хв, розчин фільтрують. У два стакана відбирають піпеткою по 10 см³ фільтрату, за допомогою рН-метра визначають реакцію середовища (рН₀). У першу склянку з бюретки, не великими порціями, додають 0,1 н розчин HCl, в другий 0,1 н NaOH. Суміш постійно перемішують і слідкують за показниками приладу. Дослід проводять доти, поки рН фільтрату не зміниться на одиницю. Фіксують об'єм хлоридної

кислоти та натрію гідроксиду, який додали до фільтрату ґрунту. Буферну ємність за кислотою та лугом визначають за формулою:

$$B_k = N \times a \times 100 / C;$$

де B_k – величина буферної ємності по кислоті чи луку мг·екв/100 г ґрунту; N – нормальність хлоридної кислоти або натрію гідроксиду (0,1); a – кількість кислоти або луку, що витратили на титрування; C – маса наважки ґрунту, г; 100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту.

Питання до самоконтролю:

1. Значення води в екосистемі.
2. Іонний добуток води, його значення для теорії електролітів.
3. Водневий показник середовища. Способи визначення рН розчинів.
4. Характеристика індикаторів: застосування.
5. Буферні розчини, принцип дії. Буферна ємність.
6. Буферні системи ґрунтів. Способи поліпшення буферної характеристики ґрунтів.
7. Привести приклади важливості величини рН у різних сферах.
8. Біологічне значення буферних систем.
9. На прикладі амонійного буферного розчину показати, чому не відбувається зміна рН при додаванні невеликих кількостей сильної кислоти або луку.

2.3. КОЛОЇДНІ РОЗЧИНИ, ОДЕРЖАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ

Колоїдна хімія – наука, яка вивчає фізико-хімічні властивості гетерогенних високодисперсних систем і високомолекулярних сполук та процеси, які в них відбуваються. Навколишня природа є сукупністю колоїдно-дисперсних і грубодисперсних систем. Колоїдні розчини входять до складу тваринних і рослинних клітин.

Об'єктом вивчення колоїдної хімії є дисперсні системи. За своєю природою – це гетерогенні (неоднорідні) фізико-хімічні системи. Кожна система складається з двох і більше фаз. Перша з них часто переважає за своєю масою і називається *дисперсійним середовищем* (табл. 10). Інша у дисперсійному середовищі знаходиться в диспергованому (подрібненому) стані у вигляді дрібних часток (кристалів, пластинок, ниток, пухирців, крапель) і називається *дисперсною фазою*. Дисперсні системи поширені у природі (наприклад, гірські породи і ґрунти, рослинні і тваринні тканини,

хмари, атмосферні опади, харчові продукти, будівельні матеріали, лікарські засоби тощо).

Таблиця 10. Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом фаз

Дисперсна фаза	Дисперсійне середовище	Умове позначення	Назва системи та приклади
Тверде тіло	Тверде тіло	T/T	Мінерали, металічні сплави, кольорове скло, емалі, тверді золі
Рідина	Тверде тіло	P/T	Вологий ґрунт, тканини тваринних і рослинних організмів, віск, перли, бурштин
Газ	Тверде тіло	G/T	Тверді піни, пінопласт, пінобетон, цеоліти, активоване вугілля, пористі тіла (хліб, сир)
Тверде тіло	Рідина	T/P	Колоїдні розчини, суспензії, фруктові соки, овочеві пасти, мул
Рідина	Рідина	P/P	Емульсії, косметичні креми, майонез, молоко
Газ	Рідина	G/P	Мильна піна, протипожежна піна
Тверде тіло	Газ	T/G	Дим, пил (промислові викиди)
Рідина	Газ	P/G	Туман, хмари, аерозолі

Дисперсні системи класифікують за різними ознаками:

- *за ступенем дисперсності* – грубодисперсні (суспензії, емульсії – розмір частинок > 100 нм), мікрогетерогенні або колоїдні – від 1 до 100 нм), справжні або молекулярні (розмір часток < 1 нм);
 - *за агрегатним станом* – газодисперсні, рідинодисперсні, твердодисперсні;
 - *за інтенсивністю взаємодії між фазами* – ліюфобні та гідрофобні;
 - *за ступенем структурування* – структуровані та безструктурні;
- Зміна розміру частинок дисперсної фази спричиняє суттєві зміни у властивостях дисперсної системи (табл.11).

Таблиця 11. Загальна характеристика дисперсних систем і справжніх розчинів

Грубодисперсні розчини	Колоїдні розчини	Справжні розчини
мікрогетерогенні	ультрамікрогетерогенні	гомогенні
утворенні з нерозчинних речовин	утворенні з нерозчинних речовин	утворені з розчинених речовин
непрозорі	прозорі	прозорі
кінетично нестійкі	кінетично стійкі, агрегативно малостійкі	стійкі
не дифундують	повільно дифундують	швидко дифундують
не проходять крізь паперовий фільтр	проходять крізь паперовий фільтр, не проходять крізь ультрафільтр	проходять крізь паперовий фільтр та ультрафільтр
видимі в оптичний мікроскоп	невидимі в оптичний мікроскоп, видимі в ультрамікроскоп	невидимі ні в оптичний мікроскоп, ні в ультрамікроскоп
відбивають, заломлюють світло	розсіюють світло	оптично прозорі

У високодиспергованому стані речовина набуває особливих властивостей. Наприклад, цукор, борошно, вугілля у вигляді пилу, маючи велику поверхню контакту з киснем, можуть вибухнути. Саме тому лікарські речовини у колоїдному стані (у вигляді аерозолі) часто виявляють кращу дію, забезпечуючи значний контакт діючої речовини з ураженою поверхнею.

МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ КОЛОЇДНИХ РОЗЧИНІВ

Всі методи одержання колоїдних розчинів розподіляють на три групи: *дисперсійні, конденсаційні і пептизаційні*. У процесі диспергування великі частки подрібнюють до колоїдного ступеня дисперсності. Краще диспергування твердих речовин досягається при змочуванні їх рідинами з додаванням поверхнево-активних речовин, високомолекулярних сполук, електролітів. Останні не лише слугують стабілізаторами, а й забезпечують розклинювальний ефект, який полегшує диспергування.

Для подрібнення грубодисперсних розчинів використовують:

- кульові і колоїдні млинки (одержання фармацевтичних препаратів, розчинів різноманітних фарб);

- ультразвук (одержання високодисперсних суспензій та емульсій, придатних для внутрішньовенного введення, стерилізацію колоїдних розчинів, суспензій, емульсій, оскільки кавітація руйнує клітинні мембрани мікроорганізмів та їх спор);

- електричний струм (отримують гідрозолі благородних металів золота, срібла, платини).

В основу *конденсаційних* методів покладено утворення частинок дисперсної фази із пересиченого розчину або пари за певних фізичних і хімічних умов. При цьому залежно від умов конденсації можна отримати системи будь-якої дисперсності. Конденсаційні методи отримання колоїдних систем поділяють на *фізичні* та *хімічні*. Методи фізичної конденсації ґрунтуються тільки на фізичних явищах, без перебігу хімічних реакцій (конденсація пари, заміна розчинника тощо).

Метод конденсація пари. Ґрунтується на конденсації пари розчиненої речовини у частинки колоїдної дисперсності в охолоджену дисперсійному середовищі. Наприклад, під час пропускання пари киплячого Меркурію в холодну воду, де є стабілізатори (солі аміаку чи цитрати), утворюється стійкий гідрозоль. Аналогічним способом можна отримати гідрозолі Селену, Сульфур, Фосфору, Кадмію, Плюмбуму. Принцип конденсації пари лежить в основі утворення туману і диму.

Метод заміни розчинника оснований на заміні дисперсійного середовища, що відбувається при додаванні невеликої кількості справжнього розчину речовини до розчинника, в якому ця речовина нерозчинна або малорозчинна (обидва розчинники повинні необмежено змішуватися). Це призводить до утворення високодисперсної системи. Наприклад, Сульфур в етанолі утворюють справжній розчин. Якщо до такого розчину додати воду, то одержаний водно-спиртовий розчин стане пересиченим, що призведе до агрегації молекул Сульфур з утворення злегка каламутного золю.

В основі методів *хімічної конденсації* лежать хімічні реакції (відновлення, окиснення, подвійного обміну, гідролізу), що супроводжуються утворенням малорозчинних речовин. З цією метою головним чином використовують реакції подвійного обміну, відновлення, окиснення та гідролізу.

Метод пептизації. Це процес перетворення пухких осадів у колоїдні розчини під впливом зовнішніх чинників. Пептизація може

відбуватися в результаті промивання осадів розчинами пептизаторів. У якості пептизаторів можуть використовувати ПАР і електроліти, що здатні вибірково адсорбуватися на поверхні частинок матеріалу, який підлягає пептизації. Наприклад, одержання золю ферум (III) гідроксиду $\text{Fe}(\text{OH})_3$ за дії на його осад невеликої кількості водного розчину електролітів-пептизаторів FeCl_3 , HCl , AlCl_3 тощо.

СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ КОЛОЇДНИХ РОЗЧИНІВ

У більшості випадків колоїдні розчини, отримані різними методами, містять низькомолекулярні домішки, які утворюються у разі хімічних реакцій або потрапляють у розчин внаслідок забруднення вихідних реагентів. Наприклад, гідрозоль йодиду аргентуму, одержаний у результаті реакції нітрату аргентуму з йодидом калію, містить нітрат калію, а також надлишок AgNO_3 або KI , що не прореагували. Наявність домішок знижує стійкість колоїдних систем, тому виникає потреба в очищенні отриманих розчинів.

Колоїдні розчини необхідно очищувати від домішок, іонів та інших низькомолекулярних речовин, які зменшують стабільність системи. Для очищення колоїдних розчинів використовують методи: діаліз, електродіаліз, компенсаційний діаліз, вивідіаліз, ультрафільтрація.

Діаліз заснований на застосуванні напівпроникних мембран (целофан, пергамент, колодій, стінка сечового міхура свині), які пропускають іони й молекули, але затримують колоїдні частинки. У результаті дифузії низькомолекулярні домішки переходять у зовнішній розчин, що обмиває мембрану, і золь очищується. Це повільний процес, який можна прискорити, наприклад, дією електричного струму.

Електродіаліз – це процес розділення іонів у розчині за допомогою спеціальних мембран під впливом електричного поля. Це прискорює рух іонів порівняно з традиційним діалізом. Прилад складається із трьох частин, внаслідок його розділення двома напівпроникними мембранами. У середню камеру наливають колоїдний розчин, у бічні – чистий розчинник і занурюють електроди, на які подається постійна напруга. Завдяки цьому, іони рухаються з більшою швидкістю, що значно прискорює процес очищення колоїдного розчину. Метод використовують для очищення промислових стоків, розчинів білків, вакцин, сироваток тощо.

Сутність *компенсаційного діалізу* полягає в тому, що рідина в

діалізаторі обмивається не чистим розчинником, а розчинами з різним вмістом обумовленої речовини.

Близьким до компенсаційного діалізу є *вивідіаліз*. З його допомогою можна визначати вміст у крові низькомолекулярних речовин. Для цього перерізану судину приєднують до трубок з напівпроникного матеріалу й занурюють у посудину з фізіологічним розчином або водою. У такий спосіб була встановлена наявність у крові вільної глюкози, амінокислот. За принципом компенсаційного діалізу працює апарат «штучна нирка» (АШН), який застосовується за гострої ниркової недостатності, обумовленої отруєннями, токсикозом, важкими опіками тощо. При цьому кров під тиском протікає у вузькому зазорі між двома напівпроникними мембранами, омиваними фізіологічним розчином, в який виходять через мембрану токсичні продукти. Очищення крові (гемодіаліз) від продуктів розпаду (сечовина, сечова кислота, надлишок іонів калію, хлору тощо) проводиться впродовж 3–4 годин.

Ультрафільтрація – очищення колоїдних розчинів фільтруванням їх під тиском або у вакуумі крізь ультрафільтри, які пропускають дисперсійне середовище разом із низькомолекулярними домішками, але затримують частинки колоїдних розмірів. У якості мембранних фільтрів можуть використовувати нітроцелюлозу, ацетатцелюлозу, скловолокно. Ультрафільтрація забезпечує високий рівень і швидкість очищення золів, особливо в поєднанні з електродіалізом. Цей метод називають електроультрафільтрацією.

Для поділу компонентів дисперсної системи використовують *ультрацентрифугування*, що полягає в розподілі частинок різної маси у відцентровому полі великих прискорень. Ультрацентрифуги здатні розділити частинки розміром менш як 10^{-7} м.

Методом ультрацентрифугування користуються в медико-біологічних дослідженнях для розділення біополімерів, вірусів, субклітинних елементів. Дає можливість оцінити форму і розміри макромолекул у розчині. Здійснюється за допомогою ультрацентрифуг.

ВЛАСТИВОСТІ КОЛОЇДНИХ РОЗЧИНІВ

Колоїдні розчини мають багато властивостей, які відрізняють їх від справжніх розчинів та грубодисперсних систем. До них, перш за

все належать *молекулярно-кінетичні властивості*, обумовлені формою, розміром та інтенсивністю руху колоїдних часток.

Для золів характерний *броунівський рух*. Колоїдні частинки, як і молекули, перебувають у безперервному хаотичному русі, що забезпечує їх рівномірний розподіл (дифузію) у всьому об'ємі колоїдного розчину. Цей рух виникає внаслідок зіткнення молекул дисперсійного середовища з відносно великими частинками дисперсної фази.

Дифузія – самовільний процес вирівнювання концентрації колоїдних часток по всьому об'єму розчину внаслідок броунівського руху. Інтенсивність броунівського руху тим більша, чим менший розмір частинок і вища температура. Тому в колоїдних розчинах, частинки яких значно більші за молекули та іони, швидкість дифузії мала.

Флуктуація – це випадкові відхилення фізичних характеристик (таких як густина, розмір частинок, концентрація) від їхнього середнього значення в певній системі.

Осмотичний тиск залежить від числа частинок в одиниці об'єму колоїдного розчину і не залежить від їхньої природи і форми. За однакової масової концентрації частинкова концентрація в золях значно менша, ніж у молекулярних розчинах, тому осмотичний тиск колоїдних систем невеликий. Частина осмотичного тиску в золях обумовлена ще й тими електролітами, які забезпечують стійкість дисперсних систем.

Мембранна рівновага Доннана – динамічний стан, який встановлюється в системі, що складається з двох розчинів електролітів, розділених напівпроникною мембраною. Ця мембрана пропускає іони одного типу (наприклад, катіони), але не пропускає іони іншого типу (наприклад, аніони).

Седиментаційна рівновага – властивість дисперсної системи зберігати рівномірне розташування частинок по всьому об'ємі.

Оптичні властивості обумовлені взаємодією світла з частинками колоїдних систем. Вивчення оптичних властивостей дає змогу встановити природу колоїдних розчинів, їх концентрацію, розміри і форму частинок дисперсної фази.

Забарвлення золів пов'язано з поглинанням їх частинками променів світла. Процес поглинання – вибіркового: одні частинки поглинають світло повністю, інші – частково промені певної довжини. Забарвлення золів залежить від природи розчинника і розчиненої речовини, ступеня

дисперсності та інтенсивності світла. Чим менший радіус частинок, тим сильніше вбираються хвилі меншої довжини. Тому, наприклад, високодисперсний золь золота внаслідок вбирання короткохвильової частини спектра набуває червоного забарвлення. При збільшенні розмірів частинок вбирається червона частина спектра і золь набуває синього забарвлення.

Опалесценція – явище розсіювання світла колоїдними частиками і розчинами високомолекулярних сполук. Розмір колоїдних частинок (1–100 нм) близький до довжини хвилі видимого світла (400–700 нм). Це призводить до того, що світло розсіюється колоїдними частинками в усіх напрямках.

Розсіювання світла (явище Фарадея-Тіндаля) – під час пропускання променів світла через колоїдний розчин виникає світловий конус.

Ультрамікроскопія – дає змогу розглядати форму та розмір колоїдних часток. Метод не дає змоги безпосередньо визначати розміри і форму частинок оскільки спостерігаються не самі частинки, а розсіяне ними світло. Цим методом можна встановити швидкість руху частинок, їх кількість у певному обсязі, спостерігати коагуляцію частинок у вигляді злиття двох світлих крапок. Метод використовують у санітарно-гігієнічній практиці для визначення чистоти повітря.

Електронна мікроскопія – сучасний найбільш досконалий метод дослідження розмірів і форми частинок. За допомогою даного методу можна спостерігати зображення окремих молекул, вірусів, елементів клітин, груп атомів, бачити форму, будову частинок і визначати їх точні розміри.

Нефелометрія – ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світла, що розсіюється дисперсною системою.

Електрокінетичні властивості колоїдних розчинів обумовлені наявністю в їх частинках подвійного кінетичного шару, що визначає поведінку колоїдних частинок за різних умов їх існування.

Електрофорез – рух частинок дисперсної фази в дисперсному середовищі під дією зовнішнього електричного поля до протилежно зарядженого електрода. Метод використовують у лабораторній практиці для розділення нуклеїнових кислот, амінокислот, антибіотиків, ферментів, стеринів та методів контролю чистоти лікарських речовин.

Електроосмос – явище спрямованого руху рідини через капіляри або пористі діафрагми під впливом електричного поля. Електроосмос використовують для видалення надлишкової вологи з ґрунтів при прокладанні транспортних магістралей і гідротехнічному будівництві, для сушки торфу, а також для очищення води, технічних рідин тощо.

Практичні роботи

1. Одержання гідрозолу методом заміни розчинника (метод фізичної конденсації)

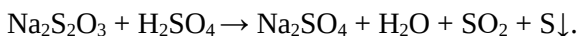
Метод фізичної конденсації ґрунтується тільки на фізичних явищах без перебігу хімічних реакцій (конденсація пари, заміна розчинника тощо). Зокрема сірка розчинна у спирті і нерозчинна у воді, якщо спиртовий розчин вилити у воду, виникає гідрозоль сірки.

Для приготування колоїдного розчину в пробірку з водою доливають з крапельниці спиртовий розчин сірки або каніфолі до виникнення опалесценції. *Опалесценція* – фізичне явище розсіяння світла каламутними розчинами (здебільшого колоїдів) з утворенням різних його відтінків.

2. Одержання гідрозолу сульфуріуму методом окиснення

В основі методів хімічної конденсації лежать хімічні реакції, що супроводжуються утворенням малорозчинних речовин. З цією метою використовують реакції подвійного обміну, відновлення, окиснення та гідролізу.

У колбу наливають 10 см³ дистильованої води, додають 1 г натрію тіосульфату. Суміш виливають у бюретку. У хімічну склянку (об'ємом 50 см³), наливають 7,6 см³ концентрованої сульфатної кислоти і занурюють її в охолоджувальну суміш (подрібнений лід з натрій хлоридом). У цю ж склянку під тягою (у витяжній шафі) з бюретки краплями додають розчин натрію тіосульфату. Спостерігають утворення осаду жовтого кольору. У склянку, обережно наливають 20 см³ дистильованої води. Суміш нагрівають. Золь утворюється у результаті такої хімічної реакції:



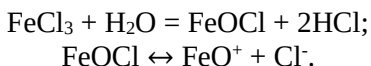
3. Одержання золю ферум гідроксиду (метод хімічної конденсації, реакція гідролізу)

До 100 см³ киплячої води доливають 3–4 краплі насиченого розчину FeCl₃. У результаті реакції енергійно протікає гідроліз ферум (III) хлориду й утворюються агрегати ферум (III) гідроксиду, що

конденсуються в колоїдні частинки. Утворюється золь вишнево-червоного кольору. Під час кип'ятіння цього розчину разом із водяною парою із системи видаляється хлоридна кислота (під витяжною шафою!), що сприяє проходженню процесу:

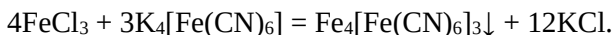


Стабілізатором золю прийнято вважати ферум (III) оксохлорид, що є продуктом неповного гідролізу ферум (III) хлориду:



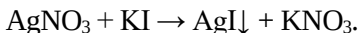
4. Одержання золю ферум (III) гексаціаноферату (II) (метод хімічної конденсації, реакція обміну)

До 100 см³ води додають 0,1 см³ (3–4 краплі) насиченого на холоді розчину FeCl₃, потім, збовтуючи додають 1 краплю розчину K₄[Fe(CN)₆] (20 %). Утворюється золь синьо-зеленого кольору (берлінська блакить):



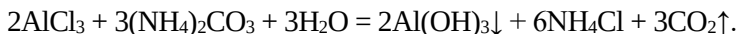
5. Одержання гідрозолю аргентум йодиду (метод хімічної конденсації реакція обміну)

У першу колбу піпеткою вносять 3 см³ 0,01 н розчину KI, а потім повільно, при сильному струшуванні, додають із бюретки 2 см³ 0,01 н AgNO₃. У другу колбу так само наливають 3 см³ 0,01 н розчину AgNO₃, а потім повільно, при сильному струшуванні додають із бюретки 2 см³ 0,01 н KI. Утворюються два колоїдних розчини AgI, заряджені не однаково:



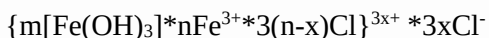
6. Одержання золю алюміній (III) гідроксиду (адсорбційна пептизація)

До 20 см³ води додають 15 крапель 20 % розчину AlCl₃ та енергійно збовтують. Далі додають декілька крапель 10 % розчину амоній карбонату до утворення важкорозчинного осаду алюміній гідроксиду. У якості пептизатора, що обумовлює стійкість золю, виступає надлишок алюміній (III) хлориду, який не вступив у реакцію:

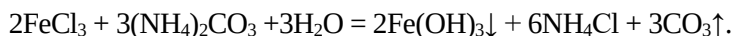


7. Одержання золю ферум (III) гідроксиду (адсорбційна пептизація)

Прикладом адсорбційної пептизації є перехід свіжоотриманого і промитого водою ферум (III) гідроксиду в золь у разі додавання до нього невеликих кількостей розчину FeCl_3 . При цьому частинки $\text{Fe}(\text{OH})_3$ вибірково адсорбують іони Fe^{3+} , які надають частинкам позитивний електричний заряд. В результаті між частинками виникають електростатичні сили відштовхування, і вони переходять у підвішений стан – золь.



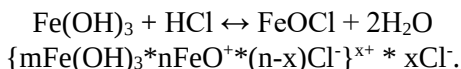
До 10 см³ води додають 15 крапель насиченого (без нагрівання) розчину ферум (III) хлориду суміш енергійно збовтують. До суміші додають по краплям 10 % розчин амоній карбонату до утворення важкорозчинного осаду ферум (III) гідроксиду.



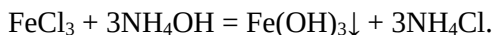
Для пептизації (стабілізації) золь додають декілька крапель насиченого розчину хлориду ферум (III) і енергійно струшують колбу з розчином до повного розчинення осаду.

8. Одержання золю ферум (III) гідроксиду (дисолюційна пептизація)

Прикладом дисолюційної пептизації є перехід осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у золь за додавання невеликих об'ємів розчину HCl , який сам по собі не є пептизатором, проте хімічно реагує з поверхнею осаду, утворюючи власний пептизатор FeOCl :

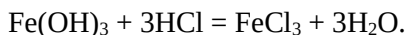


У колбу вносять 40 см³ води та 2 см³ насиченого розчину FeCl_3 . До суміші додають краплинами, збовтуючи, концентрований розчин амоній гідроксиду до повного осадження іонів Fe^{3+} :

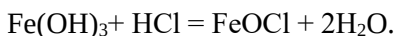


Осад багаторазово промивають дистильованою водою (до зникнення каламуті). Потім осад розділяють на дві частини, які переносять в окремі колби.

У першу колбу з осадом вносять 100 см³ 0,1 н розчину хлоридної кислоти, суміш збовтують. Спостерігають повне розчинення осаду з утворенням ферум (III) хлориду (розчин жовтого кольору):



В іншу колбу з осадом Fe(OH)₃ вносять 100 см³ 0,01 н розчину HCl. Під час збовтування утворюється золь вишнево-червоного кольору. Це відбувається через те, що HCl реагує лише з частинками осаду на його поверхні, адже його недостатньо для повного розчинення. Продукти реакції (FeCl₃ або FeOCl) дисоціюють, утворюючи подвійний електричний шар, який стабілізує золь:



Порівнюють розчини в обох колбах і підтверджують в одному з них утворення колоїдного розчину за наявністю конуса Фарадея-Тіндала.

9. Одержання золю мила методом часткового гідролізу

У склянку наливають 20 см³ дистильованої води, додають невеликі шматочки наструганого мила. Суміш інтенсивно збовтують. На початку (при малій концентрації мила) утворюється прозорий розчин з лужною реакцією. Зі збільшенням концентрації починається конденсація частини молекул мила і молекул вищих жирних кислот (які утворюються в процесі гідролізу). Це помітно по опалесценції розчину, а також зміні його рН. Надалі система стає грубодисперсною, каламутною.

10. Одержання золю ясного альбуміну

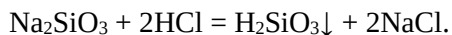
У колбу на 100 см³ вносять білок курячого яйця і додають 50 см³ холодної води, ретельно перемішують до повного розчинення. Потім доливають в колбу води до мітки. У одержаному колоїдному розчині спостерігається опалесценція.

11. Одержання золю крохмалю

У склянку насипають 0,5 г крохмалю, додають 10 см³ холодної води, перемішують і виливають у другу склянку з 90 см³ окропу. Утворюється 0,5 % розчин крохмалю, який поступово перетворюється у клейстер. Дослідити розчин крохмалю на явище опалесценції.

12. Одержання золю силікатної кислоти

До розведеної 1:5 хлоридної кислоти (1/3 пробірки) додають перемішуючи 8–10 крапель розчину натрій силікату:



13. Визначення заряду колоїдної частинки методом капілярного аналізу

Метод капілярного аналізу дає змогу визначити заряд золю, ґрунтуючись на залежності адсорбційної здатності золю від знаку заряду поверхні адсорбенту. При однойменному заряді золю і поверхні адсорбція ускладнена, різнойменні знаки заряду посилюють адсорбцію. Наприклад, стінки капілярів фільтрувального паперу (шовк, целюлоза, пісок тощо) у воді заряджені негативно. Негативно заряджені частинки золю піднімаючись по капілярам забарвлюють папір. У свою чергу позитивно заряджені частинки адсорбуються на стінках капілярів і майже не піднімаються по паперу. Цей метод зручний для визначення знаку заряду барвників.

У 4 пробірки наливають по 5 см³ різних розчинів барвників: метиленовий синій, фуксин основний, фуксин кислий, еозин. Одночасно в усі пробірки занурюють смужки фільтрувального паперу, які нерухомо закріплені на планці штатива. Важливо щоб смужки не торкалися стінок пробірки. Через 20 хвилин виймають смужки з пробірок. Результати записують у таблицю 12.

Таблиця 12. Визначення заряду колоїдної частинки методом капілярного аналізу

Барвники	Висота піднімання (найбільша, велика, мала, найменша)	Знак заряду (+ або –)
Метиловий синій		
Фуксин основний		
Фуксин кислий		
Еозин		

14. Коагуляція гідрофобних і гідрофільних золів

Коагуляція – зменшення дисперсності системи в результаті злипання часток дисперсної фази та утворення більш або менш великих агрегатів із втратою седиментаційної стійкості та наступним розділенням фаз. Розрізняють дві стадії коагуляції: прихована

коагуляція – втрата агрегативної стійкості та злипання часток, при яких золь можна вважати практично стійким; явна коагуляція – осідання (спливання) утворених агрегатів. Початок коагуляції визначають за такими ознаками: знижується осмотичний тиск, виникає каламуть, змінюється забарвлення та характер в'язкості, підвищується світлорозсіювання.

Коагуляція відбувається внаслідок старіння системи, зміни температури, механічної дії, впливу електромагнітного поля, електролітів, що призводить до руйнування енергетичного бар'єра.

У дві пробірки наливають по 10 см³ гідрофобного (колоїдний розчин сірки) та гідрофільного (розчин альбуміну) золю. До кожного розчину додають по 5–6 крапель насиченого розчину амонію сульфату. За додавання електроліту до гідрофобного золю спостерігається коагуляція дисперсної фази золю. За додавання вказаного розчину до гідрофільного розчину осад не утворюється. Гідрофільні колоїди характеризуються більшою стійкістю до електролітичної коагуляції.

15. Коагуляція білка, розчину електролітів

З білка курячих яєць готують свіжий розчин альбуміну. У чотири пробірки вносять по 2 см³ отриманого розчину. У першу та третю пробірку додають по 0,2 см³ 6 н розчин ацетатної кислоти, енергійно струшують. Далі у першу та другу пробірку додають по 5 крапель 1 % розчину CuSO₄, а в третю та четверту – по 5 крапель 1 % розчину K₃[Fe(CN)₆] і також сильно струшують. Спостерігають за змінами у пробірках. У другій і третій дослідних пробах спостерігається виражена коагуляція білка. У першій та четвертій пробірках розчин альбуміну залишається прозорим.

16. Явище Фарадея-Тіндаля

Явище Фарадея-Тіндаля – світіння оптично неоднорідного середовища внаслідок розсіювання світла, яке через нього проходить. Воно є характерним для дисперсних систем (наприклад гідрозолів, аерозолів) із низькою концентрацією частинок дисперсної фази, які мають показник заломлення, що відрізняється від показника заломлення дисперсійного середовища. Явище Фарадея-Тіндаля лежить в основі оптичних методів виявлення, визначення розміру і концентрації частинок у дисперсних системах.

В одну камеру пристрою наливають розчин сахарози, в другу – колоїдний розчин ферум (III) гідроксиду. Між камерами встановлюють електричну лампочку і вмикають її. За допомогою лінз промені світла спрямовують у отвір камер. Зверху спостерігають проходження світла крізь молекулярний розчин (сахарози) та колоїдний розчин ферум (III) гідроксиду.

2.4. ГЕЛІ. ЕМУЛЬСІЇ. ПІНИ. АЕРОЗОЛИ

Гелі – дисперсні системи з рідким дисперсійним середовищем, в яких частинки дисперсної фази утворюють просторову структурну сітку. Гелі відіграють важливу роль у живій природі. До них належать м'ясо тварин і риби, оболонки клітин, волокна м'язових тканин, волосся тощо. Шкіра і тканини з природних і штучних волокон, хліб – все це гелі різної консистенції. Гелі силікатної кислоти у природних умовах утворюють різноманітні мінерали (агат, опал, хальцедон).

Залежно від природи дисперсійного середовища гелі поділяються на гідрогелі, бензогелі, алкогелі, ацетонові гелі. Вони можуть містити незначні кількості сухої речовини до 2 % і навіть менше. Бідні на рідину сухі гелі називають *ксерогелями* (сухий желатин, крохмаль). Багаті на рідину гелі називають *ліогелями* (розчини миючих засобів, холодець, кисіль тощо). Холодцеподібні осади утворені під час коагуляції ліофобних золів (H_2SiO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$ тощо) відносять до *коалогелів*. Вони, як правило, складаються з частинок дисперсної фази різного розміру. За будовою частинок, що утворюють каркас, характером та міцністю зав'язків розрізняють еластичні (драглі) та нееластичні гелі.

Нееластичні гелі (неорганічне походження) всмоктують будь-яку рідину, що їх змочує, і при цьому їх об'єм майже не змінюється. Такі гелі, втративши певну кількість води, різко змінюють свої фізичні властивості і стають крихкими.

У свою чергу еластичні гелі (органічне походження) поглинають лише певні рідини, з якими мають спільні хімічні характеристики. Наприклад, желатин добре вбирає воду і зовсім не вбирає етанол; каучук вбирає бензен і зовсім не вбирає воду. Набухання визначається характером фізико-хімічної взаємодії між полімером і рідиною.

Розрізняють обмежене і необмежене набухання. При обмеженому набуханні еластичні гелі вбирають певну кількість рідини, після чого

встановлюється рівновага і набухання припиняється. При необмеженому набуханні рідина, проникаючи в драгли, послаблює зв'язки між окремими макромолекулами. Це призводить до руйнування драглів і утворення розчину. Наприклад, папір, який теж належить до драглів, при набуханні втрачає міцність і легко розповзається. Обмежене набухання може переходити в необмежене при підвищенні температури чи зміні складу рідини. За кімнатної температури желатин обмежено набухає у воді, але у разі нагрівання до 40–42 °С набухання стає необмеженим і утворюється розчин.

Утворення і розпад гелів відбуваються в природних біохімічних, ґрунтових і геологічних процесах. Згодом структура гелів порушується – з них виділяється рідина. Відбувається *синерезис* – мимовільне зменшення обсягу гелю, що супроводжується відділенням рідини. Синерезис визначає терміни придатності харчових, медичних і косметичних гелів. Синерезис можна спостерігати як у колоїдів, так і у гелів високомолекулярних сполук: гелі крохмалю, агар-агару, желатини, мила, кислого молока, каучуку, віскози, гелів деяких барвників тощо. Перші стадії черствіння хліба пов'язані з явищем синерезису. У гелів високомолекулярних сполук процес синерезису обернений. Іноді достатньо одного нагрівання для того, щоб систему, що зазнала синерезису, повернути в колишній стан. На практиці цим користуються, наприклад, для освіження зачерствілого хліба.

Збільшення концентрації гелю може прискорювати синерезис, як у випадку з силікатною кислотою, каучуком та іноді віскозою. Це пов'язано з тим, що при більшій концентрації частинки дисперсної фази гелю частіше стикаються одна з одною, що призводить до їх агрегації та випадання в осад. У деяких випадках, наприклад, з крохмалем, збільшення концентрації гальмує синерезис. Це може бути пов'язано з тим, що більш концентровані гелі мають вищу в'язкість, що ускладнює рух частинок дисперсної фази та їх випадання в осад. Підвищення температури та значень рН також активує процес синерезису. *Емульсії* – дисперсні системи, в яких дисперсна фаза та дисперсійне середовище є взаємно нерозчинними або погано розчинними рідинами. У зв'язку із цим часточки дисперсної фази і дисперсійного середовища повинні різко відрізнятися за полярністю.

Залежно від полярності фаз емульсії можуть бути прямими та зворотними. У якості полярної рідини виступає вода (*B*), неполярної –

олія (О). Враховуючи вище сказане пряму емульсію позначають О/В (емульсії I роду), а зворотню В/О (емульсії II роду) (рис. 10). Також можливі множинні емульсії, в яких дисперсійне середовище частково дисперговане в краплинах дисперсної фази. Розрізняють два типи множинних емульсій: олія у воді в олії (О/В/О) та вода в олії у воді (В/О/В). Множинні емульсії складніші за звичайні емульсії через наявність декількох фаз. Їх стійкість залежить від багатьох чинників, таких як розмір крапель, співвідношення фаз та властивості емульгаторів. Множинні емульсії використовуються в різних галузях, таких як фармацевтика, косметика, харчова, нафтогазова промисловість тощо.

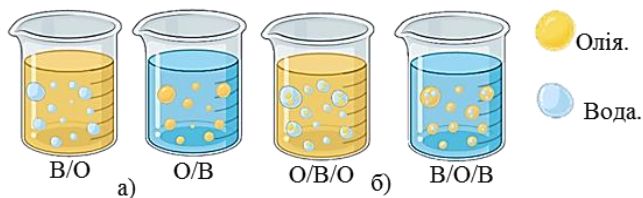


Рис. 10. Типи емульсій: а) проста (пряма, зворотна), б) множинна.

Величина частинок і їх маса в емульсіях значно більша, ніж у колоїдних розчинах, отже кінетична стійкість їх менша. В багатьох емульсіях густина дисперсної фази менша густини дисперсійного середовища, тому частинки не тонуть, а, навпаки, піднімаються. Тип емульсії легко встановити за властивостями дисперсійного середовища. Якщо емульсія не змочує гідрофобну поверхню, розбавляється водою, забарвлюється водорозчинним барвником (наприклад, метиленовим синім) і виявляє значну електричну провідність, то це емульсія типу О/В. Навпаки, якщо емульсія змочує гідрофобну поверхню, розбавляється олією, забарвлюється розчинним в оліях барвником (наприклад, суданом III) і не виявляє помітної електричної провідності, то це емульсія типу В/О.

За концентрацією дисперсійної фази емульсії розподіляють на 3 групи: розведені (концентрація дисперсійної фази не перевищує 0,1 % об'єму емульсії); концентровані (концентрація – 0,1–70 % об'єму); висококонцентровані (вміст дисперсної фази вище 70 % об'єму емульсії). У разі збільшення концентрації краплі деформуються,

втрачають сферичну форму, і набувають форму поліедрів (багатогранників). Ці поліедри розділені тонкими плівками дисперсійного середовища. Під мікроскопом такі емульсії нагадують бджолині соти. Висококонцентровані емульсії мають властивості гелів. Вони втрачають здатність до текучості та седиментації.

Емульсії можуть бути стійкими або нестійкими. Стійкі емульсії зберігаються впродовж тривалого часу, а нестійкі – розшаровуються через деякий час. Стабільність емульсій може бути покращена внаслідок використання емульгаторів. Вказані сполуки знижують поверхневий натяг між двома рідинами, тобто ці сполуки належать до поверхнево-активних речовин. Експериментально доведено, що емульгуюча здатність ПАР залежить від довжин карбонового ланцюга. Коротколанцюгові спирти та карбонові кислоти ($nC < 8$) виявляють слабку емульгуючу дію. Максимальна емульгуюча дія виявляється у ПАР, які містять від 10 до 18 атомів Карбону. При подальшому зростанні довжини ланцюга емульгуюча здатність знову слабшає. Мила з карбоновим ланцюгом середньої довжини (C_n від 12 до 18), такі як олеати та стеарати, мають сильну емульгуючу здатність. Їхні молекули адсорбуються на межі поділу фаз між водою та олією, утворюючи структурні шари. Ці шари орієнтовані таким чином, що іоногенні групи мила знаходяться у водному середовищі, а неполярні карбонові ланцюги – у в олійному (рис. 11).

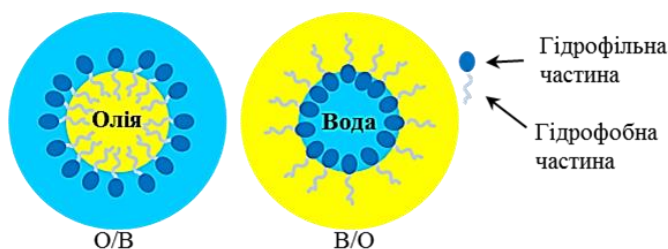


Рис. 11. Стабілізація емульсій за допомогою ПАР.

Емульсії дуже поширені у природі і техніці. Вони мають важливе біологічне значення. Наприклад, до природніх емульсій молоко, яєчний жовток, нафта тощо. Засвоєння жирів в організмі здійснюється через їх емульгування за дії жовчі. У ґрунтах найбільшого розповсюдження набули воднонафтові емульсії, що формуються на

контакті нафти і водоносних горизонтів або при нафтовому забрудненні ґрунтів (витікання нафти, нафтопродуктів тощо). Емульсії відіграють важливу роль у сільському господарстві, забезпечуючи ефективне та економне використання контактних інсектицидів, що сприяє кращому захисту рослин від шкідників.

Піни – структуровані дисперсні системи, які представлені сукупністю бульбашок газу (пари), розділених тонкими прошарками рідини. Об'єм дисперсної фази у пінах в десятки разів перевищує об'єм дисперсного середовища. Піни мають надлишок поверхневої вільної енергії і тому є термодинамічно нестійкими. Газові бульбашки зливаються одна з одною збільшуються в розмірах та лопаються. Внаслідок цих процесів піни руйнуються. Як правило, їх отримують дисперсійними методами. Для утворення піни рідину збовтують або інтенсивно перемішують у посуді, заповненому газом і рідиною.

Міру стійкості піни визначають часом її існування від моменту утворення до самовільного руйнування. Стійкі піни утворюються лише за використання стабілізаторів, які також називаються піноутворювачами. У якості піноутворювачів використовують ПАР:

- Першого роду – діють на молекулярному рівні, зменшуючи поверхневий натяг рідини. До них належать нижчі спирти (метанол, етанол) та карбонові кислоти (мурашина, ацетатна). Зазвичай ПАР першого роду утворюють нестійкі піни, які досить швидко руйнуються.

- Другого роду – утворюють міцні адсорбційні плівки на межі розподілу фаз між рідиною та газом. До них належать мила, алкалоїди, білки, таніни, деякі барвники тощо. ПАР другого роду утворюють стійкі піни, які тривалий час не руйнуються.

Піни, утворені за допомогою ПАР другого роду, мають значну механічну міцність. Це пов'язано з тим, що їхні стінки складаються з двох двомірних конденсованих (твердих) плівок. Ці плівки утворюються завдяки адсорбції молекул ПАР на межі поділу фаз вода-повітря. Деякі рідини, здатні тверднути, утворюють не просто стійкі, а й тверді піни. Прикладами таких пін є пінопласт, пемза, пінополістирол тощо.

З підвищенням температури час існування піни зменшується внаслідок зменшення адсорбції піноутворювача на межі поділу фаз і зменшення в'язкості рідини. Зі збільшенням в'язкості рідини

стійкість піни зростає. Додавання електролітів, як правило, знижує час існування пін.

Піноутворення широко розповсюджено у природі. Воно використовується у багатьох галузях промисловості, побуті, медичній практиці. Піни утворюються в річках та інших водоймах за надходження великої кількості забрудненої води. Піноутворення лежить в основі виробництва різних будівельних матеріалів (піно- і поропластів). Даний процес використовується для очищення стічних і скидних вод. Ці води спочатку надходять у спеціальні установки, де вони падають з висоти, утворюючи піну, яка захоплює крапельки забруднювальних речовин. Піну потім забирають і води очищуються.

Аерозолі – дисперсні системи, утворені рідкими або твердими частинками в газах, як правило у повітрі. Аерозолі відіграють важливе значення у житті людини, адже вони оточують нас усюди – природі, побуті, техніці. Існує значна кількість прикладів аерозолей природного на антропогенного походження: пил, туман, смог, хмари, дим пожеж і промислових підприємств тощо. Всі види наземного, водного і повітряного транспорту є джерелами утворення аерозолей внаслідок згорання палива. У результаті згорання палива щорічно в атмосферу потрапляє близько 100 тон твердих і 1 млн тон газоподібних речовин. Виробництво ядерного палива, експлуатація атомних електростанцій, випробування ядерної зброї обумовлює утворення радіоактивних аерозолей.

Аерозольні часточки утворюються в результаті диспергування, коли масивні часточки твердої фази подрібнюють до відповідного ступеня дисперсності, і конденсації, яка полягає в тому, що процес кристалізації певної речовини з розчину або газової фази проводять так, щоб утворювалися лише малі кристали колоїдного ступеня дисперсності. Форма частинок аерозолів залежить від агрегатного стану речовин дисперсної фази. У туманах рідкі часточки мають кулясту форму; у димах і в пилу тверді часточки – це кристали, їхні уламки, аморфні утворення різної форми.

У частинок аерозолів немає подвійного електричного шару, але за певних умов вони набувають електричного заряду. Заряд частинок аерозолів може з'явитися в результаті тертя при їх розпиленні або внаслідок адсорбції на поверхні частинок іонів газів, що утворюються за дії космічних, радіоактивних і УФ-променів. На

відміну від звичайних колоїдних розчинів, де заряд частинок обумовлений адсорбцією іонів електроліту і визначається рівновагою між частинкою і оточуючим середовищем, у аерозолів заряд частинки в більшості випадковий. У загальному спостерігається закономірність між дисперсністю і величиною заряду: заряд частинки аерозолю тим більший, чим більші її розміри.

За розміром частинок дисперсної фази аерозолі поділяють на високодисперсні (діаметр часток < 10 нм), тонкодисперсні (10–100 нм) і грубодисперсні (діаметр часток > 100 нм). В природі аерозолі обумовлюють практично всі метеорологічні, в тому числі грозові, явища. В сільському господарстві з використанням аерозолей пов'язані проблеми штучного дощування, застосування інсектицидів і фунгіцидів для боротьби зі шкідниками і хворобами рослин. Аерозолі використовуються в медицині (інгалятори, спреї), парфумерії (парфуми, лак для волосся, дезодоранти), побуті тощо. Водночас аерозолі відіграють і негативну роль. На промислових підприємствах у вигляді аерозолей у повітря потрапляє значна кількість токсичних сполук. Запилення міст призводить до значної втрати сонячного світла, особливо його ультрафіолетової частини. Для боротьби з пилом застосовують вентиляцію, зрошування приміщень водою з добавками ПАР. Застосовують також електричний метод осадження пилу. В електричному полі відбувається іонізація молекул. Йони адсорбуються твердими частинками пилу, які набувають у цьому разі заряд і під його дією осідають на протилежно зарядженому електроді.

Практичні роботи

1. Одержання гелю желатину методом желатинування

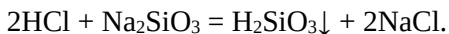
У колбу насипають 5 г желатину і додають 20 см³ води. Залишають суміш на 5–10 хв. До набухлої суміші додають 30 см³ води і нагрівають до кипіння. Утворений розчин виливають у чашку Петрі.

2. Одержання гелю силікатної кислоти

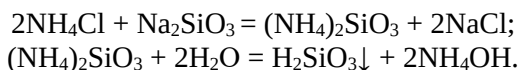
У пробірку наливають 5 см³ концентрованого розчину натрій силікату і по краплям додають розчин хлоридної кислоти, струшуючи пробірку до утворення драглистого осаду силікатної кислоти.

3. Одержання гелю силікатної кислоти у різних середовищах

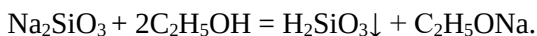
а) До 5 см³ концентрованого розчину натрій силікату, додають однаковий об'єм 10 % розчину хлоридної кислоти. Утворюється драглеподібний осад (гель) силікатної кислоти. Якщо на холоді гель не утворюється, реакційну суміш необхідно нагріти:



б) Солі амонію за дії на силікат-аніон виділяють з розчинів силікатів силікатну кислоту. За нагрівання гідроліз посилюється, внаслідок зв'язування іонів OH^- катіонами NH_4^+ . Спостерігається розклад солі у розчині:



в) У спиртовому середовищі утворюються ксерогелі, які горять. Концентрований розчин натрій силікату змішують із 96 % етанолом:



Утворений гель відділяють від маточного розчину, сушать на повітрі. Одержаний ксерогель можна спробувати підпалити:

4. Дослідження швидкості поширення кристалізації в гелях

До 10 см³ 15 % розчину натрій силікату додають 50 % розчин ацетатної кислоти до кислої реакції розчину. До суміші додають 10 см³ насиченого розчину плюмбум (II) ацетату. Через деякий час розчин твердіє, утворюючи гель. У цей гель поміщають цинкову паличку. В іншу пробірку наливають насичений розчин плюмбум (II) ацетату і також опускають цинкову паличку. В гелі спостерігають утворення голок і кристалів свинцю, а в розчині плюмбум ацетату свинець осаджується у вигляді губки. Низька швидкість утворення центрів кристалізації в гелях призводить до росту таких окремих центрів до великих кристалів.

5. Дослідження явища осмосу при утворенні силікатів металів

У хімічну склянку наливають 50 см³ розчину натрій силікату та аналогічний об'єм дистильованої води. До суміші додають кристали ферум (II), купрум (II), цинк, нікол (II), кобальт (II) хлоридів. Через деякий час кристали починають рости. За взаємодії кристалу солі з

натрій силікатом утворюється плівка з нерозчинного силікату у вигляді комірки. Ця комірка має властивості напівпроникної мембрани. Через неї відбувається дифузія молекул води із зовнішнього більш розведеного розчину, в комірку, яка містить більш концентрований розчин солі. Внаслідок цього комірка розширюється і плівка, не витримуючи осмотичного тиску, руйнується. На місці розриву утворюється нова плівка і процес проникнення води через плівку повторюється. Плівка знову розривається, таким чином відбувається ріст деревоподібних утворень.

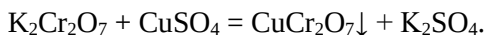
6. Дослідження явища синерезису в гелях

У перший циліндр наливають по 20 см³ ще теплого 3 % розчину желатину, в інший – 3 % розчин крохмалю. Циліндри закривають притертими пробками і залишають на декілька днів. Через декілька днів спостерігають зменшення об'єму драглів та виділення деякої кількості води (дисперсійного середовища). Виділене дисперсійне середовище частково містить речовину дисперсійної фази (желатину або крохмаль). Драглі, стискаючись, зберігають форму тієї посудини, куди був налитий розчин.

За додавання до виділеного дисперсійного середовища желатини утворюються осад. За додавання розчину йоду до дисперсійного середовища другого циліндра утворюється синє забарвлення.

7. Дослідження явища дифузії в гелях

Готують 1 % розчин агар-агару кип'ятінням у воді впродовж 5–8 хв. Додають однакову кількість 1 % розчину K₂Cr₂O₇. Гарячу суміш наливають у пробірки на три четверті їх об'єму і охолоджують. Після утворення гелю у пробірки додають декілька крапель 1 % розчину купрум сульфату. Виникають концентричні кільця осаду, які спрямовані до дна пробірки. Формування кілець продовжується впродовж декількох років. Відбувається дифузія двох розчинених речовин – виникає забарвлений осад дисперсної фази:



8. Одержання емульсії соняшникової олії у воді

До 5 г бури (тетраборату натрію) додають 95 см³ води, суміш нагрівають. Додають 2 см³ соняшникової олії і ретельно перемішують. Утворюється стійка емульсія.

9. Одержання емульсії бензену у воді

У циліндр з пробкою наливають близько 50 см^3 води і додають 10 см^3 бензену. Енергійно перемішують. Дають постояти. Емульсія не утворюється – швидко настає розшарування рідини. Після цього додають 10 см^3 2 % розчину мила (емульгатор) і знову енергійно перемішують. Утворюється емульсія бензену.

10. Одержання і дослідження емульсій типу В/О та О/В

При струшуванні води з соняшниковою олією тип емульсії, що утворюється, залежить від властивостей емульгатора.

Кальцієві солі жирних кислот діють як емульгатор типу вода в олії (В/О). В цьому випадку краплі води диспергуються в олії, утворюючи емульсію білого кольору. Олеати та стеарати натрію діють як емульгатор типу олія в воді (О/В). В цьому випадку краплі олії диспергуються у воді, утворюючи емульсію жовтуватого кольору.

У кожному з трьох пробірок наливають по 3 см^3 соняшникової олії та дистильованої води. У другу пробірку додають 1 см^3 20 % розчину натрій карбонату, у третю – 1 см^3 20 % розчину кальцій хлориду. Всі три пробірки енергійно струшують.

У першій пробірці спостерігають утворення нестійкої емульсії, яка швидко розшаровується на два шари: олію та воду. У другій пробірці утворюється стійка емульсія білого кольору. У третій – емульсія жовтого кольору.

11. Одержання піни

У хімічну склянку наливають $10\text{--}15\text{ см}^3$ води. Далі через капілярну трубочку продувають в неї повітря впродовж 20–30 сек. Молекули води не мають здатності утворювати стійкі плівки на поверхні бульбашок, тому піна не утворюється або утворюється нестійка. Дослід повторюють, але замість води використовують розчин мила. Спостерігають утворення стійкої піни. Молекули мила адсорбуються на поверхні бульбашок, утворюючи міцні плівки, які надають піні стійкість. Додавання декількох крапель ізоамілового спирту обумовлює руйнування піни.

Елементарним актом руйнування піни є злиття бульбашок, які утворюють піну. Таке злиття відбувається після суттєвого потоншення прошарків води між бульбашками при відсутності у них достатньої стійкості.

12. Одержання пін та дослідження їх властивостей

У 6 циліндрів об'ємом на 100 см³ додають по 30 см³ 0,8 % водного розчину желатини. Один з розчинів залишають у якості контролю, в інші додають 10 см³ 0,5 М розчину натрій йодиду, та розчини натрій сульфату з концентрацією 0,5 М, 0,75 М, 1,0 М та 1,5 М. Циліндри струшують, спостерігають стійкість пін, відмічаючи висоту стовпа піни в кожному циліндрі через 2, 3, 5, 10, 20, 30 хв. Отримані результати заносять у табл. 13. За отриманими даними будують графік залежності стійкості піни від концентрації розчину.

Таблиця 13. Залежність ступеня стійкості піни від концентрації

Концентрація добавки в досліджуваному розчині	Висота піни (см) через певний проміжок часу, хв					
	2	3	5	10	20	30
Контрольний зразок без добавки						
0,5 М NaI						
0,5 М Na ₂ SO ₄						
0,75 М Na ₂ SO ₄						
1,0 М Na ₂ SO ₄						
1,5 М Na ₂ SO ₄						

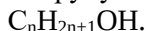
Питання до самоконтролю:

1. Загальна характеристика дисперсних систем.
2. Методи одержання дисперсних систем: метод фізичної конденсації.
3. Методи одержання дисперсних систем: метод хімічної конденсації.
4. Методи очистки колоїдних розчинів.
5. Дайте характеристику молекулярно-кінетичних властивостей колоїдних розчинів.
6. Загальна характеристика емульсій та їх застосування.
7. Оптичні властивості золів.
8. Електрокінетичні властивості колоїдних розчинів.
9. Загальна характеристика аерозолей та пін.
10. Класифікація та властивості гелей.

3. ОСНОВИ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

3.1. СПИРТИ. КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

Спирти – похідні вуглеводнів у молекулі яких один або декілька атомів Гідрогену заміщені на -ОН групу. Загальна формула:



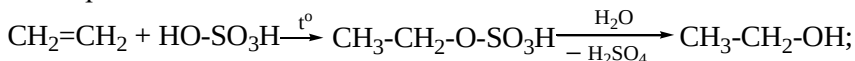
Спирти поділяють за:

- кількістю гідроксильних груп у молекулі (одно-, дво-, три- і багатоатомні);
- будовою карбонового ланцюгу (насичені, ненасичені, циклічні, ароматичні, гетероциклічні спирти);
- положенням гідроксильної групи в молекулі (первинні, вторинні та третинні);
- ступенем насиченості (насичені, ненасичені);
- радикалом карбонового ланцюгу (ациклічні, циклічні, ароматичні).

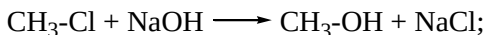
Для утворення назв спиртів використовують *тривіальну, раціональну, радикально-функціональну та міжнародну номенклатуру* (ІЮПАК).

Спиртам притаманне явище ізомерії – хімічні сполуки однакового складу, що різняться хімічною будовою. До основних способів одержання спиртів належать:

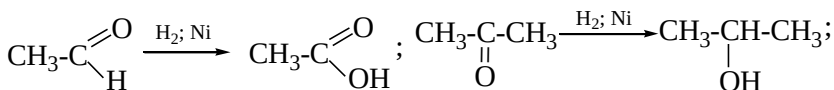
- гідратація алкенів:



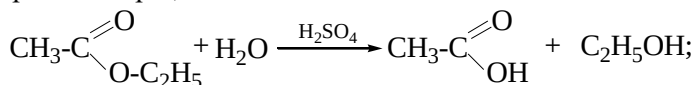
- гідроліз галогенопохідних алканів:



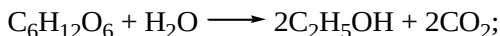
- відновлення альдегідів і кетонів:



- гідроліз естерів;

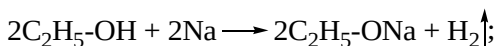


- спиртове бродіння;

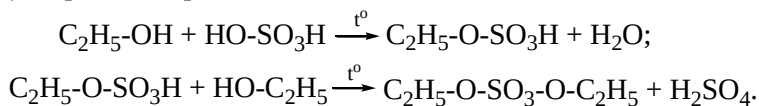


Хімічні властивості спиртів у першу чергу визначаються в їх молекулі гідроксильної групи – OH, в якій атом Гідрогену відрізняється високою рухливістю. Така рухливість обумовлена його зв'язком з атомом Оксигену, який є високоелектронегативним. До основних хімічних властивостей належать наступні реакції:

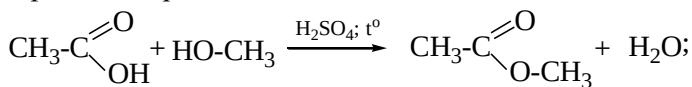
- утворення алкоголятів:



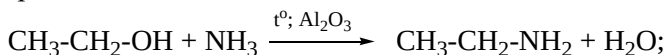
- утворення етерів:



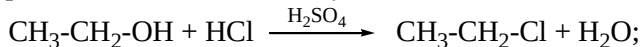
- утворення естерів:



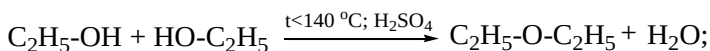
- утворення амінів:



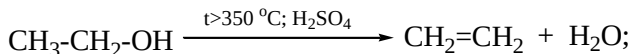
- утворення галогенопохідних вуглеводнів:



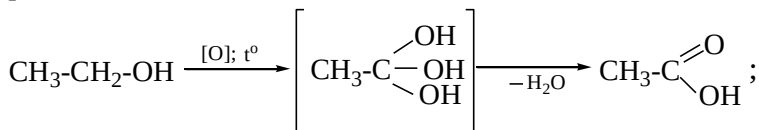
- реакція міжмолекулярної дегідратації:



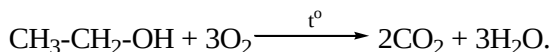
- реакція внутрішньомолекулярної дегідратації:



- реакція окиснення:



- горіння:

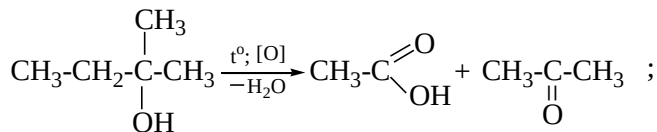
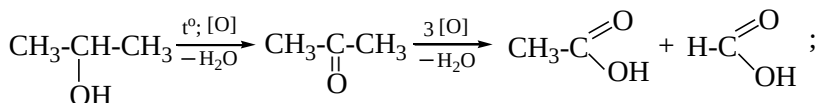
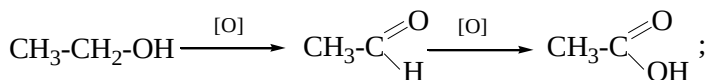


Карбонові кислоти – похідні вуглеводнів у молекулі яких один або декілька атомів Гідрогену заміщені на карбоксильну групу – COOH. Загальна формула для насичених одноосновних карбонових кислот – $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$. Карбонові кислоти класифікують за:

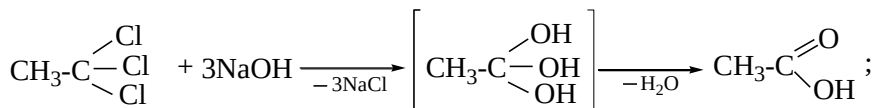
- *карбовим ланцюгом* (ациклічні, циклічні, ароматичні, гетероциклічні);
- *ступенем насиченості* (насичені, ненасичені);
- *кількістю карбоксильних груп* (одно-, дво-, багатоосновні);
- *радикалом* (ациклічні, циклічні, ароматичні, гетероциклічні);
- *функціональними групами* (гідрокси-, альдегідо-, кето-, амінокислоти);
- *кількістю атомів у карбовому ланцюзі* (низько- та високомолекулярні).

Карбонові кислоти у природі знаходяться у вільному стані (наприклад, мурашина – у виділеннях мурашок, у сечі та поті тварин, кропиві, деяких овочах і фруктах) і зв'язаному (наприклад, вищі жирні кислоти у вигляді триацилгліцеролів – жирів) станах. Вищі жирні кислоти одержують гідролізом нейтральних жирів і олій. Більшість карбонових кислот одержують методами органічного синтезу:

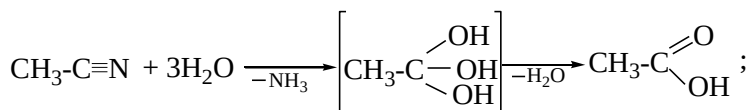
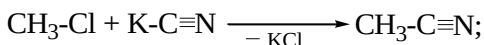
- окиснення первинних, вторинних і третинних спиртів:



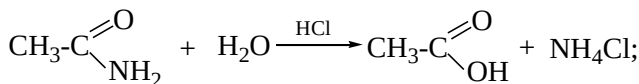
- гідроліз тригалогенопохідних алканів:



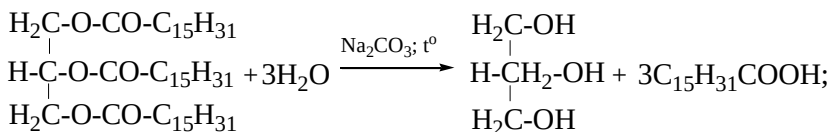
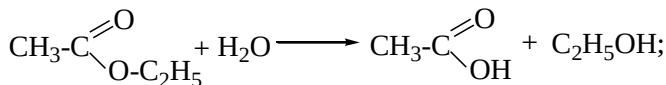
- гідроліз нітрилів:



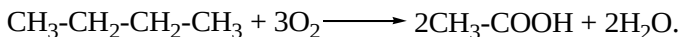
- гідроліз амідів:



- гідроліз естерів:

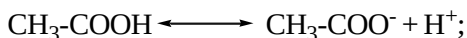


- окиснення алканів:

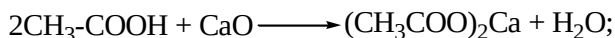
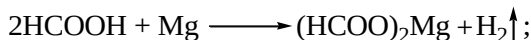
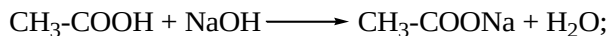


Головні хімічні реакції, в які вступають карбонові кислоти, пов'язані з їх кислотними властивостями, що базуються на рухомості атому Гідрогену карбоксильної групи; заміною групи -ОН карбоксильної групи на різні атоми й групи з утворенням функціональних похідних кислот; реакціями декарбоксилювання і деякими іншими, зокрема реакціями карбонового радикала:

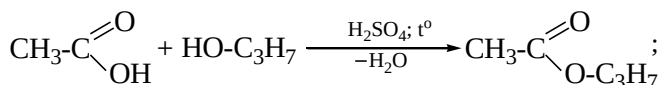
- дисоціація карбонових кислот:



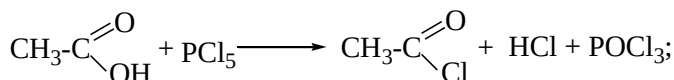
- утворення солей:



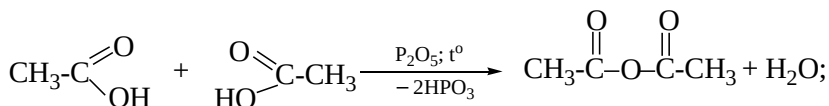
- утворення естерів:



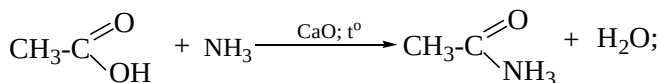
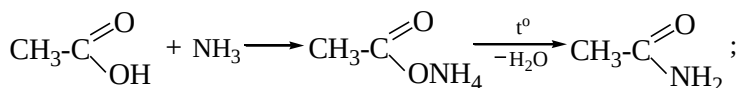
- утворення галогеноангідридів карбонових кислот:



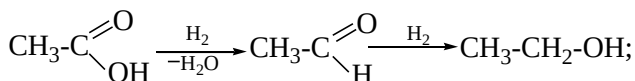
- утворення ангідридів карбонових кислот:



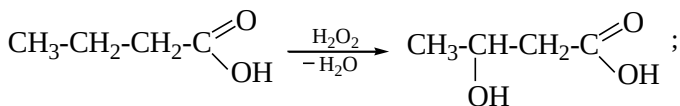
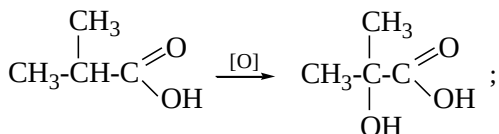
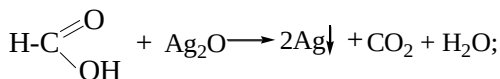
- утворення амідів:



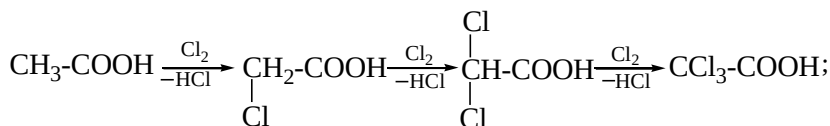
- відновлення карбонових кислот:



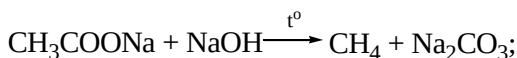
- окиснення карбонових кислот:



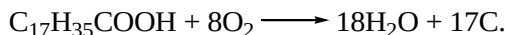
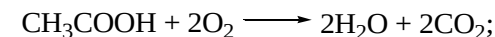
- галогенування карбонових кислот:



- декарбоксилювання солей карбонових кислот:



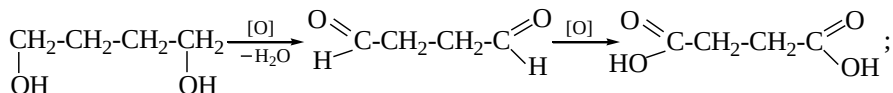
- горіння карбонових кислот:



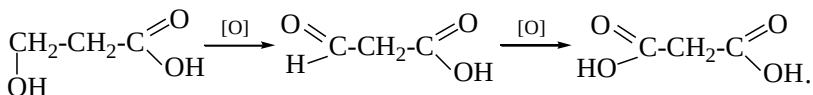
Насичені двоосновні (дикарбонові) карбонові кислоти – похідні насичених вуглеводнів, у молекулі яких два атоми Гідрогену, що розміщені біля різних Карбонів, заміщені карбоксильними групами – COOH. Загальна формула $\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{COOH})_2$. Кислоти широко поширені у природі. Вони можуть бути кінцевими продуктами обміну (наприклад, оксалатова у шавлі), проміжними (наприклад, бурштинова – в циклі Кребса), знаходитись у вигляді солей та етерів у тканинах рослин і тварин. Дикарбонові кислоти (оксалатова, маленова, бурштинова) є сильнішими кислотами, ніж монокарбонові кислоти та виявляють такі ж самі властивості.

Загальні методи одержання двоосновних карбонових кислот подібні до методів одержання одноосновних, наприклад:

- окиснення двоатомних спиртів:

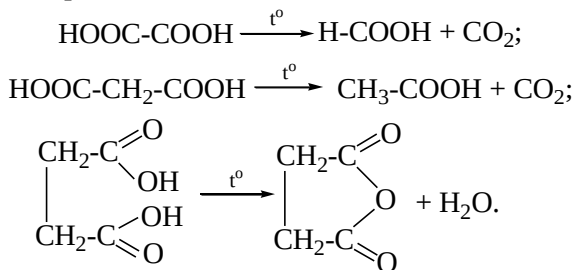


- окиснення гідроксикислот:



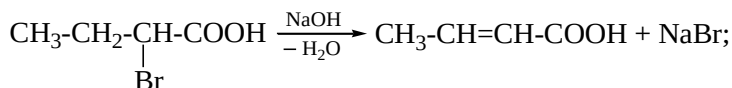
Двоосновні карбонові кислоти вступають в ті ж хімічні реакції, що й одноосновні кислоти. Наприклад, вони утворюють солі (кислі та середні), естери (повні та неповні), галогенангідриди, аміди тощо. Наявність двох карбоксильних груп в одній молекулі двоосновних кислот надає їм деякі специфічні властивості, відмінні від одноосновних кислот:

- реакція декарбоксилювання:

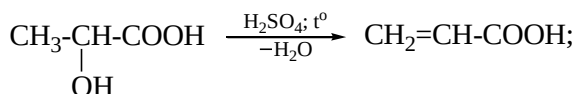


Ненасичені одноосновні карбонові кислоти – похідні ненасичених вуглеводнів, у молекулах яких один атом Гідрогену радикалу заміщений на карбоксильну групу. Залежно від кількості подвійних зв'язків у радикалі для кислот існують наступні загальні формули: $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{COOH}$ (один подвійний зв'язок), $\text{C}_n\text{H}_{2n-3}\text{COOH}$ (два подвійних зв'язки), $\text{C}_n\text{H}_{2n-5}\text{COOH}$ (три подвійні зв'язки), $\text{C}_n\text{H}_{2n-7}\text{COOH}$ (чотири подвійні зв'язки) тощо. Ненасичені карбонові кислоти одержують за допомогою наступних реакцій:

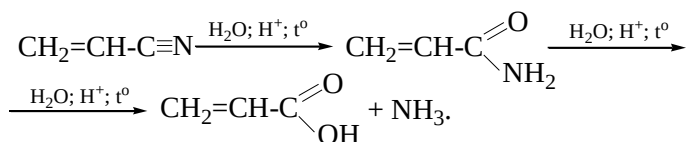
- дегідрогалогенування галогенокарбонових кислот:



- дегідrataція гідроксикислот:

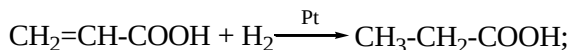


- гідроліз нітрилів:

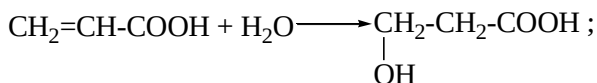
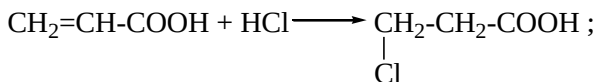
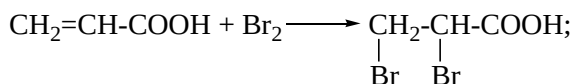


Хімічні властивості ненасичених одноосновних карбонових кислот визначаються карбоксильною групою та подвійним чи потрійним зв'язком. Тому такі кислоти проявляють властивості як кислот, так і ненасичених сполук:

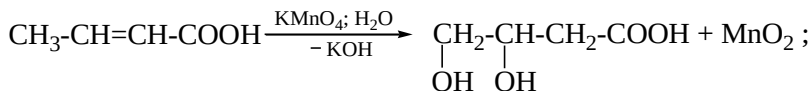
- гідрогенізація ненасичених жирних кислот:



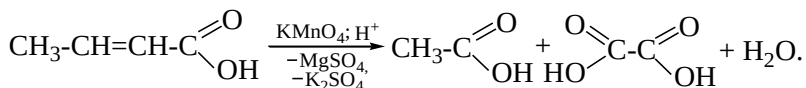
- приєднання галогенів, галогеноводнів, води:



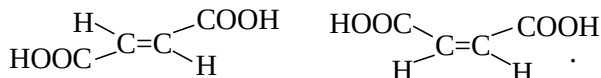
- обережне окиснення:



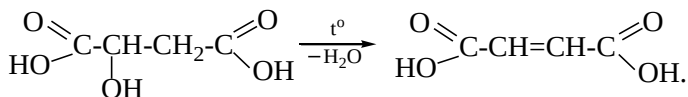
- енергійне окиснення:



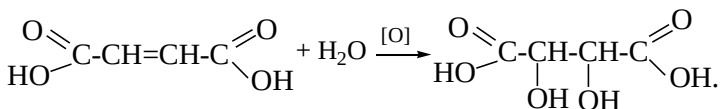
Ненасичені двоосновні карбонові кислоти – похідні ненасичених вуглеводнів, у молекулі яких два атоми Гідрогену, що розміщені біля різних Карбонів, заміщені карбоксильними групами – COOH. До цієї групи належать фумарова та малеїнова кислоти. Вони мають однакову молекулярну формулу HOOC-CH=CH-COOH, але різну просторову конфігурацію. Фумарова кислота – *транс*-ізомер, а малеїнова – *цис*-ізомер 2-бутендіолової кислоти:



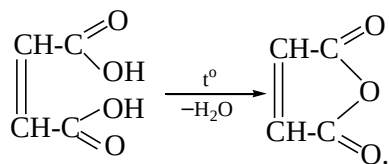
Обидві кислоти одержують з яблучної у процесі нагрівання:



Ці два ізомери карбонових кислот демонструють значні розбіжності у фізичних та деяких хімічних властивостях. Так температура плавлення фумарової кислоти – 288 °С, малеїнової – 131 °С. Хімічні властивості обумовлені наявністю подвійного зв'язку і двох карбоксильних груп. Окиснення фумарової і малеїнової кислот проходить з утворенням тартратної кислоти:



Малеїнова та фумарова кислоти, будучи ізомерами, мають схожу здатність утворювати похідні завдяки наявності карбоксильних груп (COOH) в їх молекулах. Ці похідні включають солі, естери, аміди тощо. Однак фумарова кислота не утворює малеїнового ангідриду, натомість малеїнова легко його утворює, оскільки обидві карбоксильні групи розташовані з одного боку від площини подвійного зв'язку:

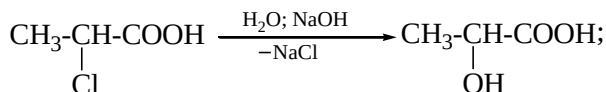


Малеїнову кислоту у вільному стані в природі не знайдено її одержують синтетичним шляхом. Малеїнова кислота, хоча й отруйна, знаходить широке застосування в хімічній промисловості. Її використовують як сировину для отримання бурштинової, тартратної та яблучної кислот. Фумарова кислота є проміжним продуктом розщеплення вуглеводів в організмі тварин і рослин – циклу три карбонових кислот Кребса. Значний вміст фумарової кислоти виявлений в грибах.

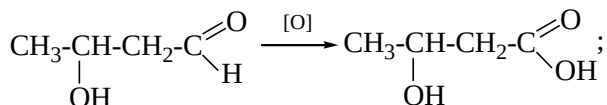
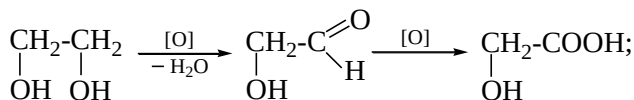
Гідроксикислоти – похідні карбонових кислот, у радикалі яких один або декілька атомів Гідрогену заміщені на гідроксильні групи – OH. Гідроксикислоти класифікують за будовою радикалу (ациклічні, циклічні), основністю (одно-, дво- і багатоосновні) і атомністю (дво-, три- і багатоатомні). Основність гідроксикислот визначається кількістю карбоксильних груп у складі молекули кислоти. Атомність – загальною кількістю гідроксильних груп у молекулі кислоти, включаючи гідроксили карбоксильних груп. Значна кількість гідроксикислот входить до складу природної сировини (наприклад, винна (тартратна) – у винограді, лактатна – в молоці, яблучна – в яблуках), звідки їх і одержують.

Гідроксикислоти одержують наступними способами:

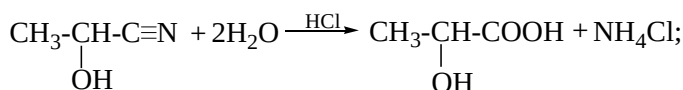
- гідроліз галогенокарбонових кислот:



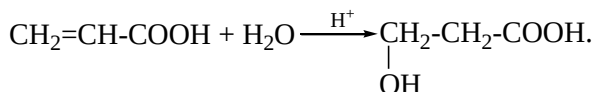
- неповне окиснення гліколей і альдолей (гідроксиальдегідів):



- гідроліз оксинітрилів:

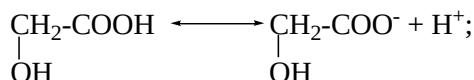


- гідратація ненасичених жирних кислот:

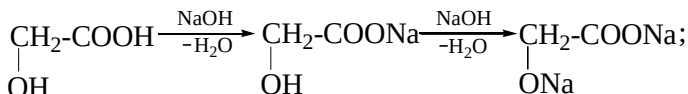


Хімічні властивості визначаються наявністю як карбоксильної так і гідроксильної груп, вони одночасно виявляють властивості і карбонових кислот і спиртів. Для гідроксикислот характерні наступні реакції:

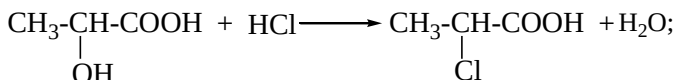
- дисоціація:



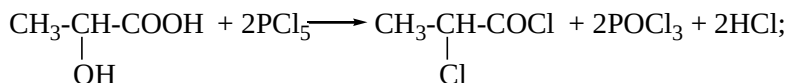
- утворення солей карбонових кислот та алкоголятів:



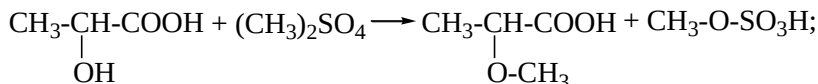
- утворення галогенопохідних карбонових кислот:



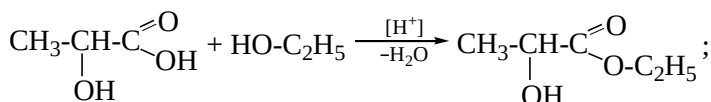
- утворення хлорангідридів карбонових кислот:



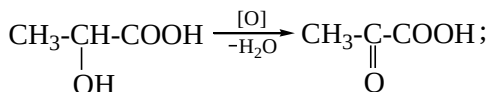
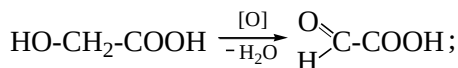
- утворення етерів:



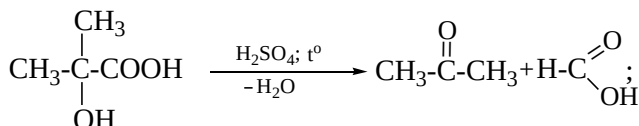
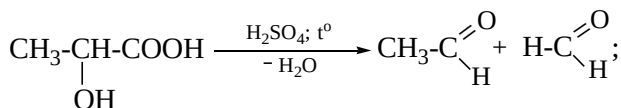
- утворення естерів:



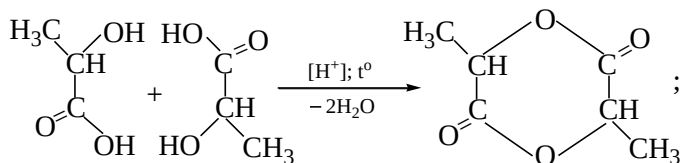
- окиснення гідроксикислот:



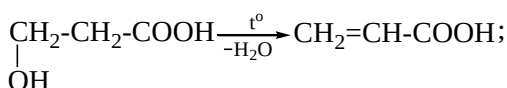
- розщеплення гідроксикислот за нагрівання з концентрованими мінеральними кислотами:



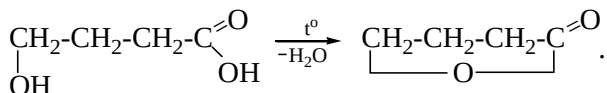
- дегідратація α-гідроксикислот обумовлює утворення лактиду (циклічний естер):



- дегідратація β-гідроксикислот – утворення ненасичених жирних кислот:

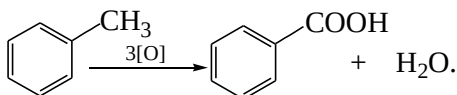


- дегідратація γ- і δ-гідроксикислот – утворення лактонів:

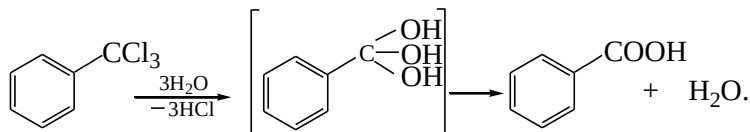


Ароматичні одно- та двоосновні карбонові кислоти – сполуки, в молекулах яких карбоксильна група безпосередньо зв'язана з бензеновим ядром. В природі кислоти даної групи зустрічаються у вільному стані та у складі естерів (бензойна смола, перуанський і торуанський бальзами). Одноосновні карбонові кислоти ароматичного ряду, як і кислоти жирного ряду, можна отримати за допомогою загальних методів:

- окиснення бокових ланцюгів гомологів бензену:

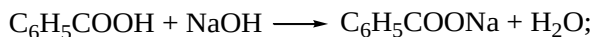


- гідроліз тригалогенопохідних гомологів бензену:

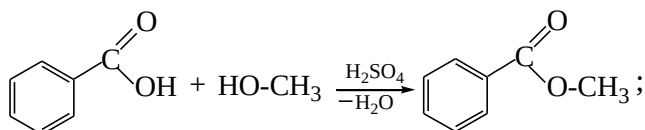


Хімічні властивості цих кислот обумовлені наявністю бензенowego ядра та карбоксильною групою:

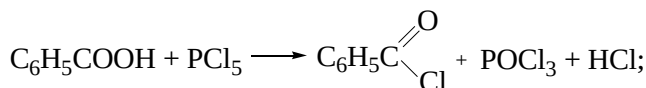
- утворення солей:



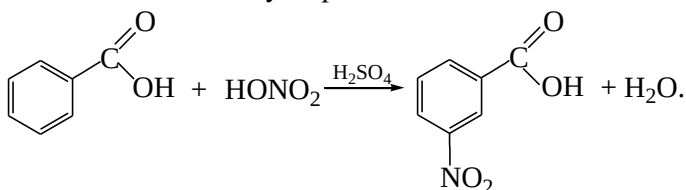
- утворення естерів:



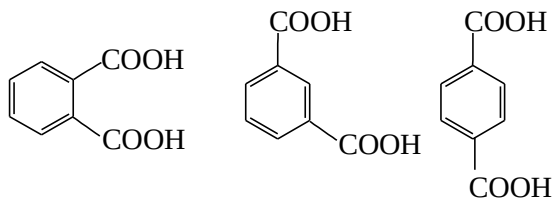
- утворення галогеноангідридів:



- реакції заміщення (галогенування, нітрування, сульфонування) протікають досить важко з утворенням мета-похідних:



Двоосновні ароматичні кислоти мають дві карбоксильні групи, які зв'язані з бензеновим ядром. Найважливішими представниками цих кислот є ізомерні фталеві кислоти (ізо- та терафталева кислоти):

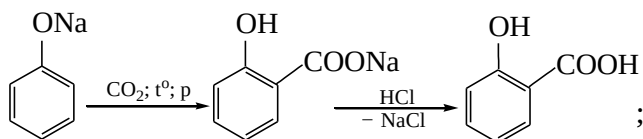


Хімічні властивості цих кислот принципово не відрізняються від одноосновних. В багатьох хімічних реакціях, наприклад при утворенні солей, естерів, амідів, нітрilів, ароматичні кислоти беруть участь однією або двома карбоксильними групами.

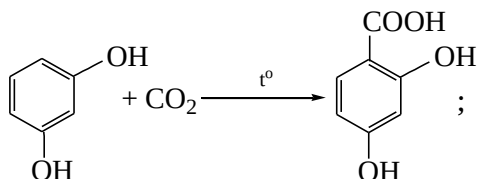
Фенолкислоти – похідні фенолів, у яких один або декілька атомів Гідрогену в ароматичному ядрі заміщені на гідроксильну та карбоксильну групи. Фенолокислоти дуже поширені у природі, тому їх можна добути з природної сировини такі як: глід криваво-червоний, горобина чорноплідна, прополіс. Фенолокислоти є основним компонентом (55–85 %) залишку від перегонки деревної смоли.

Нерідко для добування фенолокислот користуються синтетичними способами:

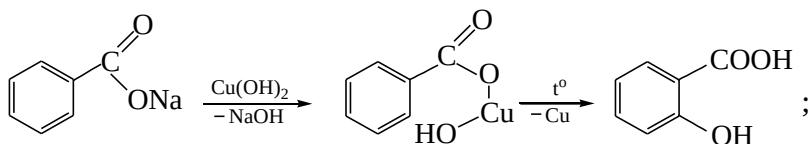
- карбоксилювання феноляту натрію (реакція Кольбе-Шмідта):



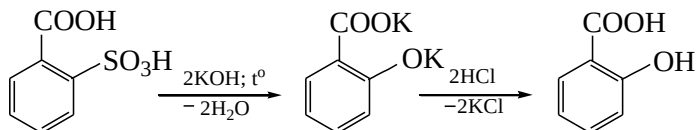
- карбоксилювання двоатомних фенолів:



- гідроксилювання солей ароматичних кислот:

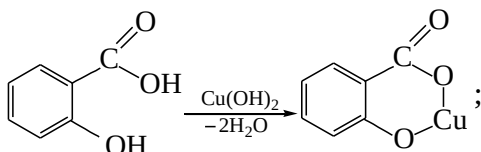
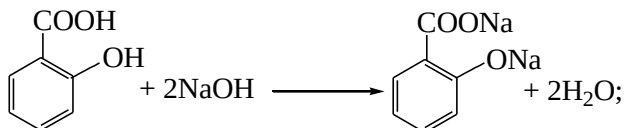
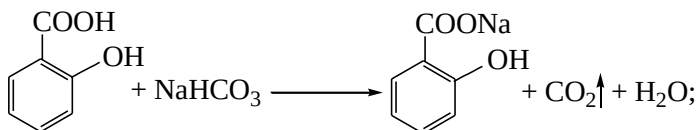


- сплавлення сульфобензойних кислот з лугами:

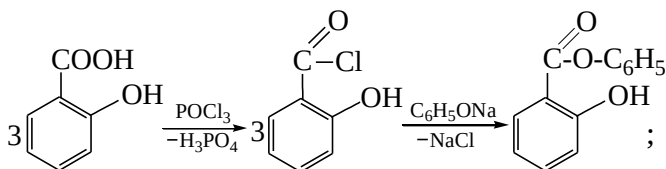
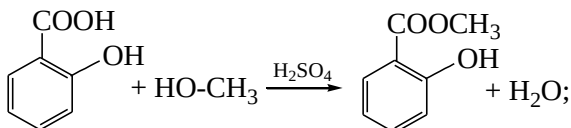


Фенолкислоти виявляють властивості фенолів та карбонових кислот:

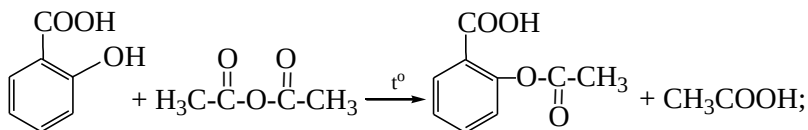
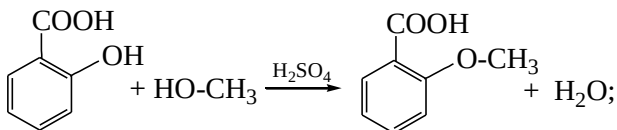
- утворення солей:



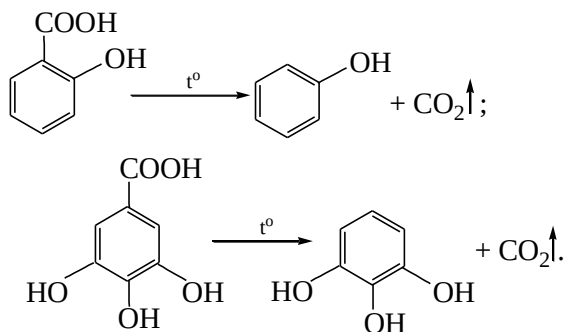
- утворення естерів:



- реакція естерифікації:



- реакція декарбоксилювання:



Практичні роботи

1. Розчинність спиртів у воді

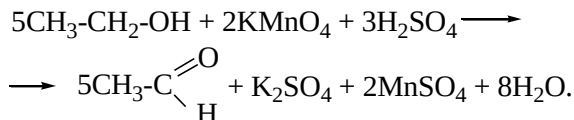
В одну пробірку наливають 2 см³ етилового спирту, а в другу – 2 см³ ізоамілового спирту. В обидві пробірки додають ще по 2 см³ води. Вміст пробірок збовтують і дають відстоятися. Що спостерігається?

2. Визначення процентного вмісту спирту в розчині

Процентний вміст спирту визначається за його густиною за допомогою спиртометра. Об'ємний процент спирту називається градусом. У циліндр із спиртом поміщають спиртометр і за його поділками визначають процентний вміст спирту з урахуванням поправки на температуру.

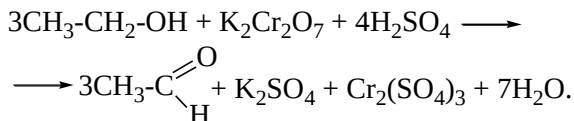
3. Окислення етилового спирту калію перманганатом в кислотному середовищі

У пробірку наливають 2 см³ етанолу і такий самий об'єм 5 % розчину калію перманганату. До суміші додають декілька крапель концентрованого розчину сульфатної кислоти, пробірку енергійно збовтують і злегка нагрівають. Спостерігають знебарвлення розчину; з'являється запах ацетальдегіду, який нагадує аромат прілих яблук:



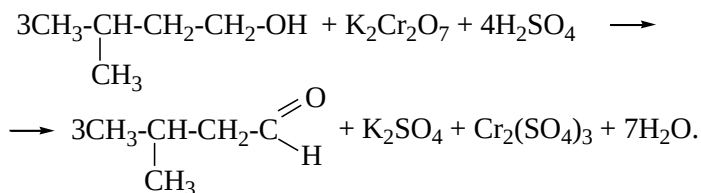
4. Окислення етилового спирту хромовою сумішшю

У пробірку наливають 1 см³ етанолу, додають 2–3 см³ хромової суміші (K₂Cr₂O₇ + H₂SO₄). Суміш нагрівають, спостерігають зміну помаранчевого забарвлення на синьо-зелене та появу запаху ацетальдегіду:



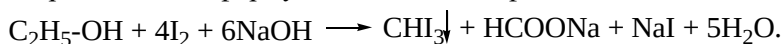
5. Окислення ізоамілового спирту хромовою сумішшю

У пробірку вносять 1 см³ ізоамілового спирту, додають 2 см³ хромової суміші. Вміст пробірки обережно струшують і нагрівають на полум'ї спиртівки. Спостерігають зміну забарвлення розчину: помаранчеве забарвлення переходить у зелене. Одночасно відчувається солодкуватий запах ізовалер'янового альдегіду:



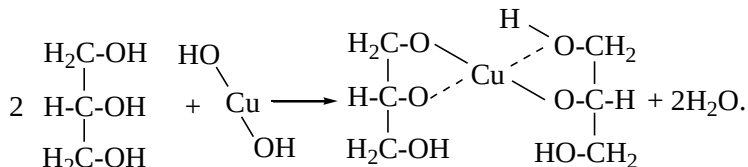
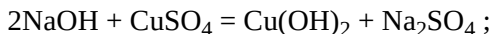
6. Йодоформна проба (якісна реакція на етанол)

У пробірку наливають 1 см³ етанолу, додають декілька кристалів Йоду та 2 см³ дистильованої води. Суміш збовтують, додають 20 % розчин натрію гідроксиду до знебарвлення йоду. Суміш нагрівають впродовж 5 хв за температури 60–70 °С. На дні пробірки утворюються жовті кристали йодоформу, який має специфічний запах:



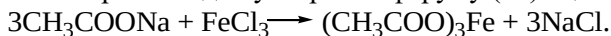
7. Якісна реакція на багатоатомні спирти

У пробірку наливають 2–3 см³ 10 % розчину натрію гідроксиду, додають декілька крапель розчину купруму (II) сульфату. З'являється синя каламуть – пластівці купруму (II) гідроксиду. Після цього в суміш краплями додають гліцерол і струшують. Відбувається розчинення осаду з утворенням гліцерату купруму темно-синього кольору:



8. Якісна реакція на ацетатну кислоту

У пробірку вносять декілька кристалів CH_3COONa , доливають 1 см^3 води та декілька крапель розчину FeCl_3 . Розчин забарвлюється в темно-червоний колір внаслідок утворення феруму (III) ацетату:



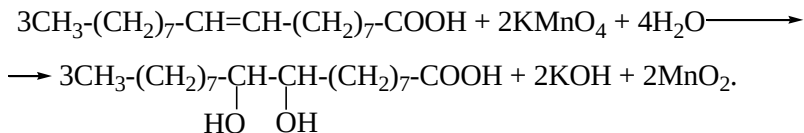
9. Розкладання карбонату натрію ацетатною кислотою

У пробірку наливають 2 см^3 5 % розчину натрію карбонату, додають декілька крапель крижаної ацетатної кислоти. Спостерігають виділення CO_2 :



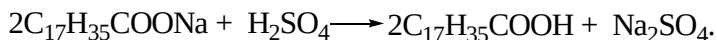
10. Окиснення олеїнової кислоти

У пробірку наливають декілька крапель рослинної олії, додають 2 см^3 розбавленого розчину натрію бікарбонату (для емульгування жиру) і 2 см^3 0,1 % розчину калію перманганату. Суміш енергійно збовтують. Знебарвлення розчину калію перманганату свідчить про наявність у молекулі олеїнової кислоти подвійного зв'язку:



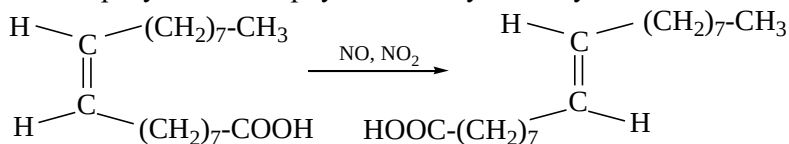
11. Одержання вищих жирних кислот з їх солей

У пробірку наливають 2 см^3 1 % розчину водного розчину мила, додають декілька крапель 10 % розчину сульфатної кислоти. Натрієві солі вищих жирних кислот розкладаються, у верхній частині пробірки утворюються пластівці вищих жирних кислот, нерозчинних у воді:



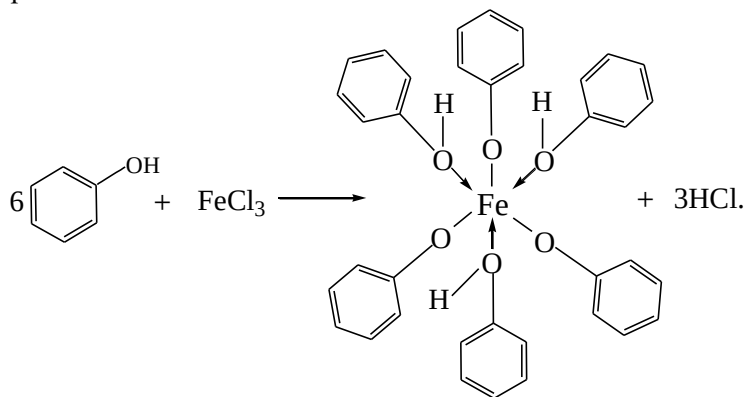
12. Ізомеризація олеїнової кислоти (слаїдинова проба)

У пробірку наливають 1–2 см³ олеїнової кислоти або рослинної олії, кидають короткі шматки мідного дроту (0,1–0,2 г), додають 1 см³ концентрованої нітратної кислоти. Пробірку закривають пробкою і обережно струшують, періодично відкриваючи її, щоб вирівняти тиск. Вміст пробірки (відкритої) нагрівають. Після того як припиниться виділення газу, пробірку щільно закривають, залишаючи у штативі на годину. Під впливом оксидів нітрогену і купрум рідка олеїнова кислота ізомеризується в тверду слаїдинову кислоту:



13. Якісна реакція на лактатну кислоту

У три пробірки вносять по 0,5 см³ розчину ферум (III) хлориду і по 1 см³ розчину фенолу. При взаємодії ферум (III) хлориду з фенолом утворюється ферум (III) фенолят, розчин набуває фіолетового забарвлення:

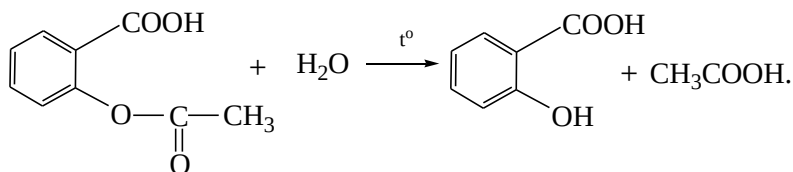


У першу пробірку додають 2 см³ ацетатної кислоти, у другу – лактатної, у третю – молочної сироватки. У пробірці з ацетатною кислотою забарвлення не змінюється. Лактатна кислота руйнує ферум (III) фенолят і реагує з ферум (III) хлоридом з утворенням комплексної сполуки. В процесі реакції фіолетове забарвлення розчину переходить

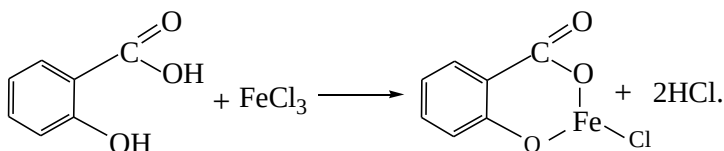
в зелене або жовте. Кисла молочна сироватка теж дає реакцію з ферум (III) хлоридом, оскільки в ній міститься лактатна кислота.

14. Гідроліз аспірину (ацетилсаліцилової кислоти)

У пробірку вносять $\frac{1}{4}$ таблетки аспірину, додають 4 см³ води. Розчин розділяють на дві частини. До однієї частини додають декілька крапель 1 % розчину ферум (III) хлориду. Іншу частину розчину спочатку кип'ятять впродовж 2–3 хв, далі охолоджують та додають розчин FeCl₃. Аспірин не дає фіолетового забарвлення з ферум (III) хлоридом, тому в першій пробірці зміни відсутні, у другій – відбувається гідроліз аспірину за рівнянням:



При взаємодії з ферум (III) хлоридом, саліцилова кислота, отримана в процесі гідролізу, утворює комплекс – ферум (III) саліцилат, що має характерне фіолетове забарвлення:



Питання до самоконтролю:

1. Загальна характеристика спиртів, класифікація, застосування.
2. За яким механізмом відбувається окиснення спиртів та як різняться результати окислення первинних, вторинних і третинних спиртів?
3. Якою реакцією можна довести, що досліджувана речовина є: а) одноатомним спиртом; б) багатоатомним спиртом? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
4. Якими способами одержують метанол, етанол, пропанол-1? Перерахуйте всі відомі вам методи і визначте хімізм одержання даних спиртів.
5. Які особливості фізичних властивостей спиртів в порівнянні з іншими органічними сполуками, розглянутими раніше.

6. Що таке карбонові кислоти і як вони класифікуються за природою радикала, його насиченості, числу карбоксильних груп і наявності інших функціональних груп? Напишіть структурні формули головних карбонових кислот, що відносяться до різних груп.

7. Охарактеризуйте окремих представників одноосновних карбонових кислот (мурашина, оцтова, масляна кислоти, ВЖК, мило).

8. Наведіть коротку характеристику головних хімічних реакцій одноосновних карбонових кислот, що пов'язані з: рухливістю атома Гідрогену карбоксильної групи; заміщенням гідроксилу карбоксильної групи; участю радикала.

9. Наведіть коротку характеристику гідроксикислот: методи одержання хімічні властивості.

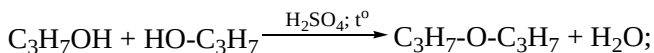
10. Напишіть структурні формули низько- та високомолекулярних ненасичених карбонових кислот.

3.2. ЕТЕРИ, ЕСТЕРИ, ЖИРИ

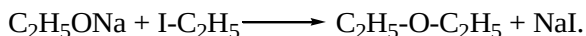
Етери – похідні спиртів, в молекулі яких атом Гідрогену спиртової групи OH, заміщений на вуглеводневий радикал R: R₁-O-R₂. Для етерів характерні ізомерія карбонового ланцюга та *метамерія*. Перший вид ізомерії обумовлений розгалуженням радикалу. *Метамерія* – вид ізомерії, при якому два і більше етери мають однакову молекулярну формулу, але різну будову молекул, обумовлену різними радикалами по обидва боки від оксигеновмісного «містка». Наприклад, молекулярній формулі C₅H₁₂O відповідають етери: CH₃-O-C₄H₉, C₂H₅-O-C₃H₇.

Етери одержують синтетично, оскільки у природі у вільному стані вони не зустрічаються. Етери одержують за допомогою наступних реакцій:

- дегідратація спиртів мінеральними кислотами:

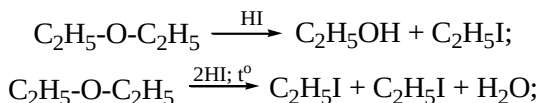


- взаємодія алкоголятів із галогенопохідними вуглеводнями:

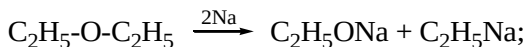


Етери належать до хімічно інертних сполук. На них не діють розведені кислоти, лути, лужні метали. За особливих умов (каталізатори, температура, тиск) можуть вступати в деякі хімічні реакції:

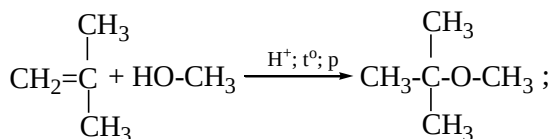
- гідроліз за дії кислот:



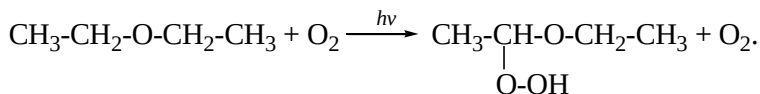
- гідроліз за дії лужних металів:



- взаємодія ненасичених вуглеводнів із спиртами:



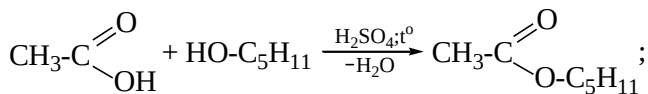
- окиснення етерів на світлі:



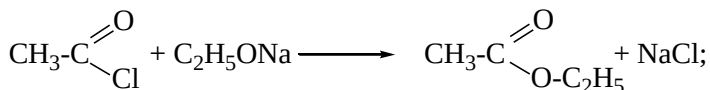
Естери – продукти заміщення атомів Гідрогену групи -ОН в органічних і мінеральних кислотах на радикали. Їх загальна формула R-COO-R' де залишки R та R' можуть бути однаковими або різними. Розрізняють естери органічних та мінеральних кислот (нітратної, сульфатної, фосфатної тощо).

Естери широко розповсюджені у природі. Естери нижчих карбонових кислот і спиртів – безбарвні леткі рідини з приємним фруктовим запахом. Естери мінеральних кислот – оліїсті рідини з приємним запахом. Естери вищих спиртів і вищих карбонових кислот – тверді речовини, що майже не мають запаху. Вони практично не розчиняються у воді, але добре розчинні в органічних розчинниках. Естери гліцеролу та вищих жирних кислот – хімічною основою всіх жирів та олій. Естери фосфатної кислоти (нуклеїнові кислоти, фосфатиди, фосфотейди) відіграють важливу у життєдіяльності організмі людини, тварини, мікроорганізмів, вірусів. Значну кількість естерів можна отримати синтетичним шляхом:

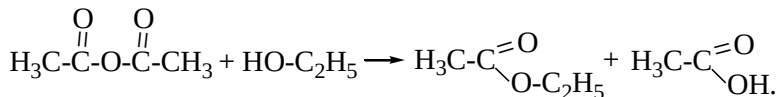
- реакція естерифікації:



- взаємодія галогеноангідридів карбонових кислот з алкоголями або спиртами:

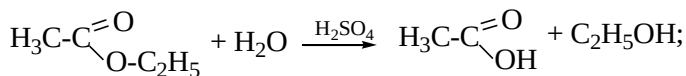


- взаємодія ангідридів карбонових кислот зі спиртами:

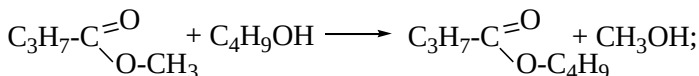


Естери на відміну від етерів хімічно активні, тому вони легко вступають у реакції:

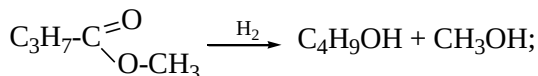
- гідроліз естерів:



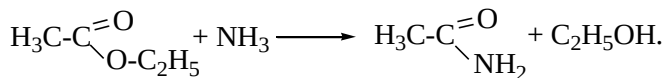
- реакція переестерифікації:



- реакція відновлення:



- аміноліз естерів:



Жири (триацигліцероли) – естери трьохатомного спирту гліцеролу та вищих жирних кислот (ВЖК). У якості ВЖК можуть бути насичені (пальмітинова, стеаринова) і ненасичені (олеїнова, лінолева, ліноленова) кислоти, рідше циклічні та гідроксикислоти. Розрізняють прості і змішані триацигліцероли (ТАГ). У складі простого жиру містяться залишки однієї ВЖК (наприклад, трипальмітин – три залишки пальмітинової кислоти), змішані – двох або трьох ВЖК – (наприклад, пальмінолостеариноолеїн – по одному залишку стеаринової кислоти, пальмітинової, олеїнової кислот). У складі триацигліцеролів тваринного походження переважають залишки насичених ВЖК, у рослинних – залишки ненасичених ВЖК.

Властивості жирів визначаються якісним складом жирних кислот, їх кількісним співвідношенням, відсотковим вмістом вільних жирних кислот. Якість і чистота жирів характеризуються фізичними і хімічними константами.

Фізичні константи: *густина, температура плавлення і тверднення, коефіцієнт рефракції* (для рідких жирів).

До хімічних констант належать:

- *Кислотне число* – кількість міліграмів КОН, яка потрібна для нейтралізації вільних жирних кислот, що містяться в 1 г жиру. Характеризує наявність вільних жирних кислот у жирі. При зберіганні жиру кислотне число зростає.

- *Число омилення* – кількість міліграмів КОН, яка необхідна для нейтралізації всіх вільних і зв'язаних жирних кислот, що містяться в 1 г жиру. Число омилення і кислотне число характеризують ступінь гідролітичного псування жиру.

- *Естерне число* – кількість міліграмів КОН, яка необхідна для омилення всіх естерів, що містяться в 1 г жиру. Естерне число дорівнює різниці між числом омилення і кислотним числом. Величина його залежить від молекулярної маси кислот, що входять до складу жиру: чим вона менша, тим більший показник естерного числа.

- *Йодне число* – кількість грамів йоду, що приєднується до 100 г жиру (за місцем подвійних зв'язків). Характеризує наявність ненасичених жирних кислот у складі триацигліцеролів.

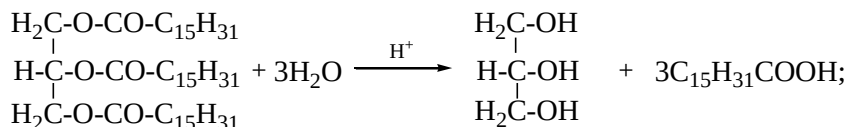
- *Пероксидне число* – кількість грамів йоду, яка виділилася з калію йодиду пероксидними сполуками, що містяться в 100 г жиру. Ця константа вказує на вміст пероксидних сполук у жирі, дає змогу

виявити окиснювальні процеси та наявність продуктів псування значно раніше, ніж це може бути встановлено органолептично.

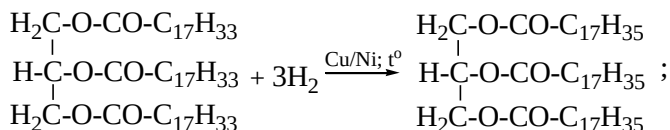
- *Число Рейхарда-Мейсля* – кількістю 0,1 н розчину NaOH, витраченого на нейтралізацію летких жирних кислот (масляної, капронової та каприлової), утворених під час гідролізу 5 г жиру і відігнаних з водяною парою.

Жири отримують лише із природних джерел – рослинної і тваринної сировини. Хімічні властивості обумовлені структурою їх молекул:

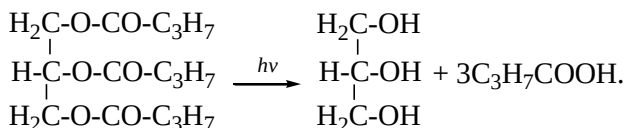
- гідроліз (кислотний, лужний) жиру:



- гідрогенізація жирів:



- згіркнення жирів:



Діольні ліпіди – складаються із двохатомного спирту і ВЖК, виявлені в тканинах тварин, насінні рослин, мікроорганізмах, вони підвищують проникність біологічних мембран.

Воски – група ліпідів молекули яких утворені вищими спиртами і ВЖК. Розрізняють воски тваринного (бджолиний віск, ланолін, спермацет), рослинного (карнаубський, канделільський, пальмовий, пляний), викопного (церизин, монтан) та мікробного походження. Бджолиний віск продукується восковими залозами бджіл. До його складу, як правило, входить мірициловий спирт і пальмітинова кислота. Ланолін одержують після промивки шерсті овець, суміш естерів, утворених вищими спиртами (цериловим) і ВЖК

(ланопальмітиною, ланоміристиною). Спермацет – міститься в черепній порожнині (спермацетовому мішку) кашалота. Основу його складає естер цетилпальмітат.

Стерини – естери утворені ВЖК циклічним спиртом циклопентанпергідрофенантеном. Стерини входять до складу біомембран. Із них в організмі синтезуються жовчні кислоти, статеві гормони, вітамін Д₃. Розрізняють зоостерини (холестерол), фітотостерини (ситостерол) і мікостерини (ергостерол).

Складні ліпіди за своєю структурою дещо відрізняються від простих, у складі їх молекул окрім гліцеролу і ВЖК виявляють інші компоненти (мінеральні кислоти, моносахариди, амінокислоти тощо).

Фосфоліпіди – складні ліпіди, молекули, яких утворено залишками спиртів (гліцеролу, інозиту, зфінгозину), ВЖК (насиченими, ненасиченими), ортофосфатною кислотою і нітрогеновмістними сполуками. Разом з білками входять до складу біологічних мембран. До найпоширеніших фосфоліпідів відносять: фосфатидилхолін, фосфатидилетаноламін, фосфатидилсерин, інозитолфосфати, кардіоліпіди, сфінгозинфосфати.

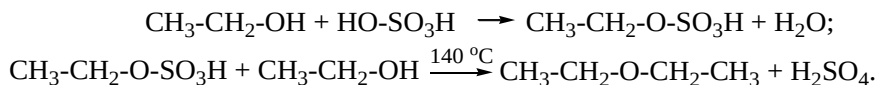
Гліколіпіди – сполуки, що містять залишки вуглеводів, сполучених із ліпідною основою. До найпоширеніших гліколіпідів належать естери вищих карбонових кислот і сфінгозину (глікосфінголіпіди) або гліцеролу (глікогліцероліпіди), сполучених з вуглеводними залишками (D-галактозою, D-глюкозою, олігосахаридами, галактозо- або глюкозаміном, N-ацетилнейраміною кислотою тощо).

Сульфатиди – утворені залишками ненасиченого аміноспирту сфінгозину, церебронової або лінгоцеринової кислот, галактози і сульфатної кислоти. Вони виконують структурну і метаболічну функцію в тканинах мозку, нирок і м'язів.

Практичні роботи

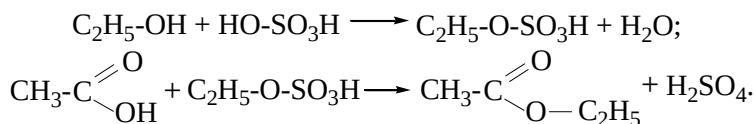
1. Одержання діетилового етеру

До 1 см³ розчину етанолу додають однаковий об'єм концентрованої сульфатної кислоти. Суміш нагрівають над спиртівкою до початку кипіння, потім припиняють нагрівання (після незначного побуріння розчину), до гарячої суміші додають ще 0,5 см³ розчину етанолу. Утворюється діетиловий етер, який визначають за характерним запахом:



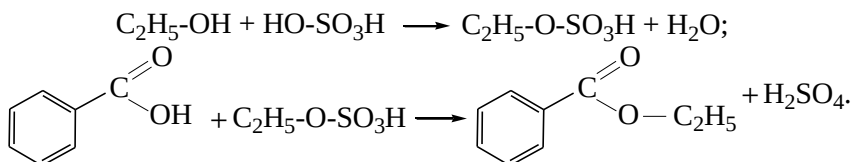
2. Одержання етилетаноату

У пробірку вносять 1–2 см³ концентрованої ацетатної кислоти, додають такий самий об'єм 96° етанолу та 0,5 см³ концентрованої H₂SO₄. Пробірку ставлять у водяну баню на 2–5 хв. Після цього вміст пробірки виливають у колбу з холодною водою. Відчувається освіжаючий запах етилетаноату. Реакція відбувається у два етапи:



3. Одержання етилбензоату

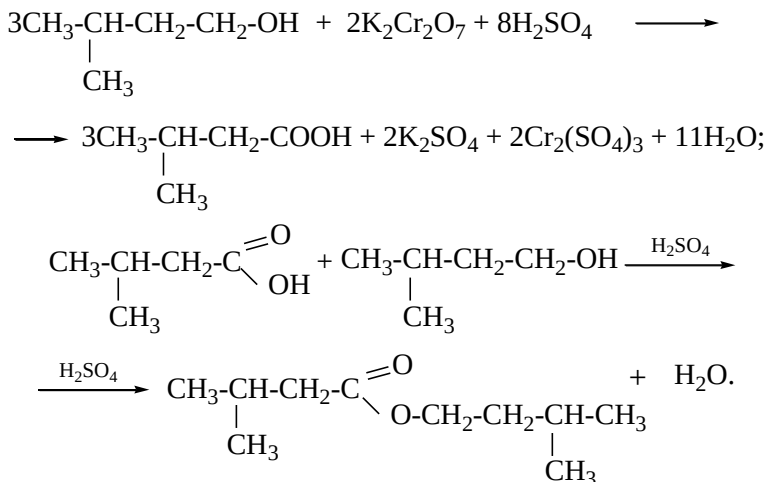
У пробірку вносять 0,5–1,0 г бензойної кислоти, додають 2–3 см³ етанолу та 1–2 см³ концентрованої H₂SO₄. Суміш нагрівають до кипіння, безперервно струшуючи. Вміст пробірки виливають у колбу з холодною водою. На дні колби осідає масляниста рідина із м'ятним запахом етеру:



4. Одержання ізоамілметилбутаноату («яблучної есенції»)

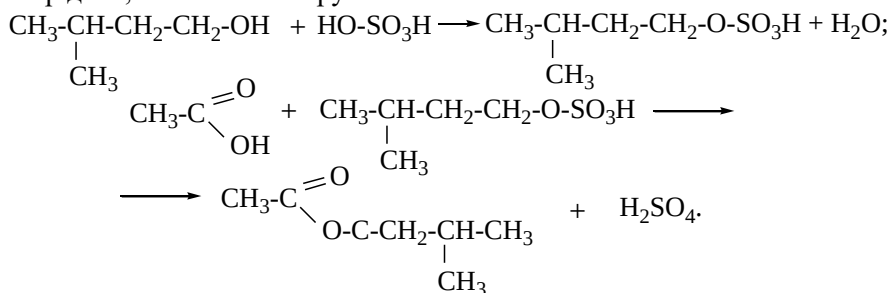
У колбу ємністю 50 см³ наливають 3 см³ води і обережно додають 5 см³ концентрованої сульфатної кислоти. Вміст охолоджують проточною водою. До охолодженої суміші додають 3–4 см³ ізоамілового спирту і 5 г порошку калію біхромату. Суміш охолоджують впродовж 20 хв. Після розчинення біхромату в колбу доливають воду до 50 см³. Через певний час на поверхні з'являється олійста рідина з характерним яблучним запахом.

Утворення естеру відбувається у декілька стадій. Спочатку ізоаміловий спирт окиснюється до 3-метилбутанової кислоти, яка далі при взаємодії з ізоаміловим спиртом утворює естер – ізоамілметилбутаноат:



4. Одержання ізоамілетаноату («грушевої есенції»)

У пробірку наливають 1–2 см³ концентрованої ацетатної кислоти, додають 1–2 см³ ізоамілового спирту та 2 см³ концентрованої сульфатної кислоти. Перемішують і ставлять на 2–3 хв у киплячу водяну баню. Суміш виливають в колбу з холодною водою. На поверхні з'являється оліїста рідина, яка має запах груш:

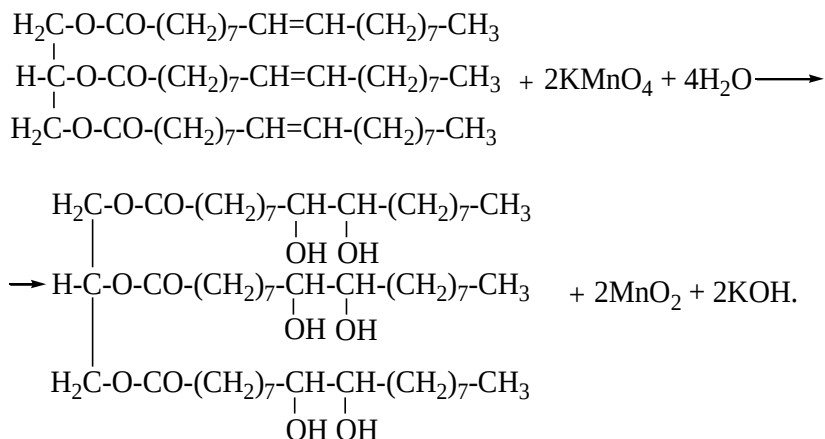


6. Емульгування жирів

У чотири пробірки наливають по 1 см³ олії. Потім у першу пробірку вносять 1 см³ розчину білка, у другу – розчин КОН, у третю – розчин мила, у четверту – розчин питної соди. Вміст пробірок перемішують і ставлять у штатив. Через 5 хв досліджують стійкість емульсій у пробірках.

7. Окиснення ненасичених жирів

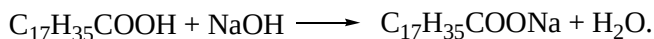
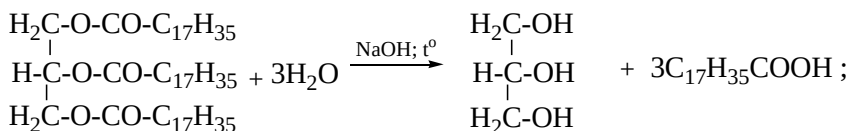
Ненасичені жири під впливом променів сонячного світла та кисню повітря розкладаються, при цьому виникає неприємний смак і запах. Цей процес називається *згіркненням* жирів. У пробірку наливають декілька крапель олії і додають 0,5–1,0 г розчину KMnO_4 , перемішують. Спостерігають за зміною забарвлення суміші та утворення каламуті:



8. Одержання твердого мила (омилення жирів)

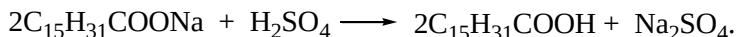
Лужний гідроліз жирів називається *омиленням*. Реакція омилення необоротна.

У пробірку поміщають 0,5–1,0 г тваринного жиру і додають 2–3 см³ 20 % розчину натрію гідроксиду. Пробірку поміщають на 10–15 хв у кип'ячу водяну баню. Омилення проводять доти, поки рідина не стане однорідною. Після нагрівання пробірку охолоджують. Додають 2–3 см³ насиченого розчину натрію хлориду. Рідина мутніє і виділяється шар мила, що спливає на поверхню:



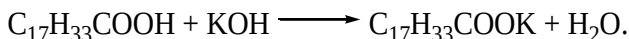
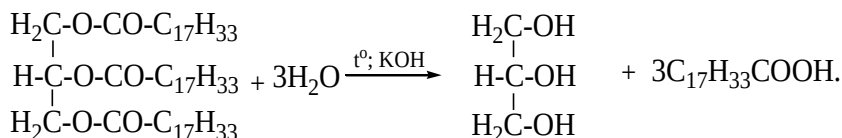
9. Виділення жирних кислот з мила

У пробірку наливають 2–3 см³ розчину мила, доливають 1 см³ розчину сульфатної кислоти. Отриману суміш злегка нагрівають у полум'ї спиртівки. Водний розчин світлішає, а на поверхні рідини утворюється білий оліїстий шар вільних жирних кислот:



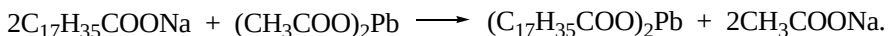
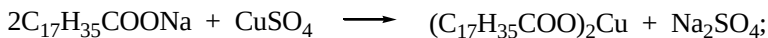
10. Одержання рідкого мила

У пробірку наливають 1 см³ олії, додають 2 см³ 20 % розчину гідроксиду калію. Суміш поміщають у киплячу водяну баню на декілька хвилин (до утворення прозорого розчину). Пробірку охолоджують і додають 2–3 см³ води. Струшують. З'являється мильна піна:



11. Одержання нерозчинного мила

У дві пробірки наливають по 2 см³ 10 % водного розчину твердого мила. У першу пробірку додають 2 см³ 5 % розчину купрум сульфату, у другу – 2 см³ 5 % розчину плумбум ацетату. Суміш в пробірках енергійно збовтують. Спостерігають утворення осаду нерозчинних миль:



Питання до самоконтролю:

1. Визначення та характеристика естерів.
2. Які визнаєте хімічні властивості естерів? Написати рівняння.
3. Характеристика та властивості естерів.
4. Напишіть формули естерів складу C₆H₁₄O і назвіть їх.
5. Напишіть формули естерів із молекулярною формулою C₄H₈O₂ та назвіть їх.
6. Нейтральні жири. Визначення, будова, значення.

7. Назвіть та дайте характеристику основним хімічним константам жирів.

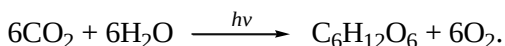
8. Напишіть формули таких тригліцеридів: тристеарину, олепальмитостеарину, олеоліноленопальмітину.

9. Дайте характеристику основним способам одержання жирів.

10. Напишіть структурні формули найважливіших представників фосфоліпідів.

3.3. ВУГЛЕВОДИ

Вуглеводи – полігідроксикарбонільні сполуки та їхні похідні. Більшість з них відповідають формулі $C_n(H_2O)_m$ або $C_mH_{2n}O_n$. Вони дуже поширені у природі. Вміст вуглеводів у рослинах складає приблизно 80 % від сухої маси, у тварин – в середньому 1–2 %. У рослинах вуглеводи утворюються в результаті фотосинтезу, який відбувається внаслідок сонячної енергії та хлорофілу. Більше половини кисню на планеті синтезується фітопланктоном у світовому океані і лише близько 30 % кисню виробляється в тропічних лісах. Процес фотосинтезу можна зобразити так:



Вуглеводи класифікують на прості та складні. До найпростіших полігідроксикарбонільних сполук, що не піддаються гідролізу належать моносахариди. За характером карбонільної групи вказані сполуки розподіляють на альдози та кетози. За кількістю атомів Карбону на нижчі (діози, тріози, тетрози), середні (пентози, гексози), вищі (гептози, октози, нонози). Загальне число моносахаридів у природі – понад 400, що обумовлено різноманітними формами ізомерії (D-, L-ізомери, α -, β -ізомери, оптичні ізомери тощо).

Складні вуглеводи (полісахариди або поліози) поділяють на низько- і високомолекулярні вуглеводи. До складу низькомолекулярних належать олігосахариди. Їх молекули складаються з 2–10 моносахаридних залишків, здатні гідролізуватися. За кількістю таких залишків олігосахариди розділяють на: ди-, три-, тетра-, пента-, гекса-, гепта-, окта-, нона-, декасахариди. Найбільше значення мають дисахариди. Більшість дисахаридів (лактоза, мальтоза, целобіоза), як і всі моносахариди, є відновлюючими вуглеводами. До невідновлюючих належать деякі дисахариди (сахароза, трегалоза), трисахариди (рафіноза, генціаноза), а також ряд полісахаридів.

Високомолекулярні вуглеводи поділяють на гомо- і гетерополісахариди. Молекула полісахариду містять від 11 до декількох тисяч залишків моносахаридів. Молекула гомополісахариду при гідролізі розщеплюється на молекули одного з видів моносахаридів (наприклад, глікоген, крохмаль – до глюкози). Молекула гетерополісахаридів при гідролізі дає, окрім моносахаридів (найчастіше гексоз і пентоз), інші сполуки – мінеральні кислоти (ортофосфатну, сульфатну), аміноцукри (глюкозамін, галактозамін), уранові кислоти (глюкоронову і галактуранову) тощо.

Найбільш поширеними моносахаридами є пентози (рибоза і дезоксирибоза) та гексози (глюкоза, галактоза, фруктоза). Вони солодкі на смак, добре розчинні у воді.

D-рибоза, D-дезоксирибоза – компоненти РНК і ДНК, що відповідають за передачу спадкової інформації, а також входять до складу макроергічних сполук (АТФ і АДФ) – відповідають за запас і перенесення хімічної енергії, НАДФ – бере участь в перебігу життєво важливих окиснювально-відновних процесів. У вільному вигляді вказані пентози майже не зустрічаються.

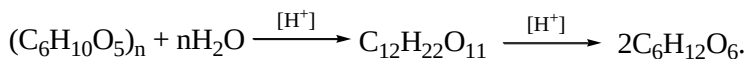
D-Глюкоза (виноградний цукор, декстроза) – структурний компонент багатьох низько- та високомолекулярних вуглеводів. У вільному стані виявляється у фруктових соках, плазмі людини і тварин.

D-Галактоза – є структурним компонентом молочного цукру (лактози). Її залишок також виявляється у складі деяких оліго- і полісахаридів (лактолоза, рафіноза, стахіоза, пектинові речовини, агар-агар, карагінан).

D-Маноза – входить до складу багатьох гліколіпідів і глікопротеїдів. У вільному стані міститься у шкірці плодів цитрусових рослин, є структурним компонентом мананів, полісахаридів деяких бактерій і дріжджів, слизу травного каналу і слини.

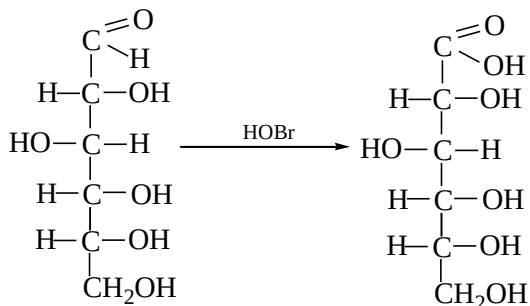
D-Фруктоза (плодовий цукор, левулоза) – міститься в зелених частинах рослин, в нектарі квітів, в плодах (яблука, груші, дині, кавуни тощо), меді, є структурним компонентом рафінози, сазарози, інуліну.

Синтетичні методи добування моноз мають суто експериментальне значення. Найпоширенішим способом одержання моносахаридів є промисловий гідроліз полісахаридів. Для цього можуть використовувати ферментний чи кислотний гідроліз:

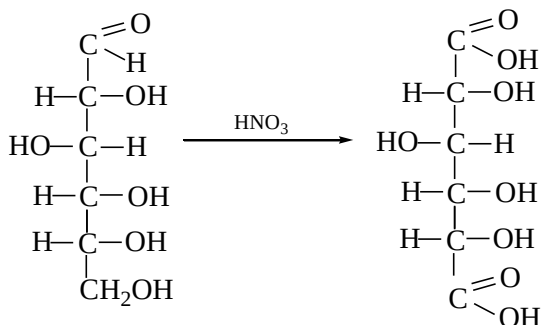


Хімічні властивості моносахаридів обумовлені наявністю в їх молекулах карбонільної та гідроксильної груп:

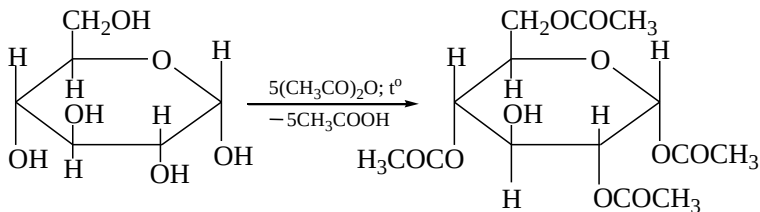
- окиснення глюкози слабкою кислотою до глюконової кислоти:



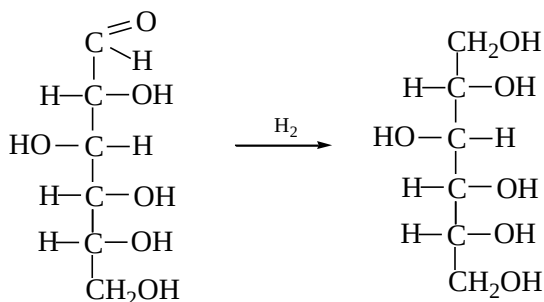
- окиснення глюкози нітратною кислотою до глюкарової кислоти:



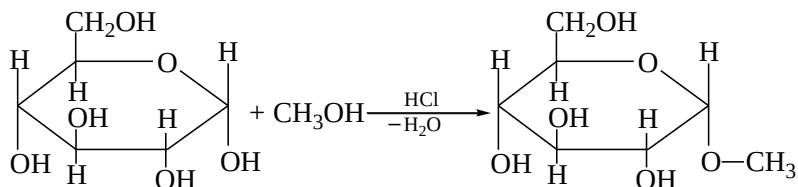
- ацилювання глюкози:



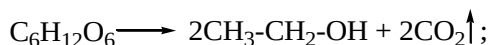
- відновлення глюкози до сорбіту:



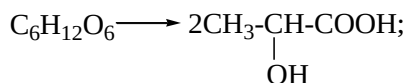
- утворення глікозидів:



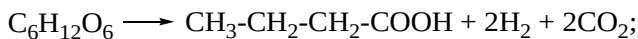
- спиртове бродіння:



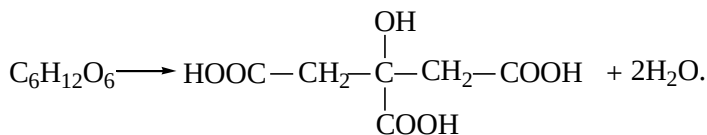
- молочнокисле бродіння:



- маслянокисле бродіння:



- цитратне бродіння:



Олігосахариди утворюються у результаті формування етерних зав'язків внаслідок глікозидного гідроксилу одного моносахариду та гідроксильної групи іншого. Остання частіше за все локалізована біля C₄ рідше C₁, C₂, C₃, C₆. Дисахариди здатні до кислотного і ферментативного гідролізу.

Мальтоза – широко розповсюджена у природі, добре розчинна у воді. При гідролізу з неї утворюється α -D-глюкоза. Одержують при неповному розчепленні крохмалю за дії амілази солоду. У значних кількостях міститься в пророщеному зерні, особливо ячмені (солод), солодових екстрактах, пилку квітів.

Целобіоза – утворюється при неповному гідролізі клітковини. Не засвоюється організмом тварин, не зброджується дріжджами, майже не солодка на смак. За дії ферменту целобіази розщеплюється до двох молекул β -D-глюкози.

Лактоза (молочний цукор) – синтезується в молочній залозі і входить до складу молока. У процесі гідролізу утворює два моносахариди – β -D-галактозу і α -D-глюкозу. У процесі зброджування лактоза перетворюється в лактатну кислоту.

Сахароза (буряковий, тростинний цукор) – входить до складу майже всіх рослин, особливо високий вміст у соці цукрової тростини (до 20 %), цукрового буряка (16–21 %). При гідролізі утворюється суміш α -D-глюкоза і β -D-фруктози (інвертний цукор).

Трегалоза (грибовий цукор) – міститься у грибах, лишайниках, водоростях, гемолімфі молюсків, черв'яків і комах. При гідролізі утворює дві молекули α -D-глюкози.

Крохмаль – гомополісахарид, який синтезується рослинами, виконує резервну функцію; накопичується в насінні, бульбах, корінні і деяких фруктах у вигляді зерен, форма і розмір яких залежить від виду рослини. Сформований з двох полімерів амілози (10–30 %) та амілопектину (70–90 %). Характерною якісною реакцією на крохмаль є синє забарвлення розчином йоду з калій йодидом.

Декстрини – полісахариди з меншою молекулярною масою, ніж у крохмалю, добре розчинний у воді. Декстрини утворюються із крохмалю, за дії на нього високих температур (при випіканні хліба – скоринка, прасування накрохмаленого одягу). Ці сполуки використовуються для приготування солодких сиропів та клею для поштових марок.

Глікоген – резервний полісахарид тварин, який депонується в печінці та м'язовій тканині. За складом та будовою він подібний до крохмалю, при гідролізі утворює глюкозу. Глікоген при взаємодії з йодом дає *червоне* забарвлення.

Целюлоза – основний структурний гомополісахарид рослинних клітин, є складовою частиною деревини (70 %), міститься в оболонці плодів, насіння. Клітковину містять і харчові продукти (борошно, картопля, овочі, крупи тощо). Целюлоза не розчинна у воді, при взаємодії з розчином йоду утворюється жовте або коричневе забарвлення.

Гіалуронова кислота – несulьфатований глікозамінглікан, який входить до складу сполучної, епітеліальної та нервової тканин, біологічних рідин.

Гепарин – сульфатований глікозаміноглікан. До його складу входять полімери, похідні *D*-глікозаміну і *L*-ідуринової кислоти або *D*-глюкуронової кислоти. Він звільняється тканинними базофілами, базофілами крові і наявний у багатьох тканинах, зокрема, в печінці та легенях.

Інулін – досить розповсюджений у природі гетерополісахарид. Його молекула на 97 % складається із фруктози, 3 % – глюкоза. Значна кількість інуліну зосереджена в бульбах топінамбуру, жоржин.

Агар-агар – гетерополісахарид, який виділяють із водоростей. Агар використовують у лабораторіях (поживні середовища), у якості загущувача при виготовленні мармеладу, желе, джемів, варення, кремів, зубних паст. Агар абсолютно не шкідливий, оскільки не засвоюється організмом людини.

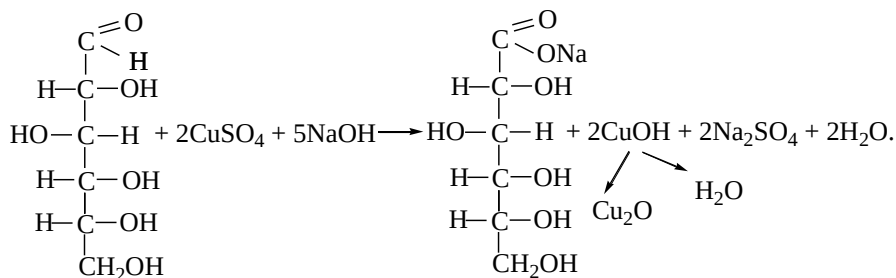
Інулін (міститься у топінамбурі) – резервний полісахарид, використовується у якості заміни крохмалю для людей хворих на цукровий діабет.

Практичні роботи

1. Взаємодія моносахаридів з купрум гідроксидом (реакція Троммера)

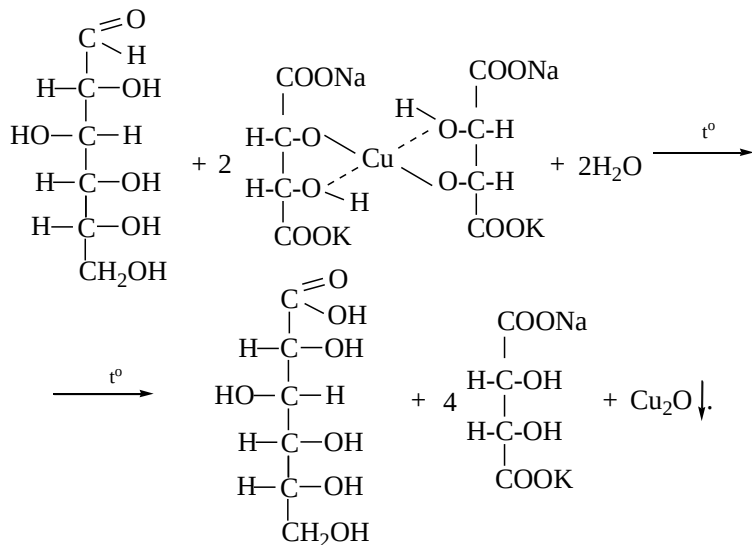
До 2 см³ 1 % розчину глюкози додають 3–5 крапель 10 % розчину купрум (II) сульфату і 2 см³ 15 % розчину натрію гідроксиду. Утворюється осад купрум (II) гідроксиду, який швидко розчиняється при струшуванні пробірки, а розчин набуває блакитного забарвлення. Нагрівають верхній шар. Спостерігають утворення жовтого осаду

CuOH, який швидко змінюється на червоний внаслідок утворення купрум (I) оксиду:



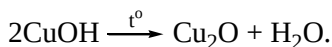
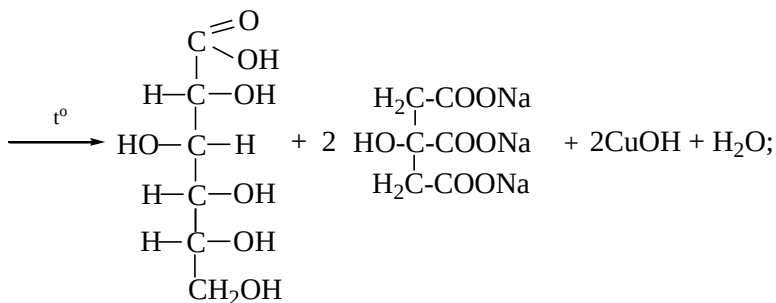
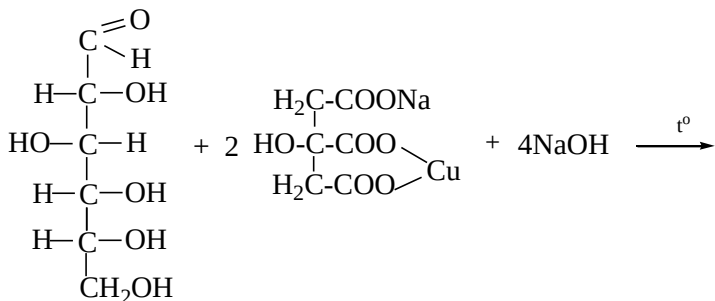
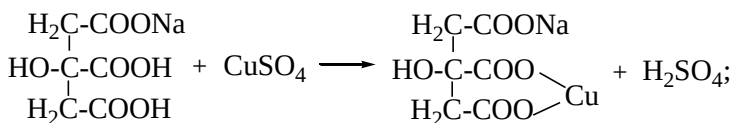
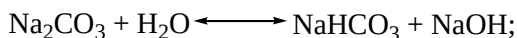
2. Взаємодія моносахаридів з купрум-тарtratним комплексом (реакція Фелінга)

У пробірку наливають 1–2 см³ 30 % розчину натрію гідроксиду і додають 0,5 см³ 2 % розчину купрум (II) сульфату. Потім у пробірку додають 2–3 см³ 10 % розчину сегнетової солі (калій-натрій тарtratнокислий) і 0,5 см³ 1 % розчину глюкози. Нагрівають. На дні пробірки утворюється темно-коричневий осад купрум (I) оксиду:



3. Якісна реакція на моно- та дисахариди відновлюючого типу (реакція з реактивом Бенедикта)

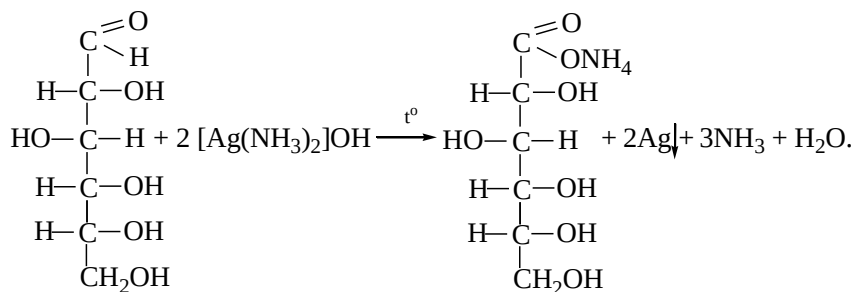
У пробірку до 5 см³ розчину Бенедикта (розчин I – розчиняють 173 г дигідрату натрій цитрату і 100 г Na₂CO₃ (безводного) у 600 см³ дистильованої води за нагрівання. Після цього доводять загальний об'єм розчину до 850 см³; розчин II – 17,3 г купрум (II) сульфату розчиняють у 100 см³ дистильованої води, об'єм розчину доводять до 150 см³. Далі розчин II повільно, при перемішуванні, додають до розчину I) додають 8 крапель 1–2 % розчину досліджуваної речовини. Суміш кип'ятять на полум'ї спиртівки або витримують 5 хв на водяній бані, після чого охолоджують. Реакція відбувається у декілька стадій:



Поява червоного, жовтого чи зеленого осаду свідчить про наявність відновлюючого вуглеводу у досліджуваному розчині. Відповідне забарвлення розчину чи осаду вказує на приблизну кількість відновлюючого цукру у досліджуваному розчині: зелений розчин < 0,5 %; зелений осад 0,5–1,0 %; жовто-зелений осад 1,0–1,5 %; жовто-червоний осад 1,5–2,0 %; цегляно-червоний осад > 2,0 %.

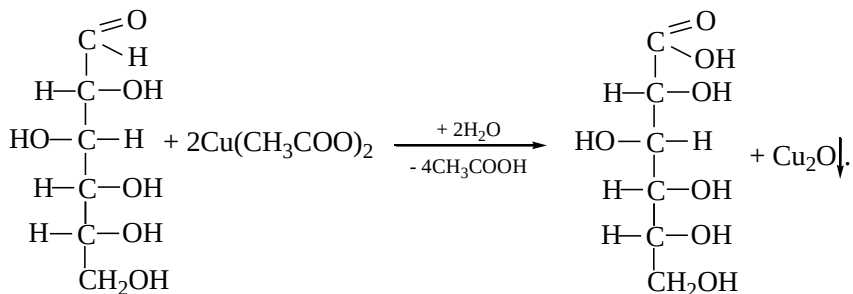
4. Взаємодія моносахаридів з реактивом Толленса (реакція «срібного дзеркала»)

У пробірку наливають 1–2 см³ 2–3 % розчину аргентум нітрату і краплями, до повного розчинення утвореного при цьому осаду, додавають концентрований розчин амонію гідроксиду. Потім до суміші додають 2 см³ 3 % розчину глюкози. Обережно нагрівають. Спостерігають за появою на стінках металічного срібла або випадання чорного осаду срібла:



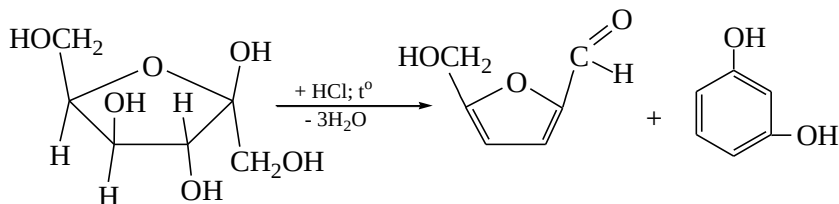
5. Якісна реакція на моносахариди з купрум (II) ацетатом (реакція Барфедда)

До 1 см³ 5 % розчину глюкози додають такий же об'єм реактиву Барфедда (6,7 г купрум (II) ацетату розчиняють в 100 см³ дистильованої води і додають 1 см³ льодяної ацетатної кислоти). Суміш перемішують та нагрівають до кипіння. Спостерігають за утворенням осаду купрум (I) оксиду темно-коричневого кольору:



6. Якісна реакція на фруктозу (реакція Селіванова)

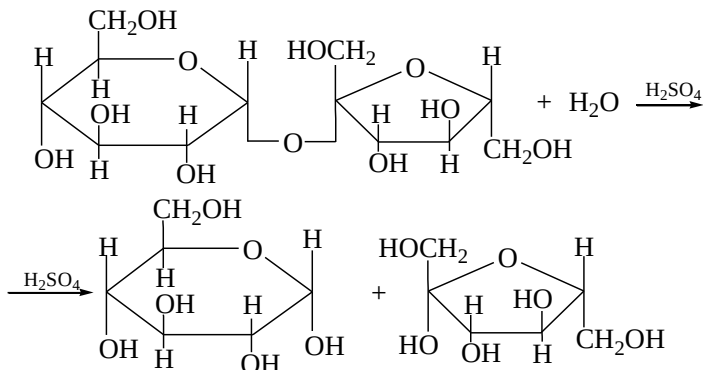
У пробірку вносять декілька кристалів резорцину, 4–5 крапель концентрованої хлоридної кислоти і такий самий об'єм води. До добутого реактиву Селіванова додають 4–5 крапель розчину фруктози. Вміст пробірки нагрівають до кипіння. Суміш поступово забарвлюється в червоний колір. Під час нагрівання фруктози чи інших кетоз із HCl утворюється гідроксиметилфурфурол і резорцин:



Замість резорцину можна використовувати дифеніламін. Реакційна суміш у цьому випадку забарвлюється в синій колір.

7. Інверсія сахарози

У пробірку наливають 2–5 см³ 10 % розчину сахарози, додають 1 см³ 10 % розчину сульфатної кислоти. Суміш перемішують і кип'ятять впродовж 5 хв. Охолоджений гідролізат розділяють на дві частини. У першу пробірку додають 10 % розчин NaOH до виникнення нейтрального середовища (контролюють лакмусовим папірцем). Проводять реакцію Троммера для відкриття глюкози. У другу пробірку додають 2 см³ реактиву Селіванова і відкривають фруктозу:

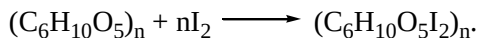


8. Якісна реакція на сахарозу

У пробірку наливають 2 см³ 10 % розчину сахарози, додають 2 см³ 5 % розчину натрію гідроксиду та 1 см³ 2 % розчину сульфату або хлориду кобальту. Вміст пробірки перемішують. З'являється фіолетове забарвлення, характерне для сахарату кобальту. Реакція надзвичайно чутлива і дає позитивний результат, навіть при значному розведенні сахарози.

9. Клейстеризація крохмалю і його якісна реакція з розчином Йоду

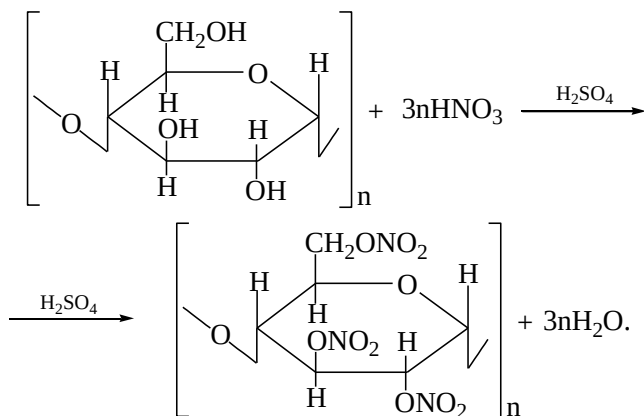
У пробірку наливають 5 см³ холодної води і додають 0,5–1,0 г крохмалю. Він не розчиняється у воді, утворює суспензію – «крохмальне молоко». Суміш виливають у 30–50 см³ окропу. Виникає крохмальний клейстер. Розчин охолоджують. У пробірку наливають 5 см³ крохмального клейстеру, додають декілька крапель розчину I₂ у KI, виникає синє забарвлення. Пробірку нагрівають, забарвлення зникає. Причиною забарвлення вважають утворення молекулярних сполук йоду з амілозою і амілопектином, а також адсорбцію йоду крохмалем. При охолодженні розчину синє забарвлення знову з'являється:



Реакція досить специфічна на крохмаль, оскільки інші полісахариди з йодом дають таке забарвлення: декстрини (продукти часткового гідролізу крохмалю) – червоне, пурпурове або фіолетове; глікоген (тваринний крохмаль) – червоно-буре (іноді з фіолетовим відтінком); целюлоза – жовте або коричневе; інулін – не забарвлюється.

10. Нітрування целюлози

У хімічну склянку вносять 2,5 см³ розчину концентрованої нітратної кислоти, додають 5 см³ концентрованої сульфатної кислоти. Суміш охолоджують до кімнатної температури і опускають в неї на 10 хв невеликий шматочок вати. Суміш періодично перемішують скляною паличкою. Потім вату промивають кілька разів водою в хімічному стакані. Добуту нітроцелюлозу віджимають і висушують.



За допомогою тигельних щипців отриману нітроцелюлозу вносять в полум'я спиртівки, вона миттєво згорає.

11. Розчинення клітковини в аміачному розчині оксиду купруму

У пробірку наливають 5 см³ реактиву Швейцера (амоніачний розчин купрум(II) гідроксиду $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$) і додають шматочок фільтрувального паперу або вати. Під час перемішування одержаної суміші волокна целюлози майже повністю розчиняються, утворюючи в'язку рідину яскраво-синього кольору. Вміст пробірки тоненьким струменем виливають у склянку з теплою водою і додають 3 см³ концентрованої хлоридної або сульфатної кислоти. Утворюються гідратцелюлоза, які можуть бути використані для отримання штучного волокна (штучний або мідно-амоніачний шовк).

12. Виготовлення рослинного пергаменту

У першу склянку наливають концентрований розчин сульфатної кислоти, у другу – дистильовану воду, в третю – 5 % розчин гідроксиду аміаку. В першу склянку вносять невелику смужку фільтрувального

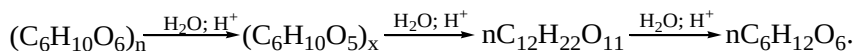
паперу на 10–15 сек, потім промивають в дистильованій воді і нейтралізують у розчині аміаку. Папірець висихає, при цьому з'являється прозорість і блиск. Їх причиною є виникнення при гідролізі клітковини проміжного продукту розщеплення целюлози – амілоїду:



На ділянки паперу, оброблені і не оброблені кислотою, наносять декілька крапель розчину I_2 у KI. Спостерігають за зміною забарвлення.

13. Кислотний гідроліз клітковини

У пробірку наливають 2–3 см³ концентрованої сульфатної кислоти і опускають декілька шматочків фільтрувального паперу, перемішують вміст пробірки скляною паличкою до повного розчинення клітковини. Вміст пробірки виливають у конічну колбу, яка містить 15–30 см³ дистильованої води. Суміш нагрівають. По мірі википання в колбу додають воду. За тривалого кип'ятіння відбувається поступовий гідроліз клітковини:



Через годину кипіння із колби беруть 2–3 см³ гідролізату, нейтралізують розчином лугу і проводять реакцію Троммера. Поява червоного осаду купрум (I) оксиду свідчить про повний гідроліз клітковини до глюкози.

Питання до самоконтролю:

1. Вуглеводи. Визначення, поширення у природі, значення.
2. Класифікація вуглеводів.
3. Напишіть сумарну реакцію фотосинтезу і поясніть її.
4. Охарактеризуйте моносахариди, назвіть їх.
5. Напишіть структурні формули моносахаридів.
6. Які ви знаєте способи одержання моносахаридів. Напишіть рівняння.
7. Хімічні властивості моносахаридів. Назвіть їх.
8. Напишіть реакції окиснення та відновлення моносахаридів.
9. Опишіть хімізм процесів бродіння моносахаридів.
10. Охарактеризуйте та приведіть приклади олігосахаридів.
11. Охарактеризуйте полісахарид, їх функції.
12. Назвіть та наведіть приклади основних гомополісахаридів.
13. Назвіть та наведіть приклади гетерополісахаридів.

3.4. БІЛКОВІ СПОЛУКИ: АМІНОКИСЛОТИ, ПЕПТИДИ, БІЛКИ

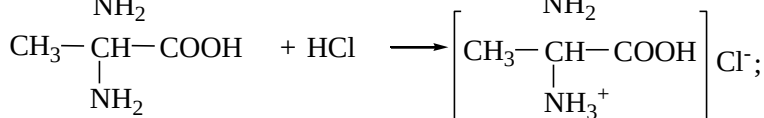
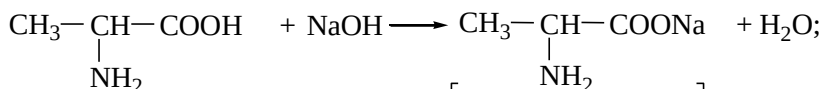
Амінокислоти – похідні карбонових кислот в радикалі яких один або декілька атомів Гідрогену заміщено на аміногрупу $-\text{NH}_2$. На сьогодні відомо понад 200 амінокислот, однак до складу входять лише 20, їх класифікують за різними характеристиками:

- *структурою радикалу* (ациклічні, гетероциклічні – циклічні та ізоциклічні);
- *біологічною повноцінністю* (незамінні – валін, лейцин, ізолейцин, лізин, метіонін, треонін, триптофан, фенілаланін; частково замінні – гістидин, аргінін, замінні – всі інші);
- *реакцією середовища* (кислі, нейтральні, основні);
- *кількістю аміно- та карбоксильних груп* (моноаміномонокарбонові, моноамінодикарбонові, діаміномонокарбонові, діамінодикарбонові);
- *розміщенням аміногрупи* (альфа, бета, гама, сігма тощо).

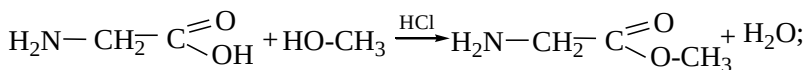
Амінокислоти отримують з природної сировини та синтетичним способом. Частіше за все використовують кислотний, лужний або ферментативний гідроліз. Під час розщеплення білків утворюється суміш амінокислот: білок $\rightarrow$ альбумози $\rightarrow$ пептони $\rightarrow$ поліпептиди $\rightarrow$ олігопептиди $\rightarrow$ дипептиди $\rightarrow$ амінокислоти.

Хімічні властивості амінокислот обумовлено наявністю в структурі їх молекул карбоксильної на амінної групи:

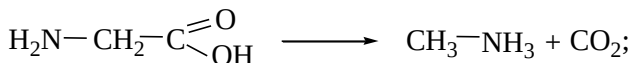
- утворення солей:



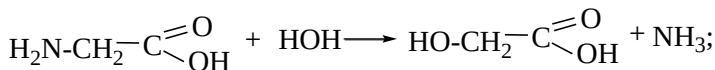
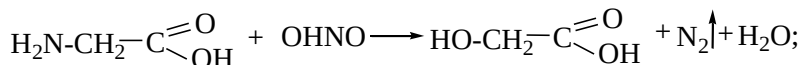
- утворення естерів:



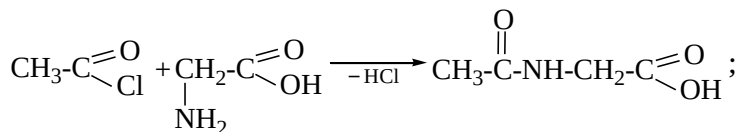
- реакція декарбоксилювання:



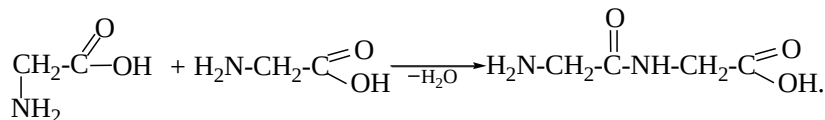
- дезамінування:



- ацилювання амінокислот:



- утворення пептидів:



Пептиди – органічні сполуки, які складаються із залишків амінокислот, що сполучені пептидними (–CO–NH–) зв’язками. Залежно від кількості амінокислотних залишків, які виявляють у складі пептидів їх класифікують на: олігопептиди (до 10 залишків амінокислот) та поліпептиди (більше 10 амінокислотних залишків).

Білки – високомолекулярні сполуки, які утворені α-амінокислотами L-ряду. До складу білків входить 20 амінокислот, два амідні (аспарагін, глутамін) та дві імінокислоти (пролін, оксипролін). У природі існує понад 1000 різних білків, які забезпечують життєдіяльність більше як 2 млн. організмів. Білки ідентифікують за різними ознаками:

- походженням (рослинні, тваринні, мікробіальні, вірусні);
- локалізацією в клітині (ядерні, мембранні, мітохондріальні тощо);
- функціями (структурні, каталітичні, скорочувальні, транспортні, рецепторні, регуляторні, захисні);
- розчинністю (гідрофільні, фідрофобні);

- *бідодоступністю* (повноцінні, неповноцінні);
- *формою* (глобулярні – білки крові, фібрилярні – колаген, еластин, фіброїн);
- *хімічним складом* (прості, складні).

Молекули простих білків (протеїнів) внаслідок гідролізу розщеплюється переважно до α -амінокислот, складних білків (протеїдів) – на простий білок, який в свою чергу, – до α -амінокислот, і простетичну (небілкову) групу. До протеїнів належать:

- *Альбуміни* – добре розчинні у воді та розчинах солей сполуки. Ці сполуки поширені у рослинних і тваринних організмах. До альбумінів належать: міоальбумін (м'язова тканина), лактоальбумін (молоко), овоальбумін (білок яйця), лейкозин (пшениця). Беруть участь у підтримці онкотичного тиску крові, транспортують у крові різні речовини (вітаміни, гормони, іони металів).

- *Глобуліни* – мають кулясту форму, практично не розчинні у воді, але добре розчиняються в розчинах солей та лугів. Їх виявляють у складі тваринних (міоглобін, нейроглобулін, тиреоглобулін, фібриноген) і рослинних (фазеолін, гліцинін, едестин) клітин. Фракція γ -глобуліни – носії імунітету від різних інфекційних захворювань.

- *Гістони* – добре розчинні у воді, легко осаджуються розчином аміаку. Містяться переважно в ядрах клітин людини, тварин, рослин. Значна кількість гістонів виявлена в молоках риби (фракція H1, H2A, H2B, H3, H4).

- *Протаміни* – входять до складу нуклеопротеїдів. Значна їх частина міститься в паренхіматозних органах (селезінка, печінка, нирки, ендокринні залози). До протамінів належать: галін курей, сальмін лосося, клупеїн оселедця, стурін лосося.

- *Проламіни* – рослинні білки, добре розчинні у воді та спирті. До них відносять: гордеїн ячменю, каферин сорго, оризин вівса, гліадин пшениці, зеїн кукурудзи, аверин вівса. У зерні пшениці гліадин разом з глутелінами становлять основу клейковини, що обумовлює хлібопекарські якості борошна.

- *Глутеліни* – рослинні білки, добре розчинні у лугах і кислотах. Містяться в зелених частинах рослин і зерні злаків: глутеїн пшениці, кукурудзи, вівса, оризенин рису).

- *Склеропротеноїди* – не розчиняються у воді, розведених розчинах кислот, лугів і солей. Входять до складу сполучної тканини: колаген, еластин, кератин, фіброїн.

Складні білки класифікують на:

- *Нуклеопротейди* – при гідролізі утворюють прості білки (гістони, протаміни, альбуміни) і нуклеїнові кислоти (ДНК, РНК). Розрізняють дезоксирибонуклеопротейди і рибонуклеопротейди.

- *Ліпопротейди* – при гідролізі розщеплюються до простих білків і ліпідів. Вони є структурною основою біологічних мембран. Незначна кількість ліпопротейдів виявляється в крові.

- *Глікопротейди* – при гідролізі розщеплюються на простий білок і вуглеводи (пептози, гексози, аміноукри, уронові кислоти). До таких білків відносяться білки крові (фібриноген, церулоплазмін, трансферин, імуноглобуліни тощо), білки секретів слизових залоз (муцини), опірних органів і тканин (мукоїди – хондромукоїди, овомукоїди, остеомукоїди), деякі ензими (панкреатична РНК-аза), гормони (тиреотропін, фолітропін, лютропін).

- *Фосфопротейди* – гідролізуються до протеїнів та ортофосфатної кислоти. До цієї групи відносяться пепсин, казеїн, вітелін, іхтулін, фосфорилаза, фосфоглюкомутаза.

- *Хромопротейди* – молекули утворені простим білком та забарвленою простетичною групою. Білкова частина переважно представлена гістонами, а простетична група – різними кольоровими сполукми: порфірином, іонами металів, вітаміном В₂. Наприклад, гемвімісні білки (гемоглобін, міоглобін, каталаза, хлорокруорин), купрумвімісні (гемоціанін, церулоплазмін, лактаза), пігменти фотосинтезу (хлорофіли).

Розрізняють чотири рівні структурної організації білкової молекули:

- *Первинна структура* – довгий поліпептидний ланцюг із чіткою послідовністю залишків амінокислот. Саме вона визначає його біологічну функцію. Заміна однієї єдиної амінокислоти в молекулі даного білка може різко змінити його функцію і призвести до серйозних порушень у роботі всього організму.

- *Вторинна структура* – певна просторова форма, якої набуває поліпептидний ланцюг. Найпоширенішими типами вторинної структури є α -спіраль і β -шар. Альфа-спіраль – щільно скручений

поліпептидний ланцюг, який нагадує пружину. Структура стабілізується внаслідок водневих зв'язків, які виникають між карбоксильними і аміногрупами, що розташовані на сусідніх витках спіралі. Альфа-спіралізовану конформацію має сполучнотканинний білок – кератин. Розтяжність кератину залежить від кількості дисульфідних містків між сусідніми поліпептидними ланцюгами.

Бета-шар – інший тип вторинної структури. Фіброїн (білок шовку) має саме таку структуру. У ній поліпептидні ланцюги розташовані паралельно, але сусідні ланцюги за своїм напрямком розміщені протилежно один одному, тобто є антирівнобіжними. Структура стабілізується також здебільшого водневими зв'язками й називається, в цілому, складчастим шаром.

Третинна структура – поліпептидні ланцюги згортаються в певному порядку, утворюючи глобулу (клубок). Третинна структура підтримується іонними, водневими, дисульфідними зв'язками, при цьому гідрофобні ланцюги сховані всередині молекули, а гідрофільні, навпаки, виставлені назовні.

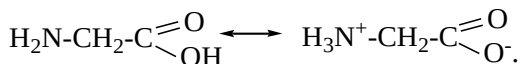
Четвертинна структура – об'єднання двох або більше глобул в єдину складну молекулу. Наприклад, молекула гемоглобіну складається з чотирьох залишків молекул білка міоглобіну. До складу цієї структури можуть входити атоми металів, речовини небілкової природи. Поліпептидні ланцюги утримуються внаслідок гідрофобних взаємодій, за допомогою водневих та іонних зв'язків.

Рівні структурної організації білкової молекули важливі для розуміння її функції. Первинна структура визначає, як складеться білок, а вторинна, третинна та четвертинна структура визначають форму та функцію білка. Зміна будь-якого рівня структури може призвести до порушення функції білка.

Практичні роботи

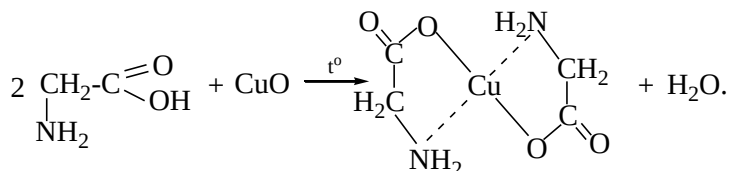
1. Дія амінокислот на індикатори

У пробірку вносять 0,2 г гліцину і додають 3 см³ води. Вміст розділяють на три пробірки. У першу пробірку додають 2 краплі розчину метилоранжу, у другу – стільки саме розчину фенолфталеїну, у третю – розчину лакмусу. Забарвлення індикаторів не змінюється. Це пояснюється тим, що кислотна група – COOH і основна NH₂ взаємно нейтралізуються:



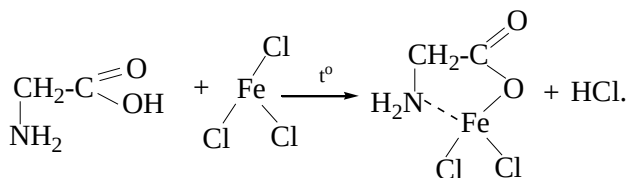
2. Одержання мідної солі гліцину

У пробірку наливають 5 см³ 10 % розчину гліцину і додають 1 г порошку купрум (II) оксиду і кип'ять. З'являється синє забарвлення. Розчин фільтрують у фарфорову чашечку. Випаровують на водяній бані – з'являються блакитні дрібні кристали солі комплексної сполуки купрум (II) гліцинат:



3. Реакція гліцину з ферум (III) хлоридом

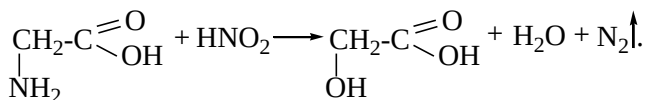
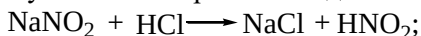
У пробірку вносять 1 см³ водного розчину гліцину, додають 1–2 краплі 1 % розчину ферум (III) хлориду. Суміш нагрівають. Поява червоного забарвлення свідчить про утворення хелатної сполуки:



За додавання мінеральних кислот комплекс руйнується, забарвлення зникає.

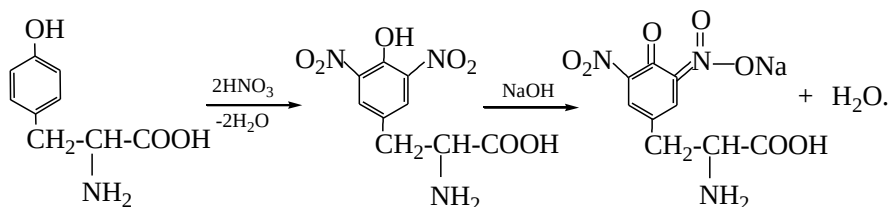
4. Реакція гліцину з нітритною кислотою

У пробірку вносять 5 крапель 1 % розчину гліцину, 5 крапель 5 % розчину натрію нітриту, 2 краплі концентрованої хлоридної кислоти. Суміш обережно перемішують. Спостерігають виділення газу:



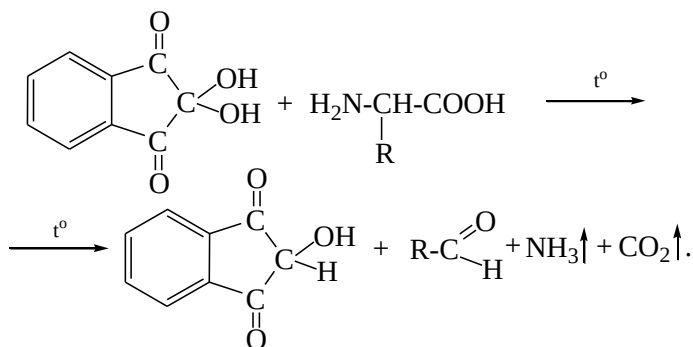
5. Ксантопротеїнова реакція

До 1 см³ досліджуваного розчину додають 0,5 см³ концентрованої HNO₃ і обережно нагрівають. Осад білка, який утворився після додавання кислоти, поступово розчиняється, рідина у пробірці забарвлюється у жовтий колір. Після охолодження обережно додають 1 см³ 30 % розчину NaOH. Жовте забарвлення переходить в помаранчеве:

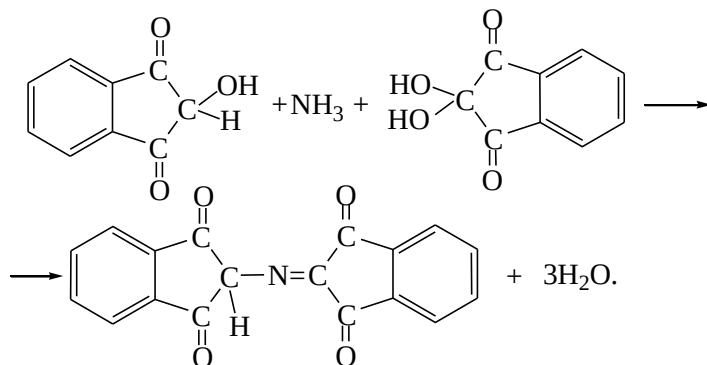


6. Нінгідрінова реакція

В одну пробірку наливають 1 см³ розчину яєчного білка, в другу – 1 см³ розчину желатину. У кожную із пробірок вносять по 0,5 см³ 1 % розчину нінгідрину (трикетогідринденгідрат). Суміш нагрівають до кипіння. За нагрівання α-амінокислоти з нінгідрином він відновлюється, амінокислоти розкладаються на альдегід, аміак, карбон (IV) оксид:

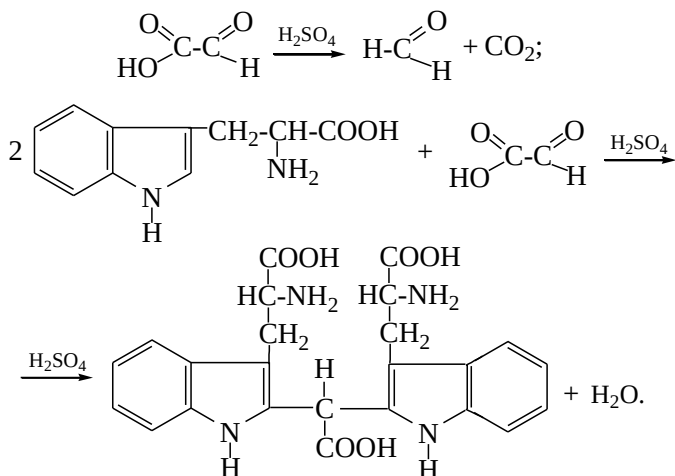


При взаємодії з аміаком, дикетогідроксигідринден конденсується з молекулою нінгідрину, утворюючи сполуку синьо-фіолетового кольору:



7. Реакція на триптофан (реакція Адамкевича)

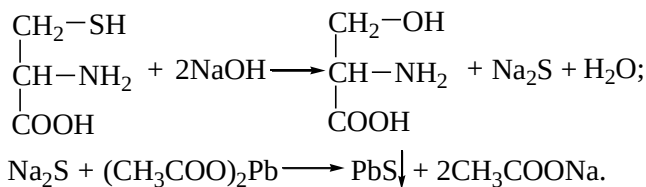
У пробірку вносять 1 см³ 10 % розчину яєчного білка, додають 1 см³ льодяної ацетатної кислоти. Суміш повільно нагрівають до розчинення осаду. Вміст пробірки охолоджують після чого обережно по стінці додають 1 см³ концентрований розчин сульфатної кислоти. Протягом декількох хвилин у пробірці на межі розподілу утворюється червоно-фіолетове кільце. Реакція відбувається у декілька стадій:



8. Реакція на сульфурвмісні амінокислоти (реакція Фоля)

До 1 см³ розчину курячого білка додають 0,5 см³ 30 % розчину натрію гідроксиду і декілька крапель 5 % розчину плюмбуму ацетату.

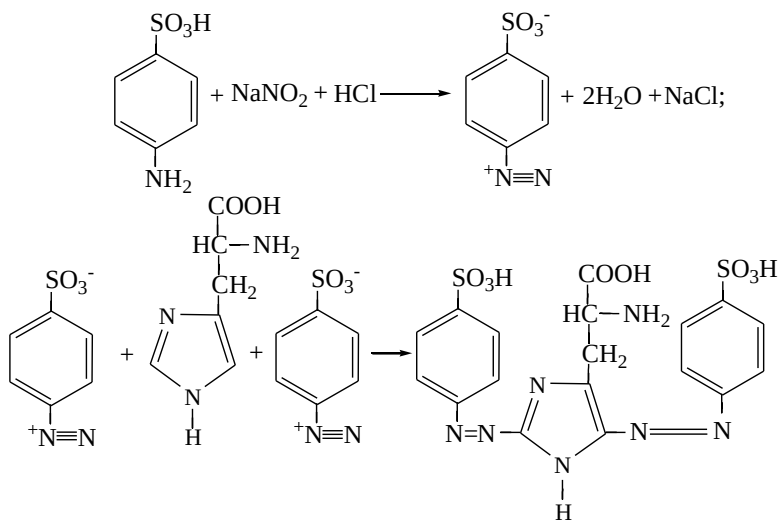
У разі нагрівання рідина у пробірці поступово темніє і випадає чорний осад плумбум сульфід:



9. Реакція на гістидин або тирозин (реакція Паулі)

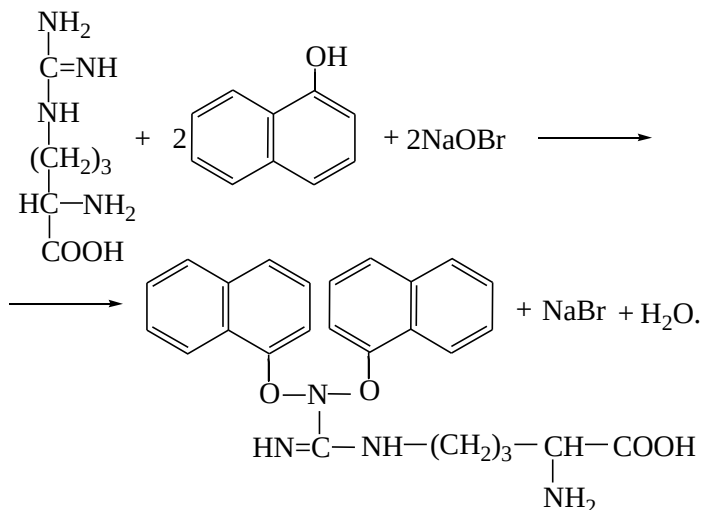
У пробірку вносять 1 см³ 1 % розчину сульфанілової кислоти в 5 % розчин хлоридної кислоти. Потім додають 2 см³ 0,5 % розчину натрій нітриту, інтенсивно струшують і додають 2 см³ 1 % розчину білка. Суміш знову перемішують і швидко додають 6 см³ 10 % розчину натрій карбонату.

Сульфанілова кислота взаємодіючи з натрій нітритом у кислому середовищі утворює діазобензол-сульфонову кислоту, яка в реакції з тирозином або гістидином утворює комплексну сполуку вишнево-червоного кольору:



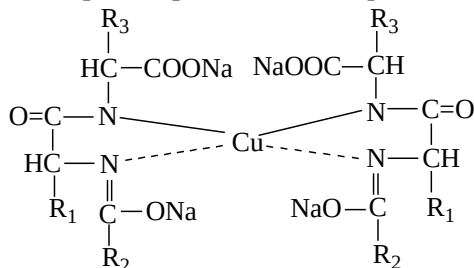
10. Реакція на аргінін (реакція Сакагуші)

До 1 см³ білка додають 10 % розчин натрію гідроксиду, 0,5 см³ 0,1 % розчину α -нафтолу та 0,5 см³ 2 % розчину гіпоброміту натрію. У результаті реакції утворюється продукт конденсації α -нафтолу з аргініном, який має червоний колір:



11. Біуретова реакція (на пептидний зв'язок)

У пробірку наливають 1 см³ розчину білка, додають 0,5 см³ 10 % розчину натрію гідроксиду і декілька крапель 5 % розчину купрум (II) сульфату. Суміш перемішують. Вміст пробірки забарвлюється у синьо-фіолетовий або червоно-фіолетовий колір:



Біуретова реакція дає змогу виявити в молекулах білків пептидні зв'язки (---CO---NH---), за допомогою яких залишки амінокислот

з'єднуються між собою. Білки з іонами Купруму утворюють комплексну сіль.

12. Зсідання білків за кип'ятіння

У пробірку наливають 2–3 см³ розчину білка курячого яйця і нагрівають до кип'ятіння. Спостерігають помутніння розчину і випадання білого осаду, який не розчиняється у воді.

Питання до самоконтролю:

1. Загальна характеристика амінокислот: класифікація, біологічне значення.
2. Напишіть формули замінних, незамінних і частково замінних амінокислот.
3. Напишіть реакції декарбоксилювання лізину, орнітину, триптофану.
4. Характеристика пептидів. Напишіть рівняння хімічної реакції одержання дипептиду з двох молекул гліцину.
5. Загальна характеристика білків: класифікація, біологічне значення.
6. Наведіть приклади кольорових реакцій на білки.
7. Які протеїни входять до складу органів, тканин і клітин тваринного та рослинного організмів. Властивості та біологічне значення.
8. Дайте коротку характеристику протеїдам: властивості, біологічне значення.
9. Особливості структурної організації білкової молекули.
10. Назвіть основних представників хромотпротеїдів. Дайте коротку характеристику.

3.5. ПЕСТИЦИДИ

Щорічно майже половину світових запасів продовольчої сировини з'їдають або знищують мікроорганізми, комахи, гризуни, птахи, бур'яни та інші шкідники. Тому застосування пестицидів широко запроваджено в практику вирощування сільськогосподарських культур.

Пестициди – токсичні сполуки природного або синтетичного походження, призначені для знищення, регуляції та припинення росту і розвитку шкідливих організмів, внаслідок діяльності яких вражаються рослини, тварини, люди. Пестициди використовують для знищення гризунів, бур'янів, деревної, чагарникової рослинності, деяких видів риб. Сфера застосування вказаних сполук надзвичайно широка: рослинництво, тваринництво, медицина, лісове господарство тощо.

На сьогодні відсутня єдина універсальна класифікація пестицидів. Їх розподіляють за різними ознаками.

За об'єктом застосування пестициди класифікують на:

- *інсектициди* – це хімічні препарати для захисту від шкідливих комах і тварин;

- *гербіциди* – це препарати, які призводять до загибелі бур'янів;
- *овіциди* – препарати, які вбивають яйця комах і кліщів;
- *лаврициди* – пестициди проти личинок комах;
- *фунгіциди* – проти збудників грибних захворювань;
- *акарициди* – використовуються для боротьби з кліщами;
- *нематоциди* – засоби, які використовують для боротьби з круглими черв'яками (нематодами);

- *лімациди* – препарати для знищення слимаків;
- *родентециди* – отрути для знищення гризунів;
- *зооциди* – препарати для знищення тварин;
- *авіциди* – використовуються для боротьби з птахами-шкідниками;
- *альгіциди* – проти водоростей і водної рослинності;
- *бактерициди* – проти збудників бактеріальних хвороб рослин;
- *віроциди* – використовуються для боротьби з вірусними захворюваннями;

- *арборициди* – засоби, які допомагають позбутися від дерев'янистої та кущової рослинності;

- *дефоліанти* – отрутохімікати, які прискорюють опадання листя;
- *десиканти* – пестициди, які сприяють висиханню рослин;
- *ретарданти* – препарати, які затримують ріст рослин;
- *дефлоранти* – використовуються для видалення квіток і зав'язі;
- *репеленти* – відлякують шкідливих комах;
- *синергісти* – підсилюють дію інших пестицидів.

За механізмом дії:

- *Селективної дії* – впливають на одні види бур'янів, але при цьому є безпечними для інших, найчастіше культурних видів рослин.

- *Суцільної дії* – знижують всю рослинність.

За токсичністю:

- *особливо токсичні* (DL50 до 50 мг/кг);
- *високотоксичні* (DL50 в межах 50–200 мг/кг);
- *середньо-токсичні* (DL50 в межах 200–1000 мг/кг);

- *малотоксичні* (DL50 – понад 1000 мг/кг).

За стійкістю:

- *дуже стійкі* (період розкладання понад 2 роки);
- *стійкі* (6 місяців – 1 рік);
- *помірно стійкі* (1–6 місяців);
- *малостійкі* (1 місяць).

За характером проникнення до організму:

- *Контактні* – пестициди, які призводять до загибелі шкідливого об'єкта при попаданні на нього.

- *Кишкові* – препарати, які отруюють комаху або тварину після їх поїдання.

- *Системні* – отрутохімікати, які проникають в рослину через судину систему та призводять до загибелі комах, що поїдають її.

- *Фуміганти* – отруюють шкідників газом, який проникає в їх дихальні шляхи.

За хімічним складом пестициди поділяють на:

- *Неорганічні* (сполуки Купруму, Меркурію, Барію, Флуору, Бору, Арсену тощо). Основна перевага таких засобів – висока ефективність, тривалий період захисту.

- *Органічні* (хлорорганічні, фосфорорганічні, синтетичні піретроїди, нітрофеноли, похідні тіо- та дитіокарбамінової кислот, похідні сечовини, нітрофенолів, феніламідів тощо).

- *Біогенні* (створені з продуктів життєдіяльності або самих бактерій, вірусів, грибів – антибіотики, фітонциди, піретрини).

Окрему групу становлять препарати – протруйники насіння. У сучасному асортименті фітофармакологічних засобів використовується багато біологічно активних сполук, серед яких виділяють наступні групи:

- *синтетичні феромони* – речовини, які приваблюють самців комах;

- *репеленти* – препарати, запах і смак яких відлякують комах і тварин;

- *стериланти* – хімічні сполуки різного походження, які при потрапленні в організм комах позбавляють їх здатності до розмноження;

- *гормони* – біологічно активні сполуки, які при потраплянні в організм регулюють його найважливіші функції (регулятори росту, розвитку і розмноження комах);

- *антифіданти* – речовини, які пригнічують живлення комах;
- *гаметоциди* – речовини, що сприяють стерильності рослин, зокрема бур'янів, переважно чоловічого пилку, використовуються у селекції рослин.

Хлорорганічні сполуки (ХОС) – тверді речовини, які не розчиняються або незначно (слабо) розчиняються у воді, добре – в органічних розчинниках, леткі, дуже стійкі сполуки. Вони не руйнуються при кип'ятінні. Установлено, що через 7 років після обробки ґрунту в ньому ще зберігається 29 до 80 % початкової кількості ХОС. Дихлордифенілтрихлорметилметан (ДДТ, дуст) та деякі інші ХОС зберігаються у ґрунті понад 10 років. ДДТ, альдрин, дильдрин заборонені у сільському господарстві.

Харчові продукти, які містять залишки ХОС, не втрачають токсичності навіть після кулінарної обробки. В організм ХОС надходять через рот з їжею і водою, через дихальні шляхи з повітрям, через шкіру при контакті з пестицидами, також проникають через плаценту від матері до дитини.

Хлорорганічні сполуки мають різну хімічну природу:

- хлорпохідні ароматичної природи (гексахлорбензен, пентахлорфенол, гексахлоран, гексабутадієн тощо);
- хлорпохідні дієнної групи (альдрин, дильдрин, ендрин тощо);
- хлорпохідні піренової фракції скипидару (поліхлорпінен, хлортен, поліхлоркамфен тощо);
- хлоровані вуглеводні (хлорекрин, дихлоретан).

Фосфорорганічні сполуки (ФОС) – зазвичай рідкі речовини, в'язкої консистенції, жовтуватого кольору, добре розчиняються в органічних розчинниках, погано – у воді, леткі. Неочищені препарати мають сильний запах часнику. Деякі речовини бувають кристалічними і можуть розчинятись у воді, наприклад хлорофос. Фосфорорганічні сполуки легко піддаються гідролізу, особливо в лужному середовищі. В організм потрапляють через рот, органи дихання, шкіру, слизові оболонки. В основі токсичної дії більшості ФОС лежить їх здатність пригнічувати активність холінестераз і деяких інших ферментів (трипсину, хімотрипсину, естерази печінки).

Усі фосфорорганічні сполуки є естерами фосфатних кислот:

- фосфорної (дихлофос, параоксан);
- тіофосфатної (метафос, метилнітрофос);
- дитіофосфатної (карбофос, рогор);
- фосфонової (хлорофос);
- пірофосфорнової (октаметил).

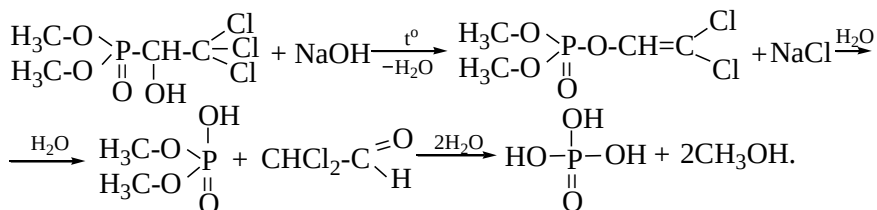
Металовмісні пестициди – велика група органічних та неорганічних сполук Купруму (купрум сульфат, бордонська рідина, купронафт), Феруму (ферум сульфат), Магнію (магнію хлорат), Цинку (фосфід цинку), Алюмінію (фостоксин), органічні сполуки Меркурію (гранозан, агронал, радосан, меркуран, меркулбензол) та Стануму.

Практичні роботи

1. Якісні реакції на хлорофос

а) Реакція з натрій гідроксидом

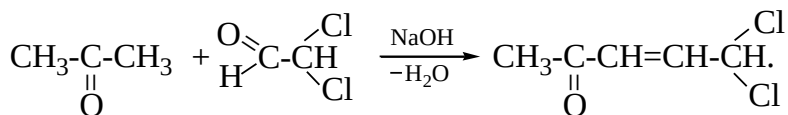
До 1 см³ 5 % розчину хлорофосу, додають 1 % розчин натрію гідроксиду. На холоді розчин жовтіє утворюється дихлорофос (О,О-диметил-О-2,2-дихлорвінілфосфат), який перетворюється на 2,2-дихлорацетальдегід, ортофосфатну кислоту та метанол:



За нагрівання випадає осад коричневого кольору. Осад відфільтровують і до нього додають молібденовий реактив (15 % розчин молібдату амонію змішують з концентрованою нітратною кислотою у співвідношення 11:9), фільтрат забарвлюється в світло-зелений колір, а після кип'ятіння випадає осад жовтого кольору.

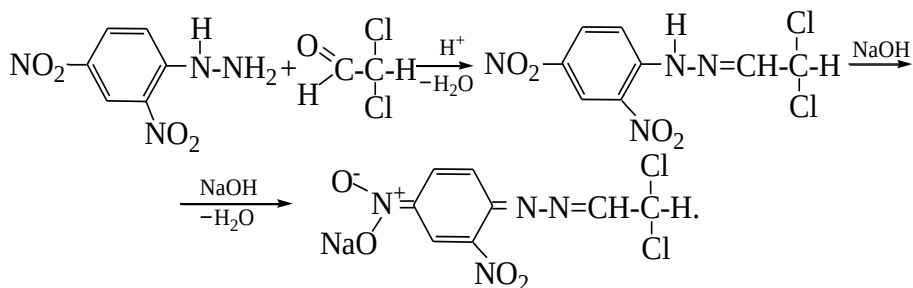
б) Реакція з ацетоном.

До 1 см³ розчину хлорофосу в етанолі додають 1 см³ ацетону і 0,5 см³ 0,5 н спиртового розчину NaOH. Через 5–15 хв спостерігають рожеве забарвлення, яке переходить в помаранчеве:



в) Реакція з 2,4-динітрофенілгідразином

До кількох крапель розчину хлорофосу додають 2 краплі 1 н розчину натрію гідроксиду. Суміш залишають при кімнатній температурі на 20 хв, потім додають 1 краплю 0,1 % розчину 2,4-динітрофенілгідразину в 4 н НСl. Суміш нагрівають впродовж 30 хв, після охолодження додають 1 краплю 4 н розчину NaOH і 0,5 см³ 96 % етанолу. Утворюється гідразон, який у спиртовому розчині набуває синього або синьо-фіолетового забарвлення:



г) Реакція з піридином і натрію гідроксидом (реакція Фуджівара)

До 1 см³ 5 % розчину хлорофосу, доливають 1 см³ розчину піридину і 1 см³ 30 % розчину натрію гідроксиду. Суміш нагрівають впродовж 5 хв. За наявності хлорофосу спостерігають червоне або рожеве забарвлення.

д) Реакція з розчином аргентум нітрату

У пробірку наливають 1 см³ 5 % розчину хлорофосу, доливають такий самий об'єм 1 % натрію гідроксиду. Суміш кип'ятять впродовж 2–3 хв, після охолодження фільтрують. Фільтрат нейтралізувати розведеною нітратною кислотою до слабокислої реакції (реакція індикаторного паперу). Додають 0,5 % розчин AgNO₃ – випадає білий осад.

е) Реакція з резорцином.

У пробірку наливають 1 см³ 5 % розчину хлорофосу, додають 2 краплі 1 % розчину резорцину в 20 % розчині натрію карбонату або 1 % розчині натрію гідроксиду. Через 10 хв спостерігається рожеве забарвлення, а через 15–30 хв – жовто-зелена флуоресценція розчину.

2. Якісна реакція на дихлофос (дихлорофос)

Для виявлення дихлорофосу використовують кольорові реакції з 2,4-динітрофенілгідразином, ацетоном (див. хлорофос).

3. Якісна реакція на карбофос

1 см³ досліджуваного розчину випаровують насухо. До сухого залишку додають 1 см³ 10 % спиртового розчину натрію гідроксиду. Пробірку нагрівають впродовж 10 хв. При цьому відчувають неприємний запах продуктів розкладу карбофосу. Після охолодження пробірки в неї по краплях вносять 25 % розчин сульфатної кислоти до рН 4–5. Потім додають 1 см³ хлороформу і 2 краплі 10 % розчину купрум (II) сульфату. Якщо в досліджуваному розчині міститься карбофос, то хлороформ забарвлюється в зеленувато-жовтий колір.

Питання до самоконтролю:

1. Сучасна класифікація пестицидів.
2. Класифікація пестицидів за їх призначенням.
3. На які групи поділяють пестициди залежно від їх надходження до організму?
4. Поясніть, чому відбувається глобальне забруднення організмів ДДТ та спорідненими органохлорами, і опишіть пов'язаний з цим екологічний збиток.
5. Доцільність використання аттрактантів і репелентів у захисті рослин.
6. Суть класифікації пестицидів за хімічним складом.
7. Охарактеризуйте основні групи хлорорганічних пестицидів за хімічною структурою.
8. Напишіть реакцію хлорування бензолу при ультрафіолетовому освітленні. Назвіть продукти реакції.
9. Охарактеризуйте основні групи фосфорорганічних пестицидів за хімічною структурою.
10. Охарактеризуйте фізико-хімічні властивості хлорофосу і карбофосу.

4. ОСНОВИ БІОГЕОХІМІЇ

4.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЇХ МІГРАЦІЯ ТА КОЛООБІГ – ОСНОВА ЖИВОЇ ТА НЕЖИВОЇ ПРИРОДИ

Нині відомо 118 хімічних елементів (84 зустрічаються у природі, решта 34 – добуті внаслідок ядерних реакцій). Кожний елемент має свою історію відкриття, місце в природі, характеризується кількісною і якісною участю у складі порід, вод, газів, живих організмів. Живі компоненти біосфери складаються з тих самих хімічних елементів, що й неживі. У природі хімічні елементи існують у формі простих і складних речовин. Складні речовини поділяються на органічні та неорганічні. Проте їх роль у біосфері не однакова, тому за значимістю їх розподіляють на групи:

- *Благородні або інертні гази* (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Ra) знайдені у живій речовині.
- *Благородні метали* (Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Ru) майже не утворюють сполук в земній корі.
- *Органогенні елементи* (C, O, H, N, S, P тощо) є основними будівельними блоками органічних сполук.
- *Розсіяні елементи* (Cs, Rb, Sc, Ga, In, Tl, Ge, Hf, Li), зустрічаються в земній корі в дуже малих кількостях. Їх концентрація зазвичай становить менше 0,1 %. Ці елементи не утворюють власних мінералів, зазвичай зустрічаються в домішках інших мінералів.
- *Сильнорадіоактивні елементи* (Po, Fr, Ra, At) випромінюють значну кількість іонізуючого випромінювання.
- *Рідкоземельні елементи* (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) зустрічаються практично у кожній породі земної кори, але найбільшим є їх вміст у лужних породах.

Вміст хімічних елементів у земній корі нерівномірно зменшується в міру зростання їх порядкового номера й атомної маси. З цього випливає, що процес еволюційного розвитку живих організмів проходив у середовищі з переважанням легких хімічних елементів над важкими.

Для характеристики надходження хімічного елементу у живу речовину використовують *коефіцієнт біологічного поглинання (КБП)*:

$$КБП = X \times K_x,$$

де: X – середній вміст хімічних елементів у золі рослин (%); K_x – середній вміст хімічних елементів у літосфері (кларк).

Залежно від значення *КБП* елементи поділяються на:

- *елементи біологічного накопичення* ($КБП > 1$ – P, Br, Cl, I, S, Ca, K, Na, Zn, Mg, B, Se, Sr);
- *елементи біологічного захоплення* ($КБП < 1$ – Fe, Al, Cu, Co, Sn, Pb, Ba, V).

За біологічним значенням елементи класифікують на:

- *абсолютні органогени* (O, H, C, N, Mg, K, P, S;) – без них неможливе існування життя на планеті;
- *спеціальні органогени* (Si, Na, Ca, Fe, Sb, F, Mn, Sr, B, Br, Cu, I, Zn) необхідні певним видам живих організмів;
- *екологічні домішки* – частково споживаються рослинами та можуть накопичуватись;
- *абсолютні домішки* – не споживаються та не накопичуються рослинами.

Біогенні (біотичні) елементи – життєво необхідні сполуки, які входять до складу тканин і виконують певні функції (табл. 14).

Таблиця 14. Загальна характеристика біогенних елементів

Назва елемента	Характеристика	Біологічна дія	Джерело надходження
Макроелементи			
<i>Кальцій (Ca)</i>	Сріблясто-білий м'який метал, легко окиснюється, зустрічається у сполуках вапняку, крейди та мармуру.	Структурний компонент плазми крові, кісток, зубів. Бере участь в роботі ферментних систем, згортанні крові, скороченні м'язів, стабілізації мембран нейронів. Забезпечує ріст і розвиток кореневої системи рослин.	Молочні продукти, зелені листові овочі, горіхи, насіння тощо.
<i>Фосфор (P)</i>	Неметал, у природі	Є постійною складовою живих організмів – рослин і	Ікра риб, яйця,

	зустрічається у вигляді оксидів, апатитів і карбіду.	тварин, міститься в кістках у вигляді фосфату кальцію $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, входить до складу білків, жирів, нуклеїнових кислот та ензимів.	зернові, бобові рослини.
<i>Магній (Mg)</i>	Легкий сріблясто-білий метал. Входить до складу силікатів, хлоридів, карбонатів, сульфатів.	Входить до складу хлорофілу, фітину, каротину, багатьох ензимів, бере участь у біосинтезі ліпідів, білків, нуклеїнових кислот, активує процеси синтезу та гідролізу АТФ, нормалізує роботу серцево-судинної, нервової і травної систем, впливає на обмін К і Са.	Рослинні продукти, пшеничні висівки, овес, курага, чорнослив, водорості.
<i>Натрій (Na)</i>	Лужний сріблясто-білий м'який метал. Виявляється у складі різних сполук: натрію хлорид, натрію сульфат тощо.	Основний позаклітинний іон, підтримує постійний осмотичний тиск біологічних рідин, входить до складу буферних систем, необхідний для синтезу хлоридної кислоти. Бере участь у передачі нервових імпульсів, а також скорочені м'язів.	Кам'яна сіль, консерви, напівфабрикати тощо.
<i>Калій (K)</i>	М'який сріблясто-білий метал. Зустрічається у вигляді калію хлориду, мінералів сильвіну.	Внутрішньоклітинний елемент, входить до складу буферних систем. Антагоніст Натрію, стимулює виділення зайвої води з організму, бере участь у синтезі білка, впливає на процеси фотосинтезу та ріст рослин.	Бобові рослини, риба, овочі, фрукти, горіхи.
<i>Сульфур (S)</i>	Жовта кристалічна речовина. Зустрічається в природі в самородному стані та у вигляді сульфідів важких металів, піриту тощо.	Входить до складу різних біомолекул: білків, пептидів (глутатіон), амінокислот (цистин, цистеїн, лантїонін, метїонін), гормонів (інсулін), деяких вітамінів групи В (тіамін, біотин). Бере участь у синтезі гемоглобіну, проявляє	Яйця, молочні продукти, м'ясо, молоски, риба, капуста, часник,

		антиоксидантну дію. Активує ріст волосся (шерсті), гальмує процеси старіння.	цибуля, бобові рослини.
<i>Хлор (Cl)</i>	Важкий отруйний газ жовто-зеленого кольору з різким запахом. Найпоширенішою природною сполукою хлору є NaCl.	Основний позаклітинний аніон, бере участь у регуляції осмотичного тиску, сприяє депонуванню глікогену, нормалізує артеріальний тиск, входить до складу хлоридної кислоти, активує деякі ензими (амілаза, поліпептидаза).	Кам'яна сіль, консерви, тверді сири, водорості.
Мікроелементи			
<i>Ферум (Fe)</i>	Сріблясто-сірий, пластичний метал. Частіше за все виявляється у складі різних сполук.	Входить до складу гемоглобіну, бере участь у процесах тканинного дихання, входить до складу окисно-відновних ензимів (пероксидаза, каталаза, цитохромоксидаза).	М'ясо, квасоля, печінка, бобові рослини.
<i>Купрум (Cu)</i>	Метал червонувато-золотистого кольору.	Бере участь в процесах росту, кровотворення, входить до складу мієлінової оболонки, посилює дію інсуліну, гормонів гіпофізу, впливає на обмін цукрів і жирів, входить до складу значної кількості ензимів (цитохромоксидаза, тирозиназа, супероксид-дисмутаза, уратоксидаза). У крові молюсків, членистоногих Купрум входить до складу білка гемоціаніну.	Печінка, головний мозок, риба, м'ясо, яйця, молюски, зернові продукти.
<i>Манган (Mn)</i>	У природі представлений в основному оксидами, карбонатами.	Впливає на жировий, білковий, вуглеводний обміни, процесу росту, кровотворення, репродукцію. Необхідний для біосинтезу інсуліну, аскорбінової кислоти. Стимулює утворення холестеролу, жовчних кислот,	Головний мозок, молюски, бобові рослини, горіхи, рис.

		активує дію ензимів, входить до складу хлорофілу, хромопротеїдів (піруватдекарбоксилази, супероксиддисмутази).	
<i>Цинк (Zn)</i>	Крихкий блакитно-сірий метал. Найчастіше зустрічається у вигляді сульфідів.	Регулює обмін нуклеїнових кислот, білків, вуглеводів, жирів. Бере участь в утворенні кісткової та хрящової тканин, входить до складу інсуліну, необхідний для утворення хлоридної кислоти, стимулює процеси засвоєння вітамінів групи В, впливає на процеси розмноження та розвитку.	Ендокринні залози, печінка, моллюски, горіхи, петрушка, шпинат, буряк.
<i>Селен (Se)</i>	Крихкий, неметал сірого кольору.	Бере участь у процесах кровотворення, регулює роботу серцево-судинної системи, антиоксидант, може заміщувати Сульфур у різних органічних сполуках, активує утворення сульфурвмісних амінокислот, проявляє омолоджуючий ефект.	Море-продукти, молоко, яйця, насіння соняшнику, чіа, льону, гарбузу, кунжуту.
<i>Йод (I)</i>	Кристали чорно-сірого кольору з фіолетовим відтінком, неметал має характерний запах.	Входить до складу гормонів щитоподібної залози, впливає на діяльність центральної нервової системи, стимулює процеси росту та розвитку, підвищує імунну резистентність організму.	Водорості, риба, моллюски, устриці, креветки.
<i>Флуор (F)</i>	У природі знаходиться у вигляді флуорумісних мінералів (флюорит, флуоропатит, віліоміт, кріоліт).	Бере участь в утворенні кісткової тканини, формуванні зубної емалі, епідермісу, волосся, нігтів. Впливає на імунну систему організму, регулює роботу ендокринних залоз.	Морська риба, чай, петрушка, питна вода.

Залежно від концентрації біоелементів в організмі їх розподіляють на три категорії:

- *макроелементи* (Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S) їх вміст в організмі коливається від 10^{-2} до 10 %;
- *мікроелементи* (Fe, Zn, F, Sr, Mo, Cu, Br, Si, I, Mn, Al, Pb, B) їх вміст в організмі варіює в діапазоні від 10^{-3} до 10^{-5} %.
- *ультрамікроелементи* (Se, Co, Cr, Au, V, Ni, Ba тощо) вміст в організмі – 10^{-6} – 10^{-12} %.

Міграція хімічних елементів – переміщення атомів хімічних елементів у просторі. Вона може відбуватися в різних середовищах:

- атмосфера (вітер, хмари, опади);
- гідросфера (річки, озера, підземні води, моря, океани);
- літосфера (вивітрювання, ерозія, тектонічні рухи);
- біосфера (фотосинтез, дихання, розкладання органічних речовин).

Розрізняють два типи міграції хімічних елементів:

- *Малий (біологічний) колообіг* – тип міграції відбувається між живими організмами та навколишнім середовищем. Він відносно швидкий.

- *Великий (геохімічний) колообіг* – тип міграції відбувається між біосферою та геосферами Землі. Він відносно повільний.

Колообіг хімічних елементів – повторювані цикли переміщення хімічних елементів між різними середовищами. *Біогеохімічний колообіг* – транспорт і перетворення речовини у навколишньому середовищі за участі живої речовини, пов'язаний з функціонуванням живих організмів, включає два типи обміну речовин:

- *Прижиттєвий* – синтез органічних сполук і формування живих організмів, їх розвиток, полягає у поглинанні хімічних елементів з навколишнього середовища та часткове повернення (відходи життєдіяльності).

- *Посмертний* – включає розклад органічних речовин і повернення хімічних елементів в навколишнє середовище (розклад після смерті).

Таким чином, в будь якій екосистемі і в біосфері в цілому відбувається безперервний постійний колообіг поживних речовин, в якому приймають участь і живий і неживий компоненти.

Найбільше значення для життя мають найпоширеніші в біосфері елементи – Карбон, Оксиген, Гідроген та Нітроген (98 %) – органогени.

Початок колообігу речовин прийнято розглядати з процесів асиміляції та створення продукції біомаси живих організмів. Цей процес супроводжується переходом мінеральних речовин з неорганічного в органічний, тобто в живі організми. На цьому етапі Оксиген, Нітроген, Фосфор, Сульфур використовуються рослинами для створення первинної продукції; Натрій, Кальцій, Калій необхідні для тварин потрапляють з питною водою. Частина Карбону та Оксигену у вигляді діоксиду карбону повертаються в результаті дихання Кальцій, Натрій та Фосфор вимиваються дощем з листків, а також водою з водних організмів і стають знову доступними неорганічними поживними речовинами.

У біосфері маса органічної речовини, яка створюється автотрофами, дорівнює масі органічної речовини, що руйнується гетеротрофами піддається деструкції, яка включає декілька процесів:

- дисиміляція, відбувається в організмах тварин і рослин за їх життя, кінцеві продукти (CO_2 та H_2O) виділяються в довкілля;
- часткове руйнування органічних речовин у процесах травлення, яке відбувається в травних системах тварин за участі мікроорганізмів, продукти неповного розкладання (екскременти) виводяться в довкілля;
- подрібнення рослинних і тваринних решток виконують безхребетні тварини-детритофаги, які населяють ґрунти і водойми, продукти неповного розкладання виводяться у довкілля;
- розклад і мінералізація – здійснюється бактеріями, нижчими грибами, актиноміцетами.

Процеси деструкції більш поширені в біосфері, ніж синтез органічної речовини. Завдяки безперервному виконанню всіх біогеохімічних функцій жива речовина біосфери перетворює мінеральні тіла в біомінеральні і біогенні, забезпечує стійкість свого існування та підтримує геохімічні процеси в стаціонарному стані.

У складі рослин містяться різні органічні сполуки (вуглеводи, ліпіди, білки, нуклеїнові кислоти), утворені органогенними (C, H, O, N) елементами. Розклад і мінералізація целюлози – природний деструкційний процес. Гідролізувати целюлозу здатні лише целюлозолітичні бактерії. В аеробних умовах целюлоза

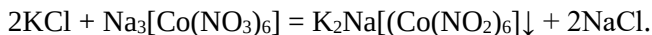
мінералізується до діоксиду та води, в анаеробних – за участі метаногенних бактерій до метану та діоксиду карбону, за водневого бродіння – до водню, діоксиду карбону, масляної та ацетаної кислот.

Мінералізація білків відбувається за участю бактерій та грибів – амоніфікаторів, які виділяють ензими, що розкладають складні молекули до простих. Кінцевими продуктами мінералізації органічних речовин є аміак, діоксид карбону та вода.

Практичні роботи

1. Якісна реакція на катіон K^+

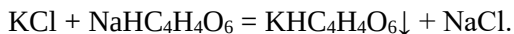
а) До 4–5 крапель концентрованого розчину солі калію (KCl) додають декілька крапель розчину гексанітрокобальтату (III) натрію. Спостерігають утворення кристалічного осаду жовтого кольору $K_2Na[Co(NO_2)_6]$. Якщо осад не утворився, стінки пробірки труть скляною паличкою.



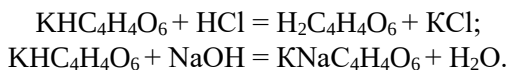
Наявність лугів заважає реакції, оскільки вони розкладають реактив з утворенням темно-бурого осаду $Co(OH)_3$:



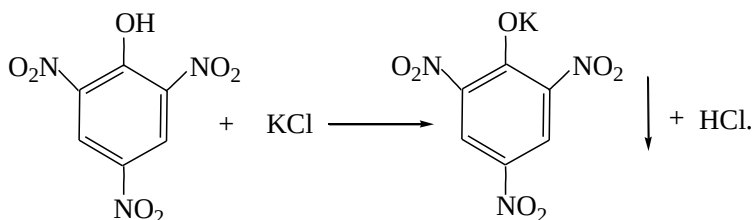
б) До 3–4 крапель розчину солі калію (KCl), додають таку ж кількість розчину натрію гідрентартрату (чи тартратну кислоту в присутності натрію ацетату). Пробірку охолоджують, потирають внутрішні стінки скляною паличкою і спостерігають утворення білого кристалічного осаду $KHC_4H_4O_6$:



За дії концентрованої кислоти або лугу, калій гідрогентартрат розчиняється. Реакції відбуваються за наступними рівняннями:

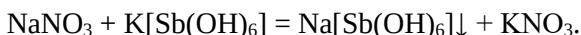


в) До 4–5 крапель розчину солі калію (KCl), додають декілька крапель концентрованого розчину пікринової кислоти. Спостерігають утворення жовтого осаду калію пікрату:

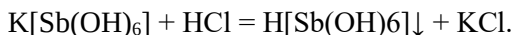


2. Якісна реакція на катіон Na^+

До 4–5 крапель розчину солі натрію (NaNO_3) додають 2–3 краплі розчину гексагідроксистибіату (V) калію. Для прискорення реакції суміш охолоджують (можна під струменем води) і потирають внутрішні стінки пробірки скляною паличкою. Фіксують випадання білого осаду гексагідроксистибіату (V) натрію:



Оптимальне значення рН для проведення реакції – 7,0. В лужному середовищі осад не утворюється, а в кислому – випадає білий аморфний осад гексагідроксистибіатної кислоти:



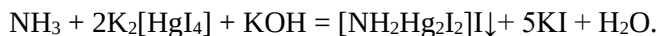
3. Якісні реакції на катіон NH_4^+

а) У пробірку з 4–5 краплями розчину амоній хлориду додають однаковий об'єм розчину калію гідроксиду, суміш нагрівають. За запахом визначають, який газ виділяється:



Вологий індикаторний папірець тримають над пробіркою. Спостерігають за зміною кольору.

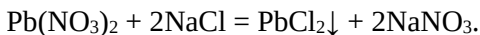
б) У пробірку вносять 1–3 краплі розчину амоній хлориду, додають 2–3 краплі реактиву Неслера ($\text{K}_2[\text{HgI}_4]$). Фіксують появу червоно-бурого осаду:



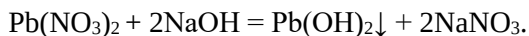
Реакцію можна проводити на фільтрувальному папері. Проведенню реакції заважають Hg^{2+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} .

4. Якісні реакції на катіон Pb^{2+}

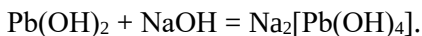
а) До 3–4 крапель розчину солі плюмбуму ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) додають аналогічну кількість концентрованого розчину NaCl , KCl або HCl . Спостерігають утворення білого осаду PbCl_2 :



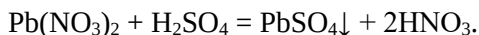
За додавання дистильованої води і нагрівання до кипіння осад розчиняється, при охолодженні плюмбум хлорид випадає в осад у вигляді голкоподібних кристалів. Розчини їдких лугів осаджують іон Pb^{2+} у вигляді плюмбум (II) гідроксиду білого кольору:



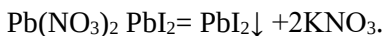
За надлишку лугу плюмбум (II) гідроксид розчиняється з утворенням комплексної сполуки:



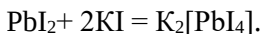
б) До 4–5 крапель солі плюмбуму ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) додають стільки ж крапель розчину сульфатної кислоти. Спостерігають утворення осаду плюмбуму сульфату, який не розчинний в розведеній хлоридній та сульфатній кислотах.



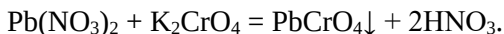
в) До 3–4 крапель солі плюмбуму ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) додають стільки ж крапель розчину калію йодиду. Випадає жовтий осад плюмбуму йодиду:



До суміші додають декілька крапель води та ацетатної кислоти, суміш нагрівають до повного розчинення осаду. За охолодження випадає осад блискучих золотистих кристалів PbI_2 . У надлишку реактиву (KI) осад PbI_2 розчиняється з утворенням комплексної сполуки:

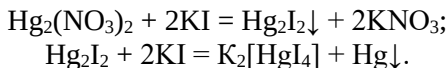


г) До 3–4 крапель солі плюмбуму ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) додають однакову кількість розчину K_2CrO_4 . Спостерігають утворення жовтого осаду PbCrO_4 , який добре розчиняється в їдких лугах, погано в розведеній нітратній кислоті:

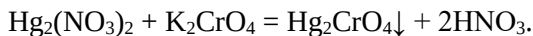


5. Якісні реакції на катіон Hg_2^{2+}

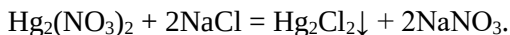
а) До 3–4 крапель розчину солі ртуті (I) ($\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$), додають 1–2 краплі розчину калію йодиду. Спостерігають утворення зеленого осаду Hg_2I_2 , який розчиняється в надлишку KI з утворенням розчинної комплексної сполуки $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ та виділенням чорного осаду Hg :



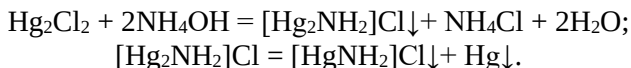
б) До 3–4 крапель розчину солі ртуті (I) ($\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$), додають 1–2 краплі K_2CrO_4 . Спостерігають утворення осаду Hg_2CrO_4 цегляного кольору:



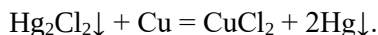
в) До 4–5 крапель розчину солі ртуті (I) ($\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$) в пробірці додають таку ж кількість розчину хлоридної кислоти. В результаті випадає білий осад Hg_2Cl_2 (каломель), який має здатність люмінесцювати оранжево-червоним кольором в ультрафіолетовому світлі:



Ртуті хлорид у розведених кислотах не розчиняється, натомість добре розчинний в амоній гідроксиді з утворенням осаду хлориду димеркурамонію, який розкладається на малорозчинний хлорид меркурамонію білого кольору і металеву ртуть чорного кольору:



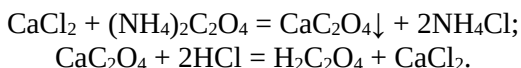
г) На мідну пластину наносять 1–2 краплі розчину солі ртуті (I) і краплю концентрованої нітратної кислоти. Через декілька хвилини пластину протирають фільтрувальним папером і фіксують колір плями (дослід виконується у витяжній шафі):



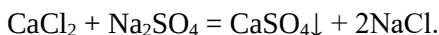
6. Якісні реакції на катіон Ca^{2+}

а) У пробірку вносять 4–5 крапель розчину солі кальцію (CaCl_2), додають 2 краплі розчину ацетатної кислоти і 4–5 крапель амоній оксалату. Випадає білий кристалічний осад CaC_2O_4 , нерозчинний в

ацетатній кислоті (на відміну від оксалатів барію і стронцію) і в розчині амоній гідроксиду, розчиняються у сильних мінеральних кислотах:

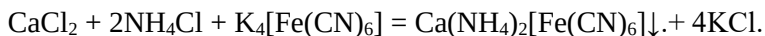


б) До 3–4 крапель розчину солі кальцію (CaCl_2), додають 2–3 краплі розчину натрій сульфату та 3–4 краплі розчину амоній сульфату. Спостерігають утворення осаду кальцій сульфату. Реакцію можна провести мікрокристалоскопічним способом, спостерігаючи під мікроскопом утворення кристалів гіпсу CaSO_4 , які нагадують форму голок:



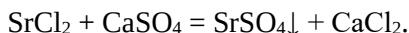
Для збільшення повноти осадження до реакційної суміші добавляють рівну кількість етилового спирту.

в) До 3–5 крапель солі кальцію (CaCl_2), додають однакову кількість розчину амонію хлориду, концентрованого розчину амонію гідроксиду до сильного запаху і 5–7 крапель насиченого розчину гексаціаноферату (II) калію. Суміш нагрівають до кипіння, в результаті чого випадає білий кристалічний осад $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, який не розчиняється в ацетатній кислоті:

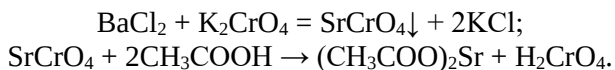


7. Якісні реакції на катіон Sr^{2+}

а) До 3–4 крапель розчину солі стронцію (SrCl_2) додають таку ж кількість насиченого розчину кальцію сульфату. Спостерігають утворення білого кристалічного осаду SrSO_4 :

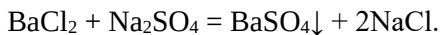


б) До 3–4 крапель розчину солі стронцію (SrCl_2) додають аналогічну кількість розчину K_2CrO_4 . Спостерігають утворення жовтого осаду SrCrO_4 , який добре розчиняється в хлоридній, нітратній кислотах, та на відміну від барію в ацетатній кислоті:

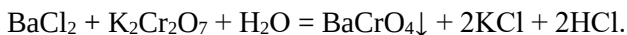


8. Якісні реакції на катіон Ba^{2+}

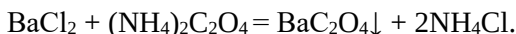
а) До 4–5 крапель розчину солі барію (BaCl_2) додають 1 краплю KMnO_4 , 4–5 крапель Na_2SO_4 , а потім H_2O_2 і HCl до знебарвлення розчину над осадом. Спостерігають за зміною кольору та характером осаду:



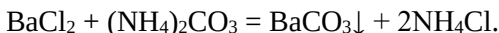
б) До 4–5 крапель розчину солі барію (BaCl_2) додають 3–4 краплі розчину натрію ацетату і таку ж кількість розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Спостерігають утворення жовтого осаду BaCrO_4 , не розчинного в ацетатній кислоті:



в) До 4–5 крапель розчину солі барію (BaCl_2) додають 3–4 краплини розчину амоній оксалату. Спостерігають за утворенням білого осаду BaC_2O_4 :



г) До 3–4 крапель розчину солі барію додають 2–3 краплі розчину амоній карбонату. Випадає білий осад барію карбонату:



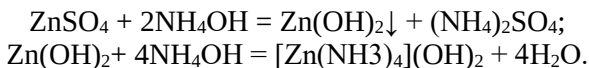
9. Якісні реакції на катіон Zn^{2+}

а) До 4–5 крапель розчину солі цинку (ZnSO_4) додають таку саму кількість розчину жовтої кров'яної солі. Спостерігають утворення білого осаду комплексної сполуки – $\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$:



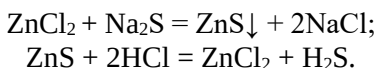
Дана реакція дає змогу відрізнити Zn^{2+} від Al^{3+} .

б) У пробірку вносять 4–5 краплин розчину солі цинку (ZnSO_4), додають аналогічну кількість розчину амоній гідроксиду. Спостерігають утворення білого осаду цинк гідроксиду, який розчиняється в надлишку амоніаку з утворенням комплексної сполуки – $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$:



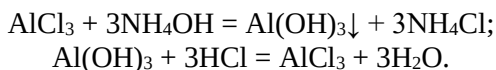
в) До 3–4 крапель розчину солі цинку (ZnCl_2), додають стільки ж краплин розчину натрій сульфід. Спостерігають утворення білого

кристалічного осаду ZnS , нерозчинний в ацетатній кислоті і розчинний у розведеній HCl :

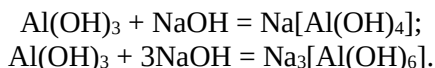


10. Якісні реакції на катіон Al^{3+}

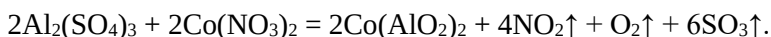
а) У пробірку додають 3–4 краплі розчину солі алюмінію (AlCl_3), і 5–6 крапель концентрованого розчину амоній гідроксиду, суміш нагрівають. Спостерігають утворення білого осаду, розділяють на дві частини. До одної додають розчин хлоридної кислоти, до іншої – розчин натрію гідроксиду. Спостерігають розчинення осаду в обох випадках:



Під час гідролізу алюміній гідроксиду утворюються комплексна сполука змішаного складу:

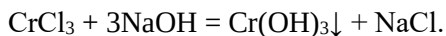


б) У тигель вносять 4–5 крапель розчину солі алюмінію $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, додають однакову кількість розчину кобальт нітрату. Суміш нагрівають і прожарюють до виділення газів. Спостерігають утворення синього кольору $\text{Co}(\text{AlO}_2)_2$ – «тенарова синь».

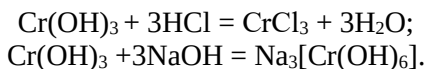


11. Якісні реакції на катіон Cr^{3+} та Cr^{6+}

а) До 3–4 крапель розчину солі хрому (CrCl_3) додають декілька крапель лугу до випадання осаду сіро-зеленого кольору:

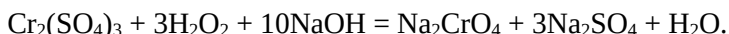


Суміш розділяють на дві частини. Досліджують розчинність осаду $\text{Cr}(\text{OH})_3$ за додавання хлоридної кислоти та надлишку лугу:

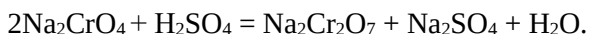


б) До 4–5 крапель розчину солі хрому ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$), додають розчин лугу до розчинення осаду $\text{Cr}(\text{OH})_3$. В суміш вносять декілька крапель

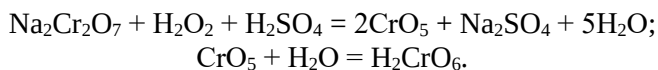
3 % розчину гідроген пероксиду, нагрівають спостерігають утворення CrO_4^{2-} жовтого кольору:



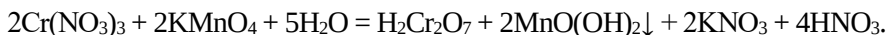
Після охолодження пробірки додають розведену сульфатну кислоту до переходу жовтого забарвлення в помаранчеве:



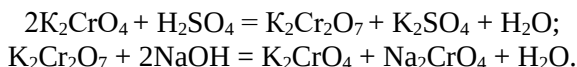
У другій пробірці готують суміш із рівних об'ємів розведеного розчину сульфатної кислоти, органічного розчинника (аміловий спирт, діетиловий етер, етилацетат тощо) та 3 % розчину гідроген пероксиду. До отриманої суміші додають розчин $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, отриманий у попередній реакції. Спостерігають синє забарвлення органічного шару, обумовлене утворенням пероксиду хрому CrO_5 або надхромової кислоти H_2CrO_6 :



в) До 4–5 крапель розчину солі хрому ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ або $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$), додають 3–4 краплі розчину сульфатної кислоти та декілька крапель розчину калій перманганату, суміш нагрівають впродовж 5 хв. Спостерігають знебарвлення перманганату, та появу помаранчевого забарвлення, притаманного для дихромату. За подальшого додавання KMnO_4 випадає бурий осад $\text{MnO}(\text{OH})_2$:



г) До 4–5 крапель розчину солі хрому (K_2CrO_4), додають розчин сульфатної кислоти. Жовте забарвлення змінюється на помаранчеве. За додавання води і декількох крапель лугу колір знову відновлюється до жовтого:

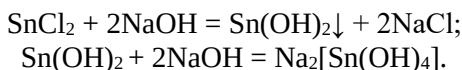


д) Петлю з сталюого дроту розжарюють на пальнику і доторкуються нею до кристалів натрію тетраборат ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$) або натрію гідрофосфату ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 12\text{H}_2\text{O}$). Кристали прожарюють у петлі доти, поки не утвориться прозорий склоподібний сплав, який

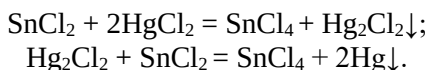
змочують розчином солей хрому (III) і знову дротинку прожарюють, поки сплав не стане прозорим. За наявності сполук хрому (III) перли забарвлюються в смарагдово-зелений колір.

12. Якісні реакції на катіони Sn^{2+} та Sn^{4+}

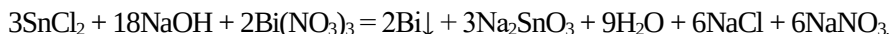
а) До 3–4 крапель солі стануму (II) (SnCl_2), додають краплями розчин натрію гідроксиду. Спостерігають утворення білого осаду Sn(OH)_2 , за надлишку реактиву утворюється гідроксокомплекс $\text{Na}_2[\text{Sn(OH)}_4]$, осад розчиняється:



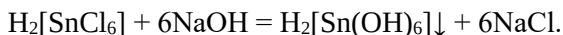
б) У пробірку поміщають 4–5 краплини розчину солі стануму (II) (SnCl_2), додають 1–2 краплі розчину HgCl_2 . В результаті випадає чорний осад Hg :



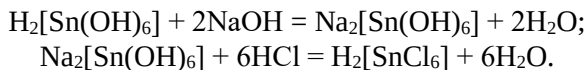
в) До 4–5 крапель розчину солі стануму (II) (SnCl_2), приливають надлишок натрію гідроксиду і додають 1–2 краплі розчину $\text{Bi(NO}_3)_3$. Спостерігають випадання чорного осаду Bi :



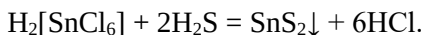
г) До 3–4 крапель розчину солі стануму (IV) ($\text{H}_2[\text{SnCl}_6]$), приливають однакову кількість натрію гідроксиду, випадає білий осад:



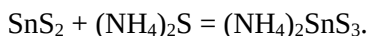
Осад розчинний у надлишку луку. В кислотах осад розчиняється з утворенням комплексної солі $\text{H}_2[\text{SnCl}_6]$:



д) При пропусканні H_2S через розчин солі стануму (IV) ($\text{H}_2[\text{SnCl}_6]$), які підкислені хлоридною кислотою утворюється жовтий осад SnS_2 :

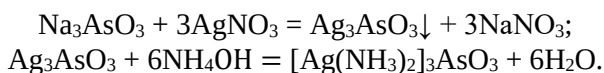


Осад добре розчинний в концентрованій HCl . На відміну від Sn^{+2} осад SnS_2 розчинний у розчині $(\text{NH}_4)_2\text{S}$:

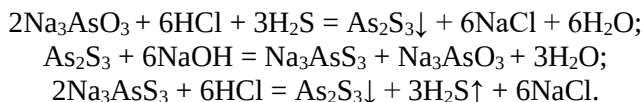


13. Якісні реакції на катіони As^{3+} та As^{5+} (Солі арсену отруйні!)

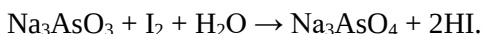
а) До 4–5 крапель розчину Na_3AsO_3 (або Na_3AsO_4) додають 2–3 краплі розчину AgNO_3 . В результаті випадає осад Ag_3AsO_3 жовтого кольору (при використанні Na_3AsO_3) або Ag_3AsO_4 темно коричневого кольору (при використанні Na_3AsO_4). Осад розчинний в нітратній, ацетатній кислотах, а також в амоній гідроксиді:



б) До 3–4 крапель розчину Na_3AsO_3 додають 2–3 краплі хлоридної кислоти через суміш пропускають водень сульфід, випадає осад жовтого кольору, який розчинний в натрій гідроксиді. Якщо додати розчин хлоридної кислоти осад знову утворюється:



в) До 2–3 крапель розчину Na_3AsO_3 додають трішки кристалічного NaHCO_3 , після розчинення вносять 1 краплю розчину йоду. Спостерігають знебарвлення йоду. Реакцію проводять у слаболужному середовищі:

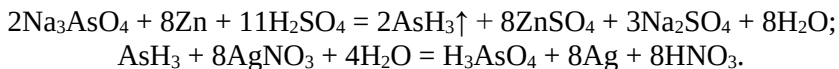


За надлишку луку знебарвлення розчину I_2 спостерігається навіть за відсутності іонів арсену:

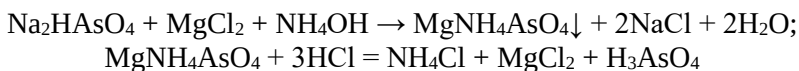


г) У пробірку вносять 1 cm^3 розчину сульфатної або хлоридної кислоти, додають 1 гранулу металічного цинку та 3–4 краплі розчину Na_3AsO_4 . У верхню частину пробірки вставляють ватний тампон, просочений розчином $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (для зв'язування можливих домішок H_2S і утворення чорного PbS). Зверху пробірку закривають фільтрувальним папером, змоченим розчином AgNO_3 . При взаємодії

газоподібного арсину AsH_3 смужка паперу чорніє внаслідок виділення металічного срібла (*дослід проводять у витяжній шафі*):

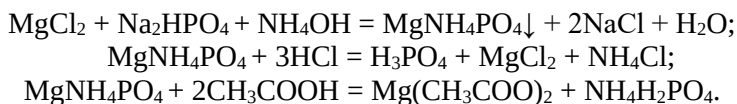


д) До 2 крапель MgCl_2 додають однакову кількість NH_4Cl і краплю розчину NH_4OH . Магnezіальну суміш перемішують і додають дві краплі розчину Na_3AsO_4 , спостерігають утворення білого осаду $\text{MgNH}_4\text{AsO}_4$, який розчиняється в хлоридній кислоті:

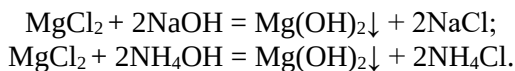


14. Якісні реакції на катіон Mg^{2+}

а) До 4–5 крапель розчину солі магнію (MgCl_2), додають по одній краплі розчину амонію хлориду, 2–3 розчин амонію гідроксиду і 4–5 крапель розчину Na_2HPO_4 . Спостерігають утворення кристалічного осаду подвійної солі MgNH_4PO_4 білого кольору, яка добре розчинна в мінеральних та ацетатній кислотах:

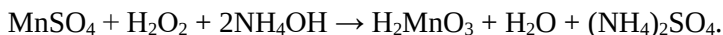


б) В дві пробірки вносять по 5–6 крапель розчину солі магнію (MgCl_2). У першу краплям вносять розчин натрію гідроксиду, у другу – розчин амонію гідроксиду до утворення білого аморфного осаду:



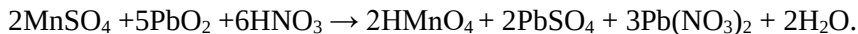
15. Якісні реакції на катіон Mn^{2+}

а) До 1–2 крапель розчину солі мангану (II) (MnSO_4), додають 4–5 крапель розчину амоній гідроксиду, 5–7 крапель 3 % розчину пероксиду водню, суміш нагрівають до кипіння. Спостерігають утворення осаду манганатної (IV) кислоти (H_2MnO_3):

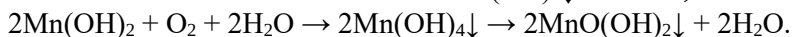
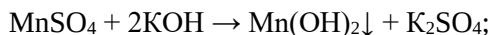


б) До 2–3 крапель розчину солі мангану (II) (MnSO_4), додають 4–5 крапель концентрованого розчину нітратної кислоти, ретельно

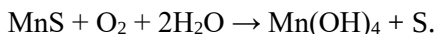
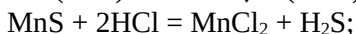
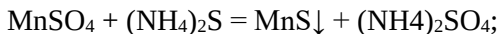
перемішують, вносять невелику кількість PbO_2 , суміш обережно нагрівають до кипіння, весь час обережно струшуючи пробірку. Спостерігають забарвлення розчину в малиновий колір:



в) До 1–2 крапель розчину солі мангану (II) (MnSO_4), додають 4–5 крапель розчину калію гідроксиду. Спочатку випадає білий осад $\text{Mn}(\text{OH})_2$, який потім окиснюється киснем повітря до $\text{MnO}(\text{OH})_2$, що має коричневий колір:

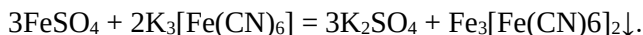


г) До 3–4 крапель розчину солі мангану (II) (MnSO_4), додають декілька крапель амонію гідроксиду (до лужної реакції з pH 9) та 1–2 краплі розчину $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. Утворюється манган сульфід персикового кольору. Осад розчиняється в мінеральних кислотах і темніє на повітрі в наслідок окиснення:

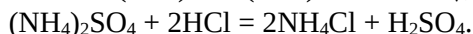
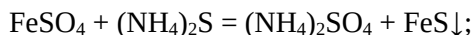


16. Якісні реакції на катіон Fe^{2+}

а) До 4–5 крапель розчину солі феруму (II) (FeSO_4), додають 1–2 краплі хлоридної кислоти, 2–3 краплі розчину $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Спостерігають утворення синього осаду «турнбулевої сині»:

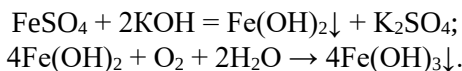


б) До 3–4 крапель розчину солі феруму (II) (FeSO_4), додають 2–3 краплі розчину амонію сульфіді. Спостерігають утворення чорного осаду FeS . Осад розчинний у мінеральних кислотах:



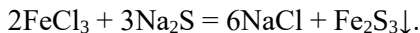
г) До 4–5 крапель розчину солі феруму (II) (FeSO_4), додають однакову кількість дистильованої води і 3–4 краплі розчину луку.

Утворюється зелений осад $\text{Fe}(\text{OH})_2$, який не розчиняється в лугах, але буріє на повітрі через окиснення киснем до $\text{Fe}(\text{OH})_3$:

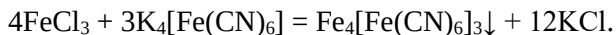


17. Якісні реакції на катіон Fe^{3+}

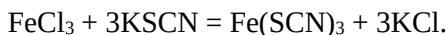
а) До 4–5 крапель розчину солі феруму (III) (FeCl_3), додають однакову кількість дистильованої води і 3–4 краплі розчину Na_2S . В результаті утворюється чорний осад Fe_2S_3 , який розчиняється в мінеральних кислотах. Осадження здійснюють в нейтральних та слабокислих середовищах:



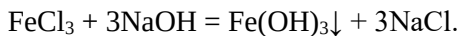
б) До 3–4 крапель розчину солі феруму (III) (FeCl_3), додають 1–2 краплі HCl та 2–3 краплі розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Спостерігають утворення осаду темно-синього кольору «берлінської блакиті»:



в) До 4–5 крапель розчину солі феруму(III) (FeCl_3), додають 2–3 краплі хлоридної кислоти і 3–4 крапель розчину KSCN або NH_4SCN . В результаті реакції утворюється $\text{Fe}(\text{SCN})_3$, розчин забарвлюється в криваво-червоний колір:



г) До 4–5 крапель розчину солі феруму (III) (FeCl_3), додають аналогічну кількість дистильованої води і 3–4 краплі розчину лугу. Спостерігають утворення осаду ферум гідроксиду коричневого кольору, який нерозчинний в лугах:

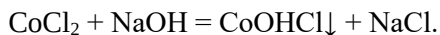


18. Якісні реакції на катіон Co^{2+}

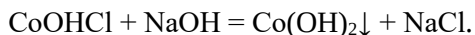
а) До 4–5 крапель розчину солі кобальту (II) CoCl_2 , додають декілька кристаликів сухої солі або 3–5 крапель насиченого розчину NH_4SCN (або KSCN) і 6–10 крапель суміші амілового спирту і етеру (1:1). Після збовтування та відстоювання, верхній неводний шар забарвлюється у синій колір, утворюється комплексна сполука:



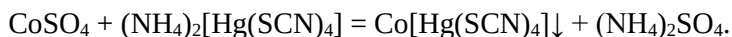
б) До 4–5 крапель розчину солі кобальту (II) (CoCl_2), додають однакову кількість натрій гідроксиду. Спостерігають утворення синього осаду гідроксохлориду кобальту (II):



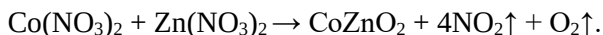
При подальшому додаванні лугу і нагрівання утворений осад перетворюється в кобальтат (II) гідроксид рожевого кольору:



в) До 4–5 крапель розчину солі кобальту (CoSO_4), додають краплю розчину цинку сульфату і 2–3 краплі розчину $(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$, випадає синій осад:



г) В тигель вносять 3–4 краплі розчину солі кобальту (II) ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2$), додають однакову кількість розчину $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. Суміш випаровують і прожарюють до виділення газів. Спостерігають утворення цинкату кобальту зеленого кольору «зелень Рінмана»:

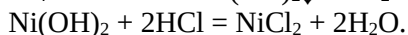
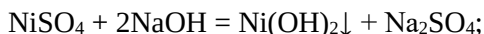


19. Якісні реакції на катіон Ni^{2+}

а) До 3–4 крапель розчину солі ніколу (II) (NiSO_4), додають однакову кількість розчину амоній гідроксиду. Спочатку випадає зелений осад основної солі ($\text{Ni}(\text{OH})_2$), добре розчинної в надлишку реактиву з утворенням комплексної сполуки $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$ синьо-червоного кольору:

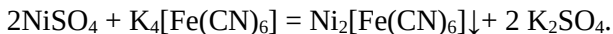


б) До 2–3 крапель солі ніколу (II) (NiSO_4), додають декілька крапель розчину натрій гідроксиду, утворюється осад ніколу (II) гідроксиду зеленого кольору. Осад добре розчинний у розчинах мінеральних кислот:



в) До 3–4 крапель солі ніколу (II) (NiSO_4), додають декілька крапель розчину гексаціаноферату (II) калію. Спостерігають

утворення комплексної сполуки $\text{Ni}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ світло-зеленого кольору. Осад не розчиняється в розведених кислотах, але добре розчинний в надлишку амоній гідроксиду:



20. Якісні реакції на катіон Cu^{2+}

а) До 4–5 крапель розчину солі купруму (CuSO_4), додають 3–4 краплі концентрованого розчину амоній гідроксиду. Спостерігають утворення осаду купруму гідроксиду блакитного кольору:



Осад добре розчинний в надлишку реактиву з утворенням комплексної сполуки $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ інтенсивного синього кольору.

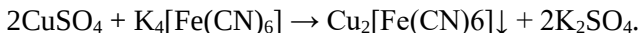
За додавання декількох крапель розчину нітратної кислоти, комплекс руйнується розчин набуває блакитного кольору:



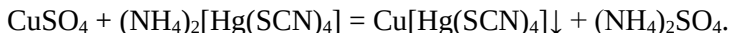
б) До 2–3 крапель розчину солі купруму (CuSO_4), додають 3–4 розчинну KI . В результаті утворюється бурий осад купрум йодиду та вивільняється вільний йод. Останній ідентифікують за допомогою крохмалю, який забарвлюється в синій колір:



в) До 3–4 крапель розчину солі купруму (CuSO_4), додають 2–3 краплі розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. В результаті реакції утворюється комплексна сполука $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ червоно-коричневого кольору. Осад не розчинний в розбавлених кислотах:



г) До 4–5 крапель купрум сульфату додають 2–3 краплі розчину $(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$, утворюється світло-зелений осад комплексної сполуки:

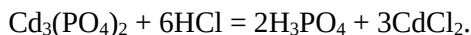
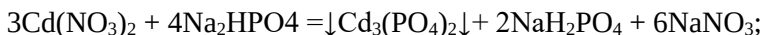


21. Якісні реакції на катіон Cd^{2+}

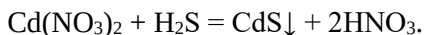
а) До 4–5 крапель солі кадмію (CdSO_4) додати 1–2 краплі амоній гідроксиду до утворення осаду білого кольору кадмію гідроксиду, який розчиняється у надлишку реактиву з утворенням безкольорового аміачного комплексу $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$:



б) До 4–5 крапель солі кадмію ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$), додати декілька крапель розчину Na_2HPO_4 до утворення білого осаду $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$. Осад розчинний в ацетатній та мінеральних кислотах:

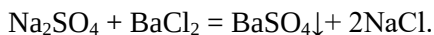


в) До 2–3 крапель солі кадмію ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$), додати 4–5 крапель розчину Na_2S . Спостерігають утворення жовтого осаду кадмію сульфат:

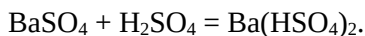


22. Якісні реакції на аніони SO_4^{2-}

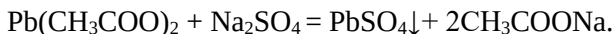
а) До 2–4 крапель розчину сульфат-іону (Na_2SO_4), додають одну краплю розбавленої хлоридної кислоти та 2–3 краплі розчину BaCl_2 . В результаті реакції утворюється білий осад барію сульфату:



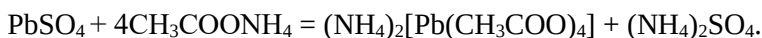
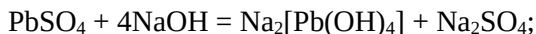
Осад не розчинний в мінеральних кислотах за виключанням сульфатної кислоти, в якій він частково розчинний з утворенням барію гідросульфат:



б) До 3–4 крапель розчину сульфат-іону додають 2–3 краплі розчину $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ або $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. Спостерігають утворення білого кристалічного осаду PbSO_4 .

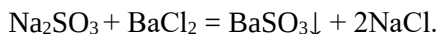


Осад практично не розчинний в мінеральних кислотах, проте добре розчинний за нагрівання в концентрованих лугах та амоній ацетаті з утворенням комплексних сполук:



23. Якісні реакції на аніони SO_3^{2-}

а) До 2–4 крапель розчину сульфат-іону (Na_2SO_3), додають 2–3 краплі розчину барію хлориду. Спостерігають утворення білого осаду барію сульфату:



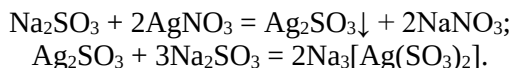
За додавання розведеної HCl і HNO_3 осад розчиняється з виділенням газоподібного SO_2 :



б) До 4–5 крапель розчину сульфат-іону (Na_2SO_3), додають стільки ж крапель розчину хлоридної чи сульфатної кислот, пробірку з сумішшю струшують. Поступово виділяється сульфур діоксид, який відчують за характерним запахом:



в) До 2–3 крапель розчину сульфат-іону (Na_2SO_3), додають декілька крапель Аргентуму (I) нітрату, утворюється білий осад Ag_2SO_3 . Осад розчиняється у надлишку розчину натрію сульфіту:



г) До 2–3 крапель розчину Na_2SO_3 додають таку ж кількість сульфатної кислоти і по краплям – сильно розведений розчин (світло-рожевого кольору) калію перманганату. Розчин знебарвлюється:



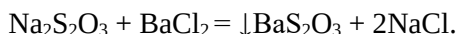
д) До 2–3 крапель розчину натрію сульфіту додають розчин ацетатної кислоти до нейтралізації (за лакмусовим папірцем). Потім додають розведений розчин йоду (блідо-жовтого кольору), який знебарвлюється:



24. Якісні реакції на аніони $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

а) До 2–3 крапель розчину тиосульфат-іону ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), додають однакову кількість розчину барію хлорид. Утворюється білий осад тиосульфату барію.

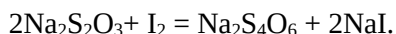
Для прискорення реакції можна потерти внутрішню стінку пробірки скляною паличкою:



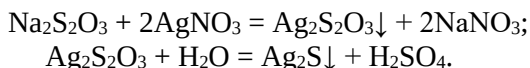
б) До 3–4 крапель розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ додають однакову кількість розчину розведеної хлоридної кислоти. Розчин каламутніє через виділення елементної сірки, відчувається характерний запах SO_2 :



в) До декількох розведеного розчину йоду, що має жовте забарвлення, додають по краплях розчин натрію тіосульфату. Розчин йоду знебарвлюється:



г) До 2–3 крапель розчину натрію тіосульфату, додають таку ж кількість розчину аргентуму нітрат. Суміш обережно нагрівають, утворюється осад $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$, який поступово переходить в Ag_2S . Осад швидко змінює колір від жовтого до чорного:



Осад аргентуму сульфід добре розчиняється за нагрівання в розведений нітратній кислоті:

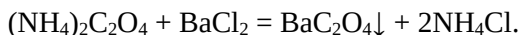


д) До 4–5 крапель розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ додають декілька крапель розчину ферум (III) хлориду, суміш спочатку забарвлюється в темно-фіолетовий колір, через деякий розчин знебарвлюється внаслідок відновлення ферум (III) до ферум (II), а тіосульфат окиснюється до тетратіонату:

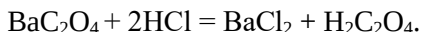


25. Якісні реакції на аніони $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$

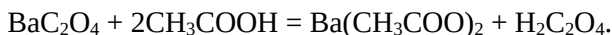
а) У дві пробірки вносять по 2–3 краплі розчину амонію оксалату $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ і додають декілька крапель розчину барію хлориду до утворення осаду білого кольору:



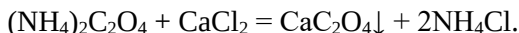
Далі в одну пробірку додають по краплям при перемішуванні розчин хлоридної кислоти до повного розчинення осаду:



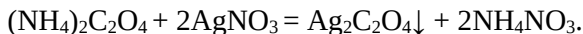
В іншу пробірку додають 5–7 крапель розчину ацетатної кислоти. Суміш обережно нагрівають до кипіння, спостерігаємо розчинення осаду:



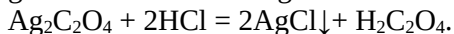
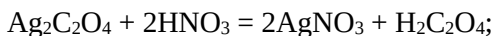
Аналогічно протікає реакція оксалат-іонів з катіонами кальцію з утворенням білого осаду CaC_2O_4 , що розчиняється в мінеральних кислотах, але не розчиняється в ацетатній кислоті:



б) У три пробірки вносять по 2–3 краплі розчину $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, додають таку ж кількість розчину AgNO_3 . У кожній пробірці випадає білий осад аргентуму (I) оксалату:



Осад розчинний в мінеральних кислотах:

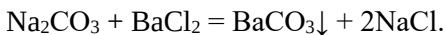


в) До 2–3 крапель розчину амонію оксалату, додають 3–4 краплі розчину сульфатної кислоти, суміш нагрівають до 70–80 °С, далі по краплям вносять розведений розчин калію перманганат. Останній знебарвлюється; спостерігається виділення CO_2 :



26. Якісні реакції на аніони CO_3^{2-}

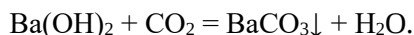
а) У пробірку вносять 2–3 краплі розчину натрію карбонату Na_2CO_3 і додають однакову кількість розчину барію хлориду. Випадає білий осад білий дрібнокристалічний осад BaCO_3 :



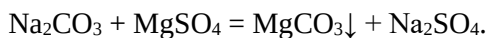
До осаду повільно, по краплях додають розчин хлоридної кислоти до повного розчинення осаду:



Діоксид карбону виявляють за помутнінням баритової чи вапняної води, тобто насичених водних розчинів $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



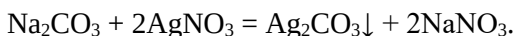
б) До 3–5 крапель розчину Na_2CO_3 і додають стільки ж краплин насиченого розчину MgSO_4 . Випадає білий осад магнію карбонату:



Осад розчинний у кислотах:

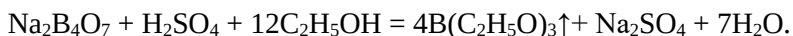


в) До 3–4 крапель розчину Na_2CO_3 додають декілька крапель розчину AgNO_3 , спостерігають утворення білого осаду Ag_2CO_3 , який розчинний у кислотах, окрім HCl :



27. Якісні реакції на аніони $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$

а) У фарфоровий тигель поміщають 6–10 краплин розчину борат-іонів ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), випаровують досуха й охолоджують. До сухого залишку приливають при перемішуванні скляною паличкою кілька краплин концентрованої сульфатної кислоти (обережно!), а потім 4–5 краплин етанолу чи метанолу. Суміш перемішують і запалюють. Спостерігають зелений колір полум'я, характерний для горіння естеру:

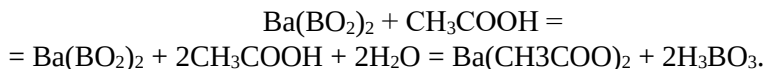


б) До 3–4 крапель розчину борат-іонів ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), додають по краплях розчин барію хлориду до утворення білого осаду барію метаборату $\text{Ba}(\text{BO}_2)_2$:

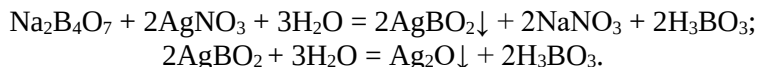


Осад розчиняється в нітратній та ацетатній кислотах:

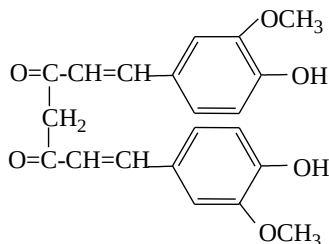




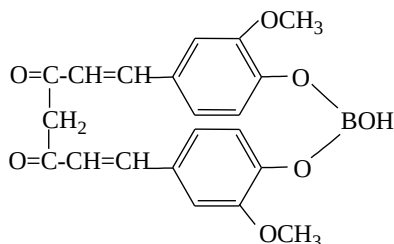
з) До 3–4 крапель розчину борат-іонів ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), додають декілька крапель розчину AgNO_3 . В дуже розведених розчинах на холоді випадає білий осад аргентуму метаборату, в концентрованих за нагрівання – коричневий осад аргентуму оксиду:



д) До 4–6 краплин розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, додають 2–3 краплі розчину хлоридної кислоти. У цей розчин занурюють висушений куркумовий папір, витримують біля однієї хвилини і висушують. Жовте забарвлення куркумину змінюється на темно-червоне чи коричневе – колір комплексу. Папір змочують розчином аміаку; колір паперу змінюється на зеленкувато-чорний чи синьо-чорний:



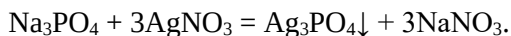
Жовтий



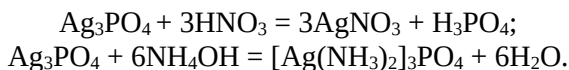
Червоно-коричневий

28. Якісні реакції на аніони PO_4^{3-}

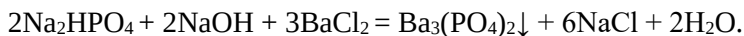
а) До 4–6 крапель фосфат-іонів (Na_2HPO_4), додають декілька крапель розчину AgNO_3 . Спостерігають утворення жовтого осаду Ag_3PO_4 :



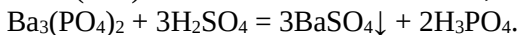
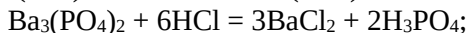
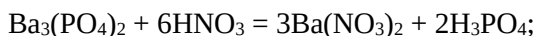
Осад розчиняється в нітратній кислоті, в концентрованому розчині амоній гідроксиду:



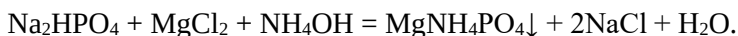
б) До 4–6 крапель фосфат-іонів (Na_2HPO_4), додають 2–3 краплі розчину натрій гідроксиду та барію хлориду до утворення білого осаду барію ортофосфату $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$:



Осад розчинний у кислотах, окрім H_2SO_4 :



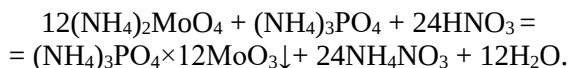
в) До 2–3 краплини розчину Na_2HPO_4 , додають по 2 краплі розчину магnezіальної суміші ($\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$). Утворюється білий кристалічний осад подвійної солі MgNH_4PO_4 :



Осад розчинний в хлоридній кислоті:

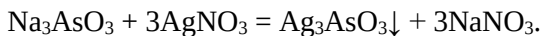


г) У пробірку вносять декілька крапель Na_2HPO_4 , додають 6–7 крапель концентрованої нітратної кислоти і 9–10 крапель концентрованого розчину амонію молібдату $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$. Суміш нагрівають до 50°C , утворюється жовтий кристалічний осад комплексної солі – амонію фосфомолібдату:

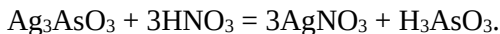


29. Якісні реакції на аніони AsO_3^{3-} та AsO_4^{3-}

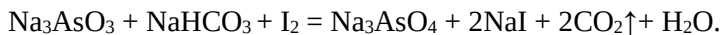
а) До 3–4 крапель розчину арсеніт-іонів (Na_3AsO_3), додають декілька крапель розчину AgNO_3 . Спостерігають утворення жовтого осаду Ag_3AsO_3 :



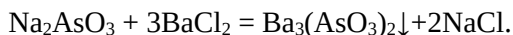
Осад розчиняється в розчинний в концентрованій нітратній кислоті:



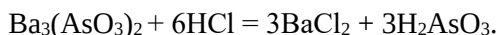
б) До 3–5 крапель розчину натрію арсеніту, додають невелику кількість кристалічного натрій гідрокарбонату і по краплинах розчин йоду, який знебарвлюється:



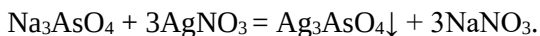
в) До 4–5 краплин розчину Na_3AsO_3 , додають 2 краплі розчину барій хлориду та декілька амоній гідроксиду до утворення білого осаду $\text{Ba}_3(\text{AsO}_3)_2$:



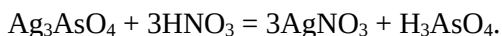
За додавання мінеральних кислот осад розчиняється:



г) До 3–5 крапель розчину арсенат-іонів (Na_3AsO_4), додають декілька крапель розчину AgNO_3 . Спостерігають утворення осаду темно-коричневого кольору Ag_3AsO_4 :



Осад розчинний в нітратній кислоті:



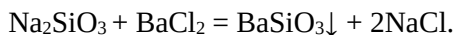
д) До 3–5 краплин розчину Na_3AsO_4 , додають 1–2 краплини концентрованої HCl , 3–4 краплини розчину KI . Внаслідок виділення вільного йоду суміш набуває коричневого забарвлення:



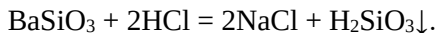
За додавання розчину крохмалю в реагуючу суміш розчин забарвлюється в синій колір.

30. Якісні реакції на аніони SiO_3^{2-}

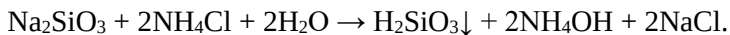
а) До 4–5 крапель розчину силікат-іонів (Na_2SiO_3) додають 2–3 краплі розчину барію хлориду до утворення білого осаду:



До утвореної суміші додають декілька крапель розчину хлоридної чи нітратної кислот, утворюється драглистий осад силікатної кислоти:

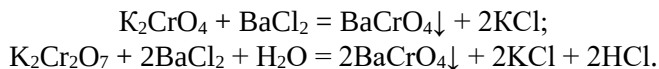


б) До 4–5 крапель розчину натрію силікату додають декілька кристаликів амонію хлориду, суміш нагрівають на водяній бані, утворюється осад H_2SiO_3 :



31. Якісні реакції на аніони CrO_4^{2-} та $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

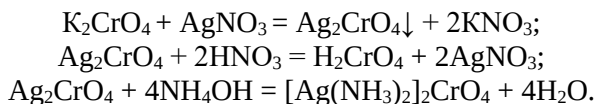
а) В одну пробірку вносять декілька крапель розчину K_2CrO_4 , в іншу – розчин $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. В обидві пробірки по краплинам додають розчин барію хлориду до утворення жовтого осаду BaCrO_4 :



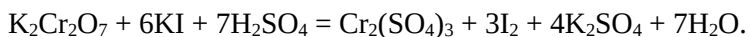
За додавання мінеральних кислот колір суміші змінюється на помаранчевий:



б) До 3–4 крапель розчину K_2CrO_4 , додають декілька крапель розчину AgNO_3 до утворення червоно-цегляного осаду, який розчинний у нітратній кислоті та розчинний у амоній гідроксиді:

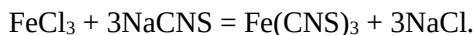


б) До 3–4 крапель розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, додають 1–2 краплі сульфатної кислоти, 2–3 краплі хлороформу та 2 краплі розчину калій йодиду. В результаті виділення вільного йоду хлороформний шар забарвлюється у червоно-фіолетовий колір:

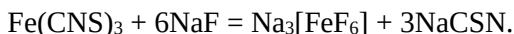


32. Якісні реакції на аніони F^-

а) До 2–3 крапель розчину FeCl_3 додають однакову кількість розчину KSCN або NH_4SCN . Спостерігають утворення тіоціонату феруму криваво-червоного кольору:

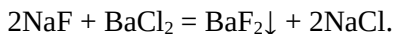


Далі в пробірку додають декілька крапель насиченого розчину фторид-іонів (NaF або KF), утворюється комплексна сполука $\text{Na}_3[\text{FeF}_6]$, розчин знебарвлюється:



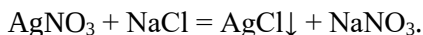
б) До 3–4 крапель розчину фторид-іонів (NaF або KF), додають декілька крапель BaCl_2 до утворення білого об'ємного осаду барію

фториду, який практично не розчинний в мінеральних кислотах і ацетатній кислоті:



33. Якісні реакції на аніони Cl^-

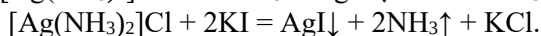
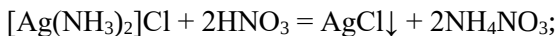
До 3–4 крапель розчину HCl , NaCl або KCl додають декілька крапель розчину AgNO_3 до утворення білого осаду AgCl :



За додавання амоній гідроксиду осад розчиняється:

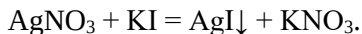


У разі додавання до утвореної комплексної сполуки концентрованої нітратної кислоти або калію йодиду осад аргентум хлориду утворюється знову, оскільки аміакатний комплекс руйнується:

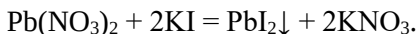


34. Якісні реакції на аніони I^-

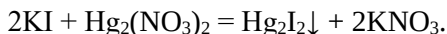
а) До 3–4 крапель розчину йодид-іонів (KI), додають 4–5 крапель розчину AgNO_3 . Спостерігають утворення жовтого осаду AgI :



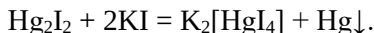
б) До розчину $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ додають розчин KI , утворюється жовтий осад PbI_2 . До суміші додають декілька крапель води, підкисленої ацетатною кислотою, і нагрівають до повного розчинення осаду. Пробірку вносять в склянку з холодною водою при цьому спостерігають виділення осаду PbI_2 у вигляді блискучих золотистих кристалів:



в) До 3–4 крапель розчину йодид-іонів (KI), додають таку ж кількість розчину солі ртуті (I), утворюється брудно-зелений осад:

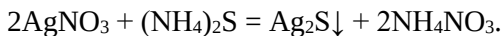


За надлишку калію йодиду осад розчиняється з утворенням тетраіодомеркурату калію (реактив Неслера):



35. Якісні реакції на аніони S^{2-}

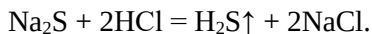
а) До 3–4 крапель розчину Na_2S або $(NH_4)_2S$, додають декілька крапель аргентуму (I) нітрату, спостерігають утворення чорного осаду аргентуму сульфідну:



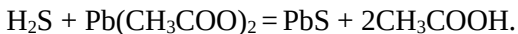
Утворений осад не розчинний у мінеральних кислотах, за винятком нітратної кислоти:



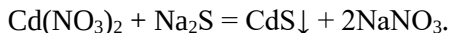
б) У пробірку вносять (під тягою) 2–3 краплі розчину Na_2S або $(NH_4)_2S$ та 3–4 краплі розбавленої хлоридної чи сульфатної кислот. Відчувається характерний запах H_2S :



До отвору пробірки підносять фільтрувальний папір змочений розчином $Pb(CH_3COO)_2$. Папір чорніє внаслідок утворення PbS :

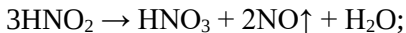
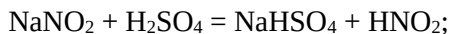


в) До 3–4 крапель розчину натрію сульфідну, додають 3–4 краплі розчину $Cd(NO_3)_2$ утворюється жовто-коричневий осад кадмію CdS :

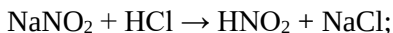


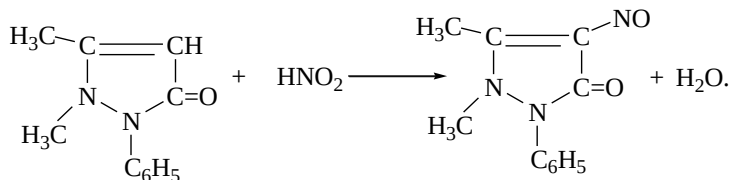
36. Якісні реакції на аніони NO_2^- та NO_3^-

а) До 2–3 крапель розчину $NaNO_2$ і додають 2–3 краплі розведеної сульфатної кислоти. Спостерігають виділення жовто-бурих парів оксидів нітрогену – NO , NO_2 . (Обережно! Реакцію проводять у витяжній шафі!):



б) До 4–5 краплин розчину $NaNO_2$, додають 4–5 крапель розчину антипірину і декілька крапель розчину сульфатної або хлоридної кислот:



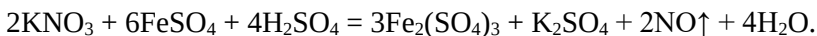


Спостерігають появу яскраво-зеленого кольору нітрозоантипірину.

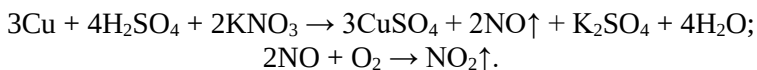
в) До 6–8 крапель розчину KNO_2 , додають 2–3 краплі розчину KI , 4–5 крапель бензену, та 2–3 краплі ацетатної кислоти. Вміст пробірки струшують. Органічний шар забарвлюється в рожево-фіолетовий колір:



г) До 4–6 крапель розчину KNO_3 додають 6–8 крапель насиченого розчину FeSO_4 і обережно по стінці пробірки приливають по краплинах концентровану сульфатну кислоту. З'являється буре забарвлення:

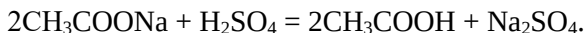


д) Мідні стружки поміщають у пробірку, додають $0,5 \text{ см}^3$ концентрованої сульфатної кислоти та декілька кристалів KNO_3 . *Дослідження проводити у витяжці!* Суміш нагрівають, спостерігають виділення безбарвного, який потім буріє, газу з різким запахом (NO_2). Суміш забарвлюється в блакитний колір:

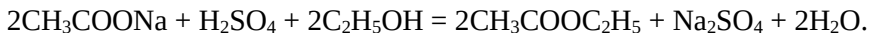


37. Якісні реакції на аніони CH_3COO^-

а) До розчину натрій ацетату CH_3COONa додають розчин розведеної сульфатної кислоти і обережно нагрівають. Виділяється ацетатна кислота, яку виявляють за специфічним запахом:

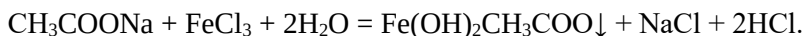


б) До 4–5 крапель концентрованого розчину натрію ацетату, додають 4–5 крапель концентрованої H_2SO_4 , 4–5 крапель етанолу. Суміш обережно нагрівають, відчувається характерний запах етилетаноату:



в) До 4–5 крапель розчину CH_3COONa додають таку ж кількість

розчину FeCl_3 та декілька крапель дистильованої води. Суміш нагрівають до кипіння. Спостерігають утворення осаду цегляного кольору:



Питання до самоконтролю:

1. Як класифікують хімічні елементи за походженням та поширенням у природі?
2. Як поділяють речовини за значимістю?
3. Приведіть приклади благородних газів і металів?
4. Наведіть приклади органічних елементів, чому їх так назвали?
5. Яка різниця між розсіяними та рідкісноземельними елементами?
6. Біологічне значення ферумвмісних сполук в організмі.
7. Як поділяються елементи залежно від КБП?
8. Класифікація біогенних елементів за кількісним вмістом та роллю. Наведіть приклади до кожної групи елементів.
9. Біологічне значення макро- і мікроелементів.
10. Написати формули і назви всіх відомих вам кислот, що вміщують Фосфор.

4.2. БІОСФЕРА ЯК ВИЩИЙ СТУПІНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИРОДНОЇ СИСТЕМИ

Неживу природу вивчають геологічні науки, живу – біологічні, а взаємодію живої і неживої природи вивчає біогеохімія. В. І. Вернадський був основоположником біогеохімії та вчення про її складові. Він довів, що біосфера – це не окрема сукупність організмів, а цілісне планетарне середовище. З появою біосфери всі хімічні реакції на планеті перебігають за участю живої речовини, або в середовищі, фізико-хімічні умови якого обумовлені діяльністю живих організмів.

Біосфера – природна верхня частина географічної оболонки, що являє собою екосистему населену живими організмами.

Соціосфера – сукупність соціальних чинників, характерних для певного етапу розвитку суспільства в його взаємодії з природою.

Антропосфера – складова частина соціосфери, яка охоплює людство як сукупність індивідів.

Техносфера – штучна оболонка Землі, створена людською діяльністю і опосередковано впливає на біосферу.

Ноосфера – цілісна планетна оболонка Землі, яка населена людьми і раціонально перетворена ними відповідно до закону збереження й

підтримування життя для гармонійного існування суспільства з навколишніми умовами.

Структура біосфери:

- *Атмосфера* – газова оболонка, яка оточує планету. Вона складається з Нітрогену, Оксигену, Аргону та інших газів. Атмосфера захищає Землю від шкідливого сонячного випромінювання, допомагає регулювати температуру та забезпечує киснем для дихання.

- *Гідросфера* – водяна оболонка Землі, до складу якої входять океани, моря, озера, річки, льодовики, підземні води та атмосферна волога. Вона охоплює близько 71 % поверхні Землі.

- *Літосфера* – тверда оболонка Землі, що складається із земної кори та верхньої частини мантії. Її товщина коливається від 5 км під океанами до 70 км під континентами.

Всі природні тіла це системи – складні об'єкти, утворені з окремих компонентів, та зв'язані між собою певними зв'язками. Природним системам характерні наступні властивості:

- *Стійкість* – здатність до збереження рівноваги у своєму розвитку.

- *Саморегуляція* – здатність підтримувати рівновагу власними силами.

- *Еволюціонування* – розвиток природних систем у напрямку ускладнення.

- *Емерджентність* – властивість системи, якою не володіє ні один із її компонентів.

Існують різні рівні структурної організації живого на Землі:

- *Біосферний* – являє собою сукупність усіх біогеоценозів.

- *Екосистемний* – включає системи які є функціональною єдністю живих і неживих компонентів.

- *Популяційно-видовий* – представлений групою особин одного виду – популяцією.

- *Організмовий* – самостійне існування окремої особини – організму.

- *Органотканинний* – функціонування тканин і органів різних організмів.

- *Клітинний* – життя існує у формі клітини – структурної та функціональної одиниці життя.

- *Молекулярний* – визначається хімічними елементами і молекулами та їхньою участю в процесах перетворення речовин, енергії та інформації.

- *Біоценотичний* – існування сукупності живих істот у певному природному середовищі.

Всі рівні вивчаються такі процеси, як обмін речовин і енергії, обмін інформацією, розмноження, фотосинтез, передача нервового імпульсу.

4.3. ФУНКЦІЇ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ В БІОСФЕРІ

У колообігу речовин жива речовина біосфери виконує ряд біогенних функцій:

- *Газова* – здійснюється зеленими рослинами у процесі фотосинтезу, при цьому атмосфера поповнюється киснем, а також рослинами і тваринами, які виділяють діоксид вуглецю в процесі дихання.

- *Концентраційна* – проявляється у здатності живих організмів акумулювати різноманітні хімічні елементи, зокрема мікроелементи, із зовнішнього середовища (морські водорості концентрують Йод, діатомові водорості і злаки – Силіцій, молюски та ракоподібні – Купрум).

- *Окисно-відновна* – виражається у хімічних перетвореннях речовин у процесі життєдіяльності організмів. У ґрунті, воді та повітрі утворюються солі, оксиди, нові сполуки як результат хімічних реакцій (наприклад, формування марганцевих руд, вапняку тощо).

- *Геохімічна* – здійснюється у процесі метаболічних реакцій в живих організмах (живлення, дихання, виділення), розкладання мертвих організмів і продуктів їх життєдіяльності до простих вихідних речовин.

Живі організми за відношенням до джерел енергії, Вуглецю та Оксигену класифікують:

- *Фотоавтотрофи* – отримують енергію від сонячного світла за допомогою фотосинтезу. Наприклад, зелені рослини, ціанобактерії.

- *Хемоавтотрофи* – отримують енергію від хімічних реакцій. Наприклад, деякі бактерії, які окислюють залізо, сірку або аміак.

- *Фотогетеротрофи* – отримують енергію від сонячного світла, але не можуть синтезувати органічні речовини самостійно. Наприклад, пурпурні бактерії.

- *Хемогетеротрофи* – отримують енергію від хімічних реакцій, розщеплюючи органічні речовини. Наприклад, тварини, гриби, багато бактерій.

- *Аероби* – для забезпечення процесу синтезу енергії використовують молекулярний кисень.

- *Анаероби* – організми, які отримують енергію при відсутності доступу кисню, шляхом субстратного фосфорилування.

Організми, що створюють органічну речовину з води, діоксиду карбону й мінеральних солей, використовуючи для цього сонячну енергію називаються *продуцентами* (рослини). Організми, що розкладають органічну речовину продуцентів і консументів до простих неорганічних сполук – води, діоксиду карбону й мінеральних солей – *редуценти* (мікроорганізми). Організми, що отримують життєву енергію, харчуючись рослинами чи тваринами – *консументи* (тварини).

Отже, *продуценти*, *консументи* й *редуценти* – утворили *ланцюг живлення*, який через мінеральні сполуки замкнувся в коло. Таким чином продуценти синтезували органічні речовини з неорганічних, консументи їх трансформують, а редуценти розкладають до мінеральних сполук, які потім знову споживаються продуцентами для процесів синтезу – формується *біологічний колообіг речовин*. Циркуляція атмосферних мас, води й розчинених у ній мінералів, утворюють *великий, або геологічний, колообіг речовин*.

Геологічний і біологічний колообіги речовин разом складають *біогеохімічний колообіг*.

Вернадський виділяв основні структурні компоненти речовин біосфери:

- *Жива* – сукупність живих організмів усіх видів, що населяють біосферу. Включає бактерії, рослини, тварини та інші організми. Відіграє ключову роль у колообігу речовин та енергії в біосфері.

- *Біогенна* – продукти життєдіяльності організмів, такі як торф, кам'яне вугілля, нафта, вапняк. Використовується людиною як джерело енергії та сировини.

- *Нежива (кістякова)* – неживі неорганічні сполуки, речовини, в утворенні яких живі організми участі не брали (гірські породи, мінерали, вода). Взаємодіє з живою та біогенною речовиною, формуючи умови життя на Землі.

- *Біокістякова* – неорганічні продукти, що утворюються в результаті взаємодії живої і кістякової речовин. Відіграє важливу роль у колообігу речовин та енергії в біосфері.

- *Радіоактивні речовини* – елементи, що мають нестабільне ядро і випромінюють радіацію. До цієї групи належать Уран, Торій, Радій. Впливає на еволюцію біосфери. Використовується людиною в медицині, енергетиці та інших галузях.

- *Розсіяні атоми* – речовини розсіяні в атмосфері, гідросфері та літосфері у вигляді атомів і молекул.

- *Речовини космічного походження* – надходить на Землю з космосу, наприклад, метеорити, космічний пил.

Вернадський В. І. відводив живим організмам виключно важливу роль у функціонуванні біосфери та планети в цілому. Він вважав, що живі організми:

- *Визначають геохімічні процеси.* Живі організми беруть участь у колообігу хімічних елементів у біосфері. Вони поглинають з навколишнього середовища одні хімічні елементи та виділяють інші. Ця діяльність живих організмів впливає на склад атмосфери, гідросфери та літосфери.

- *Створюють біогенну речовину.* До неї належать кам'яне вугілля, торф, нафта, вапняк. Біогенна речовина відіграє важливу роль у геологічних процесах.

- *Змінюють планету.* Живі організми змінюють рельєф Землі, утворюють ґрунт, очищають атмосферу та воду. Вони впливають на клімат планети.

- *Основна частина біосфери.* Живі організми взаємопов'язані між собою та з навколишнім середовищем. Біосфера не може існувати без живих організмів.

- *Планетна «плівка життя».* Вернадський вважав, що живі організми утворюють на поверхні Землі суцільну плівку життя. Ця плівка захищає планету від шкідливого впливу космічного випромінювання.

- *Рушійна сила еволюції* – живі організми постійно змінюються та адаптуються до навколишнього середовища. Цей процес призводить до еволюції життя на Землі.

Таким чином, живі організми відіграють вирішальну роль у функціонуванні біосфери та планети в цілому.

Питання до самоконтролю:

1. Основні положення Вернадського про ноосферу.
2. Структура біосфери та визначення її складових.
3. Які властивості характерні природним системам?
4. Опишіть рівні структурної організації живого на Землі.
5. Назвіть які функції виконує жива речовина біосфери?
6. Класифікація живих організмів за відношенням до джерел енергії, Карбону та Оксигену.
7. Які організми утворюють ланцюг живлення? Дати визначення та привести приклади.
8. Чим утворений біогеохімічний колообіг, дати визначення всім складовим.
9. Опишіть значення живих організмів для біосфери.
10. Чим обумовлений розподіл живих організмів у різних частинах біосфери?

4.4. БІОГЕОХІМІЧНІ ЦИКЛИ МАКРО- І МІКРОЕЛЕМЕНТІВ

Біогеохімічний цикл Карбону

Під час фотосинтезу рослини засвоюють Карбон, що надходить до листків з повітря в складі діоксиду карбону, утворюючи вуглеводи. За таких умов відбувається перетворення сонячної енергії в хімічну.

Під час дихання рослин частина вуглеводів окиснюється, і діоксид карбону виділяється в повітря. Більша частина вуглеводів накопичується в рослинах. Крім того, у рослинах утворюються білки, ліпіди та інші органічні речовини. Надалі рослини поїдаються гетеротрофними організмами. Отже, сполуки, синтезовані рослинами, рухаються ланками трофічних ланцюгів. Під час дихання вуглеводи окиснюються. За рахунок вивільнення енергії відбуваються всі життєві процеси, а діоксид карбону виділяється в повітря.

Розкладання відмерлих організмів здійснюється за участю бактерій. При цьому також відбувається окиснення Карбону з утворенням CO_2 . Унаслідок розкладання організмів за відсутності кисню утворюються торф, кам'яне вугілля, нафта, сланці. Людина спалює їх, використовуючи як джерело енергії, і діоксид карбону також потрапляє в атмосферу. Так коло замикається, і розпочинається новий цикл включення Карбону до складу органічних сполук, що їх синтезують рослини. Швидкість колообігу Карбону орієнтовно становить від 300 до 1000 років. Утворення техносфери суттєво

змінює цикл Карбону. Істотно збільшилось надходження CO_2 в атмосферу внаслідок спалювання значної кількості енергоносіїв, транспорту, вирубки лісів.

Біогеохімічний цикл Оксигену

Оксиген – один з найактивніших елементів, що беруть участь в біологічному колообігу. Він може поглинатися живими організмами в газоподібному стані, у вигляді CO_2 , H_2O , оксидів та інших сполук. Оксиген пов'язаний зі всіма компонентами біосфери. Він постійно надходить в атмосферу завдяки фотосинтезу. Зв'язування 1 г Карбону в органічну речовину при реакції фотосинтезу супроводжується виділенням 2,7 г Оксигену у результаті розщеплення молекули води.

Час колообігу Оксигену в біосфері складає близько 2500 років, це надзвичайно складний і найбільш довготривалий біогеохімічний цикл. Більша частина Оксигену знаходиться у зв'язаному стані. Оксиген входить до складу білків, жирів, вуглеводів тощо. В тваринному організмі міститься близько 65 % Оксигену. Кисень під час дихання використовують аеробні організми. Одним з кінцевих продуктів окиснення є CO_2 . У сполуці з Карбоном Оксиген повертається в навколишнє середовище, щоб знову потрапити до фотосинтезуючих організмів. Оскільки вивільнення енергії з органічних і неорганічних сполук супроводжується розщепленням їх у процесі окиснення, то колообіг Оксигену забезпечує колообіг усіх біогенних елементів.

Біогеохімічний цикл Гідрогену та води

Гідроген – газ, який проявляє сильні відновлювальні властивості, тому в атмосфері він може існувати у вигляді води та різних гідроксидів. У вільному стані в незначній кількості виявлений у тільки у верхніх шарах атмосфери. Основним джерелом Гідрогену для синтезу органічних речовин є вода. В результаті колообігу в біосфері, кількість води, що випарувалась, дорівнює кількості опадів. Тривалість циклу колообігу H_2O в системі гідросфера – атмосфера – літосфера – біосфера – гідросфера складає 2 млн років. Організми швидко втрачають воду шляхом випаровування та виділення. За час життя одного організму вміст у ньому води може оновлюватись сотні та тисячі разів. Загальний вміст води в біосфері оцінюється в 1,5 млрд. км³. На прісну воду припадає лише 3 %.

Біогеохімічний цикл Нітрогену

Нітроген і його сполуки беруть участь у житті біосфери та всієї планети, у формуванні ґрунтового покриву і родючості екосистем. Близько 80 % запасів Нітрогену зосереджено в атмосфері планети, де він знаходиться у вигляді N_2 . Час колообігу Нітрогену становить 100 років. Живі організми, зокрема рослини, споживають з ґрунту Нітроген у вигляді аміаку і солей нітратної кислоти. Приєднання молекулярного Нітрогену до різних сполук здійснюється деякими мікроорганізмами, водоростями і лишайниками. Після їх відмирання відбувається процес мінералізації. Частина нітратів, що утворилася, захоплюється рослинами, частина закріплюється в гумусі. Решта Нітрогену вимивається з ґрунтів, оскільки солі амонію і нітратної кислоти легко розчинні. Тому ґрунти завжди відчувають нестачу в азоті. Повернення Нітрогену в атмосферу відбувається внаслідок розкладання нітрогенвмісних сполук. Нині спостерігається значний антропогенний вплив на колообіг Нітрогену. Масове виробництво нітратних добрив та їх використання призводить до надмірного накопичення нітратів у ґрунтах, рослинах, продуктах харчування. Окрім того, під час спалювання палива – автотранспорт, заводи, теплоелектростанції в атмосферу потрапляє значна кількість високотоксичних сполук оксидів нітрогену (NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_5).

Біогеохімічний цикл Кальцію

Джерелом Кальцію, що поступає в біологічний колообіг, є літосфера. У природі Кальцій зустрічається найчастіше у вигляді: кальциту $CaCO_3$ (вапняк, мармур, крейда); гіпс $CaSO_4 \times 2H_2O$; доломіт $CaCO_3 \times MgCO_3$. Кальцій характеризується високою міграційною здатністю з ґрунтів він потрапляє до річок, озер, морів та океанів. Потрапляючи в моря і океани, Кальцій у великих кількостях споживається морськими організмами, після відмирання яких накопичується у вигляді карбонатних речовин (коралові рифи, донні відкладення тощо).

Кальцій бере активну участь у багатьох процесах ґрунтоутворення, а саме: входить до складу гумусу та ґрунтового комплексу, який відповідає за кислотність ґрунтів, визначає ємність поглинання ґрунту; цементує ґрунтові частинки, що сприяє утворенню водостійкої структури; впливає на розчинення або осадження оксидів Fe , Al , Mn , Si . Біогеохімічний цикл Кальцію порушується техногенними чинниками.

Зокрема, в будівництві широко використовуються вапняк, мрамур, цемент, вапно; CaCO_3 вносять у ґрунти з метою усунення їхньої підвищеної кислотності (вапнування); збиткову лужність усувають гіпсуванням ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Кальцій, вилучений з ґрунту з урожаєм сільськогосподарських культур, транспортується з одних районів в інші, що також порушує його баланс біологічного колообігу.

Біогеохімічний цикл Фосфору

Органічні сполуки Фосфору мають дуже важливе значення у процесах життєдіяльності всіх рослин і тварин, оскільки входять до складу нуклеїнових кислот, складних білків, ліпідів, макроергічних (АТФ, АДФ, ГТФ тощо) сполук. Джерелом Фосфору слугує літосфера, зокрема гірські породи, які містять Фосфор – фосфорити, апатити тощо. У процесі вивітрювання гірських порід фосфор переходить у ґрунтовий розчин і стає доступним для рослин. Після відмирання рослин Фосфор мінералізують мікроорганізми-редуценти. Втрати Фосфору з біогеохімічного циклу пов'язані в основному з винесенням елементу в моря та океани. Звідти назад на суходіл він може потрапити тільки через рибу або гуано.

Біогеохімічний цикл Магнію

Цей цикл має важливе значення для життя, адже Магній є ключовим компонентом рибосом, хлорофілу, нуклеїнових кислот (ДНК, РНК), нуклеопротейдів, а також бере участь у багатьох ферментативних реакціях. В обмінних процесах Магній тісно пов'язаний з Натрієм і Калієм. Магній у рослинних організмах присутній у вигляді іонів, які утворюють солі органічних кислот. Основними природними мінералами, до складу яких входить Магній – карбонати, силікати. Крім різноманітних мінералів і гірських порід, 0,13 % магнію у виді MgCl_2 постійно знаходиться у водах океану, в солоних озерах і джерелах. При вивітрюванні мінералів в присутності карбонатної кислоти утворюються карбонати і бікарбонати магнію, які також є джерелом утворення його водорозчинних солей. Це спостерігається при взаємодії карбонатів магнію із сильними кислотами або розчинними солями цих кислот. Глинисті ґрунти характеризуються, як правило, значним вмістом біодоступного для рослин Магнію, натомість в піщаних ґрунтах його вміст незначний.

Біогеохімічний цикл Сульфуру

Вміст Сульфуру в рослинах в 10 раз перевищує його рівень в літосфері. У живій речовині Сульфуру 0,1 %. Елемент входить до складу білків, амінокислот (цистеїн, цистин, метіонін, лантїонін), деяких водорозчинних вітамінів (тіамін, біотин). До складу живої речовини Сульфур потрапляє шляхом поглинання розчинених у воді сульфат-іонів рослинами-продуцентами. Потім елемент у складі рослинних білків ланцюгами живлення потрапляє до консументів і редуцентів. В анаеробних умовах (наприклад, у болотах) редуценти розкладають білки з виділенням Сульфуру у вигляді гідроген сульфїду, який може бути окиснений до молекулярної форми або до розчинних сульфатів і сульфїдів. У такій формі Сульфур знову стає доступним для продуцентів. Людина суттєво впливає на колообіг Сульфуру в природі. Основними антропогенними джерелами діоксиду сульфуру SO_2 є спалювання палива, виплавляння металів (димові гази), робота автомобільного транспорту (вихлопні гази). Діоксид сульфуру SO_2 , потрапляючи у повітря, обумовлює утворення «кислотних дощів», шкідливих для усього живого.

Біогеохімічний цикл Калію і Натрію

Елементи входять до складу різних мінералів (у вигляді сульфатів, хлоридів, карбонатів, нітратів) і гірських порід – силікатів. Незважаючи на подібність хімічних властивостей Натрію і Калію, їхні біологічні функції різні. У ґрунтах ці елементи існують у трьох формах: необмінній, обмінній та водорозчинній. У необмінній формі (вміст елементів практично однаковий). В обмінній формі вміст Калію істотно перевищує вміст Натрію. Катіони Na^+ мігрують і накопичуються у Світовому океані, соляних озерах. Зворотний потік Na^+ з океану на сушу визначається «бризковиносом» – явищем перенесення часток натрію хлориду на значні відстані з найдрібнішими бризками океанської води під час сильних вітрів. Антропогенний вплив на колообіг Натрію значний. Основне значення має видобуток кухонної солі, а також соди. Зрошення земель у посушливих регіонах також має вплив на біогеохімічний цикл Натрію. Колообіг Калію значно менший, оскільки порівняно з Натрієм цей елемент краще поглинається ґрунтом. Калій добре засвоюється рослинами стимулює їх ріст і розвиток. З відмерлими рештками повертається в ґрунт у вигляді біомаси.

Біогеохімічний цикл Феруму та Мангану

Представлені елементи зустрічаються в природі у складі різноманітних хімічних сполук (оксидів, гідроксидів, сульфідів, хлоридів тощо). У ґрунтах ці сполуки накопичуються у вигляді орґано-мінеральних сполук, у вигляді глинястих мінералів тощо. Ці елементи активно поглинаються живою речовиною, тому їх біогеохімічний колообіг добре виражений. Ферум входить до складу різних хромопротеїдів (гемоглобін, каталаза, феритин тощо). Манган бере участь в окисно-відновних процесах: диханні, фотосинтезі. Після відмирання організмів і їх мінералізації частина цих елементів повертається в ґрунт та природні води. Повертаючись у ґрунт, ці сполуки вступають у новий біогеохімічний колообіг.

Біогеохімічний цикл Купруму

Елемент входить до складу хромопротеїдів (церулоплазмін, гемоціанін, цитохромоксидаза, супероксиддисмутаза, тирозиназа, лізілоксидаза тощо). У незначних кількостях Купрум необхідний для нормального розвитку живих організмів. Надмірні дози елементу досить токсичні. Основними природними резервуарами міді є земна кора, мантія, ядро Землі, наземна біомаса, прісна вода, океани та атмосфера. Мідь вивільняється з гірських порід і мінералів внаслідок вивітрювання. Цей процес може бути прискорений ерозією, кислотними дощами та діяльністю людини. Рослини з ґрунту поглинають вказаний елемент. Після їх розкладання іони Купруму знову потрапляють у ґрунт. Значна частина міді вимивається з ґрунту в річки та океани. Лісові пожежі або спалювання біомаси підвищують вміст елементу в атмосфері.

Біогеохімічний цикл Плюмбуму

Свинець – метал, який для більшості організмів є токсичним, він не має важливого фізіологічного значення. У породах земної кори він входить до складу галеніту. Природне вивітрювання гірських порід за дії фізико-хімічних чинників стимулює вивільнення іонів Pb^{2+} із кристалічних структур мінералів. Більша частина вивільнених іонів адсорбується високодисперсними глинистими частками та гідроксидами феруму. Незначна частина потрапляє у вигляді простих і комплексних іонів в поверхневі і ґрунтові води. Антропогенна діяльність (виробництво кольорових металів, видобуток руд,

виготовлення свинцевих акумуляторів) підвищила вміст плумбуму в навколишньому середовищі. В результаті цього в атмосферу потрапляють мікроскопічні часточки металу, які транспортуються у вигляді аерозолів. До складу рослин іони Pb^{2+} потрапляють через кореневу систему, а також через листя із атмосферними опадами. Через зелені частини рослин Плумбум виділяється у складі фітонцидів та інших сполук, які змиваються дощем або розносяться вітром. Основна частина Плумбуму адсорбується поверхнею світового океану. В подальшому завдяки процесам біофільтрації морської води планктоном значна кількість Pb^{2+} переходить у осад.

Біогеохімічний цикл Цинку

У земній корі Цинк, як правило, виявляють у складі сульфідів (сфалерит, вюрцит) і карбонатів (смітсоніт). Мінерали Цинку потрапляють у навколишнє середовище внаслідок процесів вивітрювання та антропогенної діяльності. Цинк використовується рослинами та іншими організмами, після чого він потрапляє у водні системи, де осідає у формі відкладень, або потрапляє в океани. В глибинах океану мікроелемент поглинається фітопланктоном, далі осідає на дні океану і повертається в мантию в результаті субдукції морських відкладень. Антропогенний вплив на біогеохімічний колообіг Цинку значний, адже цей метал людство використовує в процесі виробництва сплавів металів (латунь, мельхіор), цинкування сталі тощо.

Біогеохімічний цикл Йоду

Йод характеризується високою міграційною активністю у природному середовищі та наявний у всіх земних оболонках. Однак розповсюдження Йоду в геосферах нерівномірне – цей елемент міститься, головним чином, у воді океанів і морів, атмосфері та біосфері й у дуже малій кількості – в літосфері. Головним вмістилищем Йоду є Світовий океан. В океанічні та морські води елемент потрапляє внаслідок дегазації мантиї Землі, під час підводного виверження вулканів, з континентальним стоком. Певна частка Йоду повертається в моря й океани з опадами після випаровування в атмосферу з поверхневих шарів води. У морській воді Йод наявний у неорганічній формі та в складі органічних сполук,

взаємоперетворення яких відіграє важливу роль у загальному колообігу елемента.

В процесі випаровування води Йод у газоподібному стані, та певною мірою, у формі аерозолі переноситься з повітряними потоками до материків. Із опадами Йод потрапляє на земну поверхню та у ґрунт, надходить у клітини мікро- і макроорганізмів. Наземні та ґрунтові організми вбирають йод, але, відмираючи, повертають його в ґрунтове середовище, чому сприяє діяльність мікроорганізмів-редуцентів. Певна частка йоду адсорбується у ґрунтах, зв'язуючись із органічними речовинами та неорганічними компонентами. Інша частина – випаровується, вимивається ґрунтовими і талими водами та потрапляє у ріки, а відтак нагромаджується в морях і океанах.

Біогеохімічний цикл Кадмію

Кадмій – хімічний елемент, який не зустрічається в природі в чистому вигляді. Він зазвичай знаходиться в рудах цинку, свинцю та міді. Кадмій навіть у незначних концентраціях здатний обумовити сильне отруєння організму. Хімічний елемент депонується в тканинах тварин та рослин. Найвищу його концентрацію виявлено в кістковій тканині, коренях та стеблах рослин. Вміст кадмію в атмосфері в основному пов'язаний з антропогенною діяльністю (виробництво кольорових металів, спалювання викопного палива, виробництво чавуну, сталі, утилізація відходів, виробництво добрив, цементу тощо). Гідробіонти використовують елемент для побудови панцира та скелету, накопичують його у м'яких тканинах. Накопичення кадмію зростає в ряді – бактерії, водорості, ракоподібні, риби. У процесі розкладання органічних решток у воду знову потрапляють органічні та мінеральні сполуки кадмію, колообіг елемента повторюється.

Біогеохімічний цикл Меркурію

Більша частина ртуті на Землі знаходиться в гірських породах та ґрунті, де він присутній у вигляді сульфідних мінералів (кіновар). Колообіг елемента пов'язаний з природніми (вулканічна активність, природні пожежі, вивітрювання гірських порід) та антропогенними (видобуток золота, спалювання вугілля, виробництво пестицидів, лікарських препаратів тощо) чинниками. Меркурій переноситься і розподіляється за допомогою атмосферної циркуляції, яка переміщує елемент із суходолу в океан. З атмосфери Меркурій повертається

шляхом сухого або мокрого осадження. Неорганічна ртуть трансформується бактеріями в надзвичайно токсичні сполуки – метил- та диметилртуть, які здатні накопичуватись в фіто- та зоопланктоні. В організмі людини сполуки Меркурію відкладаються в різних тканинах.

Практичні роботи

1. Визначення обмінного Кальцію та Магнію в ґрунті

У колбу об'ємом 500 см³ поміщають 2 г ґрунту та 200 см³ 1 н розчину NaCl. Суміш ретельно перемішують впродовж 5 хвилин і залишають на добу. Після відстоювання вміст колби знову перемішують і фільтрують через складчастий фільтр до повного переходу розчину з ґрунтом на фільтр. З отриманого фільтрату ґрунтової витяжки відбирають 20 см³ і поміщають у хімічну склянку об'ємом 100 см³. До розчину додають 5 см³ аміачного буферу (pH 10–11) та 5 крапель індикатора (0,5 % розчин мурексиду). Титрують розчин 0,01 н розчином трилону Б до переходу забарвлення з червоного стійкого блакитного, який не зникає впродовж 1 хвилини. Вміст катіонів розраховують за формулою:

$$C(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) = C_{\text{р.розч}} \times V_{\text{р.розч}}^1 \times V_{\text{пв}} \times 100 / V_{\text{ал}} \times m_{\text{г}},$$

де $C(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+})$ – концентрація катіонів в ґрунті, ммоль екв/100 г ґрунту; $C_{\text{р.розч}}$ – концентрація робочого розчину трилону Б (0,01 н); $V_{\text{р.розч}}^1$ – об'єм робочого розчину, використаний за титрування 20 см³ ґрунтової витяжки, см³; $V_{\text{пв}}$ – об'єм приготовленої ґрунтової витяжки, см³; $V_{\text{ал}}$ – об'єм ґрунтової витяжки, взятої для титрування, см³; $m_{\text{г}}$ – маса ґрунту, використана для приготування ґрунтової витяжки, г; 100 – перевідний коефіцієнт на 100 г ґрунту.

2. Визначення обмінного Гідрогену та Алюмінію у ґрунті

У колбу об'ємом 500 см³ поміщають 100 г ґрунту, додають 250 см³ 1 н розчину KCl, збовтують впродовж 1 години та залишають на добу. Вміст колби фільтрують через складчастий фільтр у суху склянку. Перші 10 см³ фільтрату видаляють, щоб уникнути підкислення витяжки компонентами, що вимиваються з фільтру. В дві конічні колби відбирають по 25 см³ ґрунтової витяжки.

В одну з колб додають 2–3 краплі розчину бромтимолового синього та титрують 0,02 н розчином NaOH до зміни забарвлення з жовтого на синє. Це титрування визначає сумарний вміст обмінних катіонів H^+ та Al^{3+} .

До іншої колби додають 1,5 см³ 3,5 % розчину NaF. Суміш перемішують титрують 0,02 н розчином NaOH з бромтимоловим синім. Це титрування визначає обмінний Гідроген.

Вміст обмінного Алюмінію розраховують за різницею першого та другого титрування, використовуючи формули:

$$\begin{aligned} H_{\text{обм}} &= C_{\text{NaOH}} \times V^1_{\text{NaOH}} \times V_{\text{вит}} \times 100 / V_{\text{ал}} \times m_{\text{гр}}; \\ H_{\text{H}^+} &= C_{\text{NaOH}} \times V^2_{\text{NaOH}} \times V_{\text{вит}} \times 100 / V_{\text{ал}} \times m_{\text{гр}}, \end{aligned}$$

де $H_{\text{обм}}$ – обмінна кислотність ґрунту, обумовлена іонами H^+ та Al^{3+} , ммоль екв/100 г ґрунту; H_{H^+} – кількість обмінного Гідрогену в ґрунті, ммоль-екв/100 г ґрунту; $H_{\text{Al}^{3+}}$ – кількість обмінного Алюмінію в ґрунті, ммоль-екв/100 г ґрунту; C_{NaOH} – концентрація титранту (0,02 н); V^1_{NaOH} – об'єм натрій гідроксиду, використаний у першому титруванні, см³; V^2_{NaOH} – об'єм натрій гідроксиду, використаний у другому титруванні, см³; $V_{\text{ал}}$ – об'єм аліквоти, взятої з ґрунтової витяжки для титрування, см³; $V_{\text{вит}}$ – об'єм витяжки, см³; $m_{\text{гр}}$ – наважка ґрунту, взята для приготування ґрунтової витяжки, 100 – перевідний коефіцієнт на 100 г ґрунту, г.

3. Визначення хлорид-іонів у ґрунтах за методом Мора

У колбу наливають 50 см³ водної витяжки ґрунту. Титрування здійснюють у нейтральному або слаболужному середовищі (pH 7–9). Якщо розчин кислий його нейтралізують 1 н розчином NaOH, якщо лужний – 1 н розчином H_2SO_4 , використовуючи індикатор фенолфталеїн. До проб витяжки ґрунту додають 1 см³ 10 % розчину K_2CrO_4 і титрують 0,01 н розчином AgNO_3 до появи стійкого цегляно-червоного кольору забарвлення, обумовленого утворенням малорозчинного Ag_2Cl_2 . Масову частку іонів Cl^- в аналізованому ґрунті визначають за формулою:

$$C(\text{Cl}^-) = V_1 \times C_A \times 1000 \times 100 \times V_{\text{вв}} / V_{\text{ал}} \times m_{\text{гр}},$$

де $C(\text{Cl}^-)$ – концентрація іонів Cl^- в ґрунті, ммоль екв/100 г ґрунту; V_1 – об'єм розчину AgNO_3 , витрачений на титрування; C_A – концентрація розчину AgNO_3 (0,01 н); $V_{\text{вв}}$ – об'єм водної витяжки ґрунту, см³; $V_{\text{ал}}$ – об'єм проби, взятий на титрування, 50 см³; $m_{\text{гр}}$ – маса ґрунту, взятого для приготування водної витяжки, 2 г; 100 – перевідний коефіцієнт на 100 г ґрунту.

Для розрахунку відсоткового вмісту іонів Cl^- їхню кількість, виражену у ммоль екв/100 г ґрунту, множать на молярну масу еквіваленту Cl^- , тобто на 35,5:

$$\omega(\text{Cl}^-), \% = C(\text{Cl}^-), \text{ ммоль екв/100 г ґрунту} \times 35,5/1000.$$

Питання до самоконтролю:

1. Поясніть у чому полягає роль біогеохімічних колообігів хімічних елементів для розвитку планети Земля?
2. У чому полягає біогеохімічний колообіг Карбону, Оксигену.
3. Біогеохімічний цикл Гідрогену та води.
4. Біогеохімічний цикл Фосфору та Сульфуру.
5. У чому полягає біогеохімічний колообіг Кальцію, Феруму, Мангану, Натрію?
6. Поясніть, у чому полягає особливість колообіг Нітрогену.
7. Назвіть основні форми діяльності людини, які сприяють кругообігу Фосфору.
8. Біогеохімічний цикл Плюмбуму, Цинку, Йоду, Меркурію.
9. Які ключові компоненти біогеохімічного циклу?
10. Як антропогенна діяльність впливає на біогеохімічні цикли?

4.5. БІОГЕОХІМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ

Біогеохімічне районування в Україні є важливим аспектом вивчення взаємодії між живою та неживою природою. Це допомагає краще розуміти процеси обміну речовин у природних екосистемах та їх вплив на навколишнє середовище. Україна має різноманітні біогеохімічні райони, які визначаються геологічною будовою, кліматичними умовами, ґрунтовим покривом та рослинністю. Проведення біогеохімічного районування дає змогу виявляти території, де можливий прояв біогеохімічних ендемій (захворювань людей і тварин), та здійснити заходи з оптимізації навколишнього середовища, отже, збереження здоров'я людей. У районуванні основною одиницею приймають біогеохімічну провінцію.

Україна поділяється на кілька біогеохімічних провінцій, кожна з яких має свої особливості та характеристики:

- *Зональні* – утворюються в межах однієї ґрунтово-кліматичної зони і можуть займати не всю зону, а тільки окремі її райони.
- *Інтразональні* – зустрічаються повсюдно, незалежно від ґрунтово-кліматичної зони. Їхнє утворення зв'язане з оптимальним складом гірських порід, що виділяються як геохімічні провінції. Кордони інтразональних та геохімічних провінцій співпадають.

Інтразональні провінції перспективні для пошуку рідкісних розсіяних елементів біогеохімічними методами, так як у межах провінції різко виражені:

- своєрідність складу флори та фауни;
- потворні форми рослин;
- нові стійкі види та напіввиди рослин.

При біогеохімічному районуванні та пошуках розсіяних елементів визначають абсолютний та відносний вміст хімічного елементу в природних об'єктах та середовищі існування (грунті) і визначають кордони провінцій й родовищ корисних копалин. В Україні виділяють п'ять біогеохімічних зон:

- *Лісоболотна* – займає 19 % території, включає в себе територію Полісся (дерново-підзолисті ґрунти). Для ґрунтів цієї території притаманний низький вміст більшості мікроелементів.

- *Лісостепова* – 34 %, включає Тернопільську, Рівненську, Вінницьку, Чернівецьку, Львівську, Хмельницьку області – характеризується сірими лісовими ґрунтами та чорноземами. Характеризується дефіцитом таких елементів, як Fe, Zn, I, Mn, Cr, Ni, Co, Mo, Se.

- *Північно-степова й південно степова* – 40 %. Південно степова зона включає Херсонську та Миколаївську області, північно степова – Одеську, Дніпропетровську, Донецьку, Кіровоградську (чорноземи). В ґрунтах Донбасу та Приазовської височини спостерігається підвищений вміст Ti, Pb, Zn, Cu, Co, Cr, Mn.

- *Лісолокува* – 7 % території, включає Закарпаття, гірський Крим. В ґрунтах Карпат виявлено підвищену кількість Fe, Ti і Pb та менший вміст, порівняно з еталонним, Mn і Sr. В ґрунтах південної частини Криму включно з гірським районом, виявлений підвищений вміст більшості мікроелементів, особливо Cu і Cr. В ґрунтах степів Криму – підвищена кількість Ti, Zn, Co і Cr та понижений вміст Fe, Mn, Sr, Ni.

Для нормального розвитку організму необхідне певне співвідношення хімічних елементів. Цього співвідношення організми досягають завдяки механізмам регуляції. Всі життєво важливі елементи (макроелементи) споживаються з зовнішнього середовища організмами незалежно від їх концентрації, тільки в певних співвідношеннях. Навпаки, мікроелементи накопичуються в організмах пропорційно їх вмісту в навколишньому середовищі. При

тривалому порушенні співвідношення між мікроелементами виникають різні захворювання, які називають ендемічними, а саме явище – *біогеохімічними ендеміями*.

У рослин ендемічні захворювання проявляються в ланцюгу: ґрунт–рослина. У тварин: ґрунт–рослина–тварина. У людини можливі два варіанти: ґрунт–рослина–людина; ґрунт–рослина–тварина–людина.

Біогеохімічні ендемії частіше всього виникають при нестачі або надлишку деякого порогового значення концентрації мікроелементу або порушення співвідношення зв'язаних із ним інших мікроелементів (нестача F, Co і Cu → порушення фосфорно-кальцієвого обміну і руйнування кісткової тканини, дефіцит I → порушення функція щитовидної залози (ендемічний зоб), надлишок – базедова хвороба). Для лісоболатної та лісостепової зон характерне ендемічне захворювання – зоб ендемічний. Існують в Україні дві інтразональні провінції: Криворізька та Азово-Чорноморська, їх границі пов'язані з родовищами залізної руди. За вмістом засвоюваних форм мікроелементів територію України поділено на чотири біогеохімічних зони: західну, північно-східну, центральну й південну.

Профілактика мікроелементозів ґрунтується на внесенні в бідні мікроелементами ґрунти мікродобрих, підгодівлю тварин мікроелементами, яких не вистачає в кормах. При надлишку того чи іншого мікроелемента тварин слід підгодовувати хімічним елементом – антагоністом. Визначаючи профілактичні дози мікроелементів, ураховують вміст їх у кормах, воді, раціоні і потребу в них тварин, яка залежить від виду, віку, продуктивності, фізіологічного стану тварин і загальної поживності раціону.

Питання до самоконтролю:

1. Основні принципи біогеохімічного районування.
2. Дайте характеристику основним біогеохімічним зонам України.
3. Значення біогеохімічного районування.
4. Наведіть приклади біогеохімічних ендемій.
5. Біологічне значення мікро- та макроелементів.
6. Яке завдання біогеохімічного районування?
7. Перспективи розвитку біогеохімічного районування.
8. Методи корекції співвідношення мікроелементів у ґрунті.
9. Вплив урбанізація на поширення біогеохімічних ендемій?
10. Профілактика мікроелементозів.

4.6. НООСФЕРА ТА ТЕХНОГЕНЕЗ

Глобальна взаємодія людини з середовищем призвела до виникнення поняття *ноосфери* – сферу взаємодії природи і суспільства, де людський розум за допомогою технічної діяльності стає визначним чинником розвитку.

За час свого існування біосфера не раз зазнавала значних змін, переходячи до нових еволюційних етапів. Ці переходи знаменувалися появою нових форм життя та екосистем. Ось декілька прикладів:

- 2 мільярди років тому виникли рослини. Цей революційний крок дав поштовх до фотосинтезу, збагатив атмосферу киснем та заклав основу для життя тварин.
- 1,5 мільярда років тому з'явилися хребетні тварин. На цьому етапі створилися більш складні форми життя, яке згодом розвинулося в неймовірну різноманітність видів.
- 15–80 мільйонів років тому виникли спеси і ліси. Ці нові екосистеми значно розширили біосферу, створивши нові середовища існування для безлічі рослин і тварин.
- 10–20 тисяч років тому з'явилися люди. Цей останній еволюційний етап суттєво вплинув на динаміку біосфери, обумовив значні зміни.

Вказані дати є орієнтовними, адже еволюційні процеси не завжди мають чітко окреслені межі. Проте, вони дають уявлення про те, як впродовж мільйонів років біосфера невпинно змінювалась, адаптувалась та розвивалась. Таким чином важливим етапом розвитку біосфери вважається зародження антропогенної ери, за якої формується новий еволюційний стан – ноосфера.

В. І. Вернадський визначив місце людини у біосфері трьома положеннями:

1. Людина – це геологічна сила. Діяльність людини набула такої масштабності, що вона впливає на геологічні процеси планети. Людство здатне змінювати рельєф, ґрунт, клімат, водні ресурси та інші компоненти біосфери. Цей вплив може мати як позитивні, так і негативні наслідки.

2. Людина – це розумна істота. Завдяки своїм інтелектуальним здібностям людина може усвідомлювати свій вплив на біосферу. Людство має здатність керувати своїми діями та обирати шляхи

розвитку, які мінімізують негативні наслідки та сприяють гармонійному співіснуванню з природою.

3. Людина – частина біосфери. Незважаючи на свою унікальність, людина невід’ємна від природи. Вона залежить від екосистем та природних ресурсів для свого виживання та добробуту.

Закон ноосфери, сформульований українським науковцем В. І. Вернадським, стверджує, що людство, завдяки своєму розуму, може перетворити біосферу в ноосферу.

Ноосфера, як сфера розуму, охоплює три основні складові:

1. *Антропосфера* – сфера людського суспільства, яка включає: людей як біологічний вид; соціальні структури та організації; культуру та духовні цінності; науку та технічні досягнення.

2. *Техносфера* – сфера штучних об’єктів, створених людиною: технічні системи та машини; інфраструктуру та комунікації; виробничі потужності та енергетику; штучні середовища та урбанізовані простори.

3. *Соціосфера* – сфера соціальних відносин та взаємодії: система цінностей та норм поведінки; економічні та політичні системи; інформаційні та комунікаційні простори; освітні та культурні інституції.

ТЕХНОГЕННА МІГРАЦІЯ ТА ТЕХНОГЕНЕЗ

У XIX ст. геохіміками введено поняття «техногенез», який описує вплив людської діяльності на геохімічні процеси планети. Цей вплив проявляється у збільшенні кількості хімічних елементів, які використовуються людиною (на початку епохи – 19 елементів, XVIII ст. – 28 елементів, XIX ст. – 50 елементів, початок XX ст. – 60 елементів, XXI ст. – 89 елементів земної кори та штучно синтезовані). Ці дані свідчать про зростаючу потребу людства в різноманітних ресурсах, зміну геохімічного балансу планети під впливом людської діяльності та виникнення нових геохімічних циклів, пов’язаних з використанням та переробкою елементів.

Ноосфера, будучи сферою розуму, характеризується не лише біологічними процесами, але й різноманітними типами міграції, які можна класифікувати наступним чином:

- *Механічна міграція* – відбувається під впливом законів механіки, гідродинаміки та гравітації (наприклад, рух води в річках, вітрове перенесення пилу, переміщення ґрунту під дією сили тяжіння).

- *Фізична та хімічна міграція* – обумовлена фізико-хімічними чинниками (дифузія газів, розчинення речовин у воді, хімічні реакції, що призводять до переміщення елементів).

- *Біогенна міграція* – відбувається за участю мікроорганізмів, рослин і тварин (міграція птахів, переміщення комах, поширення грибів та бактерій).

- *Техногенна міграція* – виникає внаслідок діяльності людини (транспортування ресурсів, викиди в атмосферу, скидання відходів у ґрунт і воду).

Процеси техногенної міграції можна розділити на дві категорії:

1. *Успадковані від біосфери* – ці процеси схожі на природні геохімічні цикли, але збільшені та прискорені людською діяльністю. Наприклад, біологічний колообіг – інтенсивне сільське господарство призводить до більш швидкого колообігу елементів; розсіювання елементів – видобуток корисних копалин може призвести до викидів елементів у довкілля; виробництво продуктів землеробства і тваринництва використання добрив та пестицидів впливає на міграцію елементів у ґрунті.

2. *Трансформовані* – процеси не мають аналогів у природі і виникли внаслідок людської діяльності. Наприклад, синтез абіогенних сполук – створення нових хімічних речовин, яких не існує в природі; спалювання викопного палива – викиди шкідливих газів та забруднення атмосфери; видобуток та переробка руд – переведення металів з окисленого стану у відновлений.

Техногенна міграція стала одним з найсильніших чинників, що впливають на геохімічний склад планети. Видобуток корисних копалин та виробництво добрив призводять до викидів елементів в навколишнє середовище. Ці елементи включаються до біогеохімічних циклів, змінюючи їх та створюючи нові.

ТЕХНОГЕННІ ГЕОХІМІЧНІ АНОМАЛІЇ

Розподіл хімічних елементів на планеті не є однорідним. Це призводить до виникнення техногенних геохімічних аномалій: ділянок, де вміст елементів в ґрунті, воді, атмосфері або біосфері значно відрізняється від фонового рівня через вплив людини. Розрізняють позитивні (підвищений вміст елементів) та негативні (низький вміст елементів) техногенні аномалії. Позитивні техногенні аномалії можуть бути корисними для видобутку корисних копалин

або для збагачення ґрунту, негативні – свідчать про виснаження ґрунту або забруднення довкілля.

Техногенні геохімічні аномалії можна класифікувати за їх розмірами на наступні категорії:

- *Локальні* – мають невеликі розміри, зазвичай до 100 метрів у діаметрі. Виникають вони в результаті точкового джерела забруднення, наприклад, заводу, шахти або сміттєзвалища.

- *Регіональні* – мають більші розміри, зазвичай від 100 метрів до 10 кілометрів. Виникають вони в результаті впливу декількох джерел забруднення або одного потужного джерела (наприклад, забруднення ґрунту в долині річки внаслідок скидів з кількох заводів, підвищений вміст нікелю в ґрунті навколо нікелевого рудника тощо).

- *Глобальні* – мають великі розміри, охоплюючи значні території або всю планету.

За впливом на довкілля техногенні аномалії класифікують на:

- *позитивні* – покращують характеристики ґрунту, сприяють розвитку рослинності, негативно впливають на шкідників;

- *негативні* – забруднюють ґрунт, воду, атмосферу, деградують ґрунт (ерозія, втрата родючості), негативно впливають на біосферу (загибель тварин, рослин, зниження біорізноманіття, ризик для здоров'я людини);

- *нейтральні* – не мають істотного впливу на довкілля і на умови існування людини (наприклад, деякі види гірничих робіт, видобуток корисних копалин з мінімальним порушенням ґрунтового покриву).

Людська діяльність впливає на атмосферу двома основними шляхами:

- Видобуток газів. Повітря – джерело багатьох газів, кисень (O_2), азот (N_2), неон (Ne), аргон (Ar) та гелій (He). Вибіркове видалення кисню, наприклад на металургійних заводах, може змінювати склад атмосфери.

- Забруднення атмосфери.

Основні техногенні забруднювачі атмосфери об'єднують у три групи:

- *спалювання палива* – внаслідок роботи транспорту в атмосферу потрапляє велика кількість викидів (CO , NO , NO_2 , Pb, альдегіди, бензопірен, SO_2 , Br_2 , P, Cl_2 тощо).

- *промислові викиди* – різноманітний пил, дим, газоподібні сполуки, окремі хімічні елементи, компоненти з фотохімічним ефектом.

- *утилізація відходів* – виникають у зоні захоронення відходів і при роботі сміттєспалювальних устаткувань в навколишнє середовища потрапляють різні сполуки (вуглеводні, альдегіди, карбонові кислоти, оксиди, аміак, тощо).

Наслідками антропогенного впливу є глобальні аномалії:

- забруднення сторонніми аерозолями, пилом, сажею, виникнення смогу у великих містах (забруднення ароматичними і поліциклічними, ненасиченими вуглеводнями);

- парниковий ефект – накопичення в атмосфері великої кількості CO₂, який впливає на температуру, створюються умови для збереження тепла в атмосфері відбувається розігрівання атмосфери й перевипромінювання частини енергії назад до Землі;

- руйнування озонового шару – захищає все живе від жорсткого ультрафіолетового випромінювання;

- кислотні дощі – опади (дощ, сніг, град) з pH нижче 5,6, які утворюються утворюється в результаті хімічних реакцій в атмосфері між забруднюючими речовинами (діоксид сульфуру, різні оксиди Нітрогену) і водою.

Діяльність людей впливає на гідросферу кількісно (зменшення кількості придатної для використання води) та якісно (забруднення води):

- можливе подальше підвищення рівня Світового океану через танення льодовиків внаслідок парникового ефекту;

- забруднення вод Світового океану особливо прибережних районів, збіднення рибних промислів та погіршення умов відпочинку людей;

- зростання дефіциту прісної води через перевитрату на аграрні, промислові та міські потреби;

- забруднення річок, озер, ґрунтових вод, зростання мінералізації прісних вод.

Причиною забруднення є скидання у водойми неочищених або недостатньо очищених стоків промисловими підприємствами та сільськогосподарськими об'єктами, залишки мінеральних та органічних добрив, які вимиваються з ґрунту. Такі стічні води можуть змінювати хімічний склад та органолептичні властивості природних вод. Практично усі поверхневі, ґрунтові й частково підземні води забруднені промисловими, побутовими, сільськогосподарськими стоками й не відповідають за якістю навіть ухваленим на сьогодні заниженим санітарним нормам.

Педосфера – оболонка Землі, схожа на інші геосфери, такі як літосфера, атмосфера та гідросфера, але утворена ґрунтом, тобто це поверхневий шар суші земної кори, якому властива родючість (здатність забезпечення умов життя для рослин). Термін буквально перекладається з грецької як «ґрунтова сфера».

Гумус – складний комплекс органічних речовин, який утворюється при розкладі й муміфікації органічних залишків, є важливою складовою частиною ґрунту (до 90 % органічної речовини ґрунту) і визначає його родючість. Гумус – це гетерогенна динамічна полідисперсна система високомолекулярних азотистих ароматичних сполук кислотної природи.

Уміст гумусу в поверхневих горизонтах ґрунтів коливається від 0,5 % до 20 %, різко або поступово зменшуючись з глибиною. Характерною особливістю гумусових речовин є їх гетерогенність, тобто наявність різних за стадією гуміфікації, молекулярною масою, хімічним складом, а значить, властивостями компонентів. Гумусні речовини поділяють на три групи сполук: гумінові кислоти, фульвокислоти, гуміни.

Через діяльність людини в педосфері спостерігаються глобальні аномалії: зростання ерозії та засоленості ґрунтів, спустошення земель; зменшення родючості ґрунтів; підкислення ґрунтів та накопичення в них токсичних елементів.

Практичні роботи

1. Відбір зразків ґрунту та підготовка до аналізу

З різних частин досліджуваної ділянки відбирають 100–200 г проб ґрунту. Проби вкладають в пакети, герметично їх зав'язують і зазначають на етикетці номер зразка ґрунту, дату і місце відбору. Проби висипають рівним ґрунтом на піддон рівним шаром, видаляють сторонні домішки (листя, кору, грудки, коріння, сміття). Описують структуру ґрунту (розсипчастий, грудкуватий, кам'янистий тощо) та його склад (наявність і кількість сторонніх домішок, переважний тип). Залишають ґрунт для висихання.

Пробу повітряно-сухого ґрунту висипають на аркуш паперу і розрівнюють шаром в 1–2 см, надають форми прямокутника, ділять його на чотири прямокутники або чотири трикутники і два з них

відкидають, а два з'єднують, перемішують і знову зменшують пробу методом квартування до 300–500 г. Зважують ґрунт.

Порції ґрунту розтирають дерев'яним шпателем у фарфоровій ступці і просіюють крізь сито з отворами 1 мм. Частину ґрунту, що залишилася на ситі, зважують і визначають її вміст у відсотках від загальної маси («ґрунтовий скелет»). Ґрунт, який пройшов крізь сито, називають «дрібноземом» і використовують для аналізу.

2. Визначення вологості ґрунту

У бюкс вміщують 1–2 г повітряно-сухого ґрунту, зважують на аналітичних терезах з точністю до 0,0002 г. Відкривають бюкс, вміщують у сушильну шафу і висушують пробу впродовж 5 год за температури 100–105 °С. Виймають бюкс, закривають пробкою і ставлять в ексікатор на 20–30 хв для охолодження, а потім знову зважують.

Масову частку гігроскопічної води визначають за формулою:

$$\omega (\text{H}_2\text{O}_{\text{ггр.}}) = (m_1 - m_2) \times 100/g, \%,$$

де m_1 – маса бюкса з ґрунтом до висушування (г), m_2 – маса бюкса з ґрунтом після висушування (г), g – маса проби до висушування (г).

3. Титриметричний метод визначення гідролітичної кислотності ґрунту

Для аналізу беруть середню пробу ґрунту, висушують на повітрі, просівають крізь сито діаметром 1 мм. На технічних терезах зважують (із точністю до 0,01 г) наважку ґрунту 30 г, переносять в колбу з товстого скла на 250–300 см³ (краще з притертою пробкою). Потім у неї додають 100 см³ 0,1 М розчину натрію ацетату. Суміш перемішують обертальним рухом, закривають колбу пробкою, вміщують на ротатор і збовтують упродовж 1 год.

Після цього суміш сильно струшують і фільтрують крізь сухий складчастий фільтр у суху колбу, намагаючись якомога більше перенести на фільтр ґрунту. Якщо фільтрат каламутний, першу порцію відкидають. Коли основна маса рідини буде відфільтрована, відбирають піпеткою 50 см³ фільтрату і переносять у конічну колбу на 100–250 см³, додавають 5–6 крапель фенолфталеїну і титрують 0,1 н розчином натрію гідроксиду до появи рожевого забарвлення, яке не зникає упродовж 30–60 с.

Гідролітичну кислотність ґрунту Γ_k виражають кількістю іонів Гідрогену, що містяться в 100 г ґрунту:

$$\Gamma_k = VK \times 5 \times 1,75/10, \text{ ммоль екв,}$$

де V – об'єм розчину NaOH, C = 0,1 моль/л, витраченого на титрування; K – поправочний коефіцієнт для переведення розчину NaOH до концентрації 0,1 моль/л; 5 – коефіцієнт для перерахунку результату на 100 г ґрунту; 1,75 – коефіцієнт перерахунку (середня величина, яка показує середнє значення гідролітичної кислотності, оскільки під час одноразової обробки ґрунту CH_3COONa кислотність витісняється неповністю); 10 – поправка для переведення концентрації H^+ у ммоль екв.

4. Визначення активної кислотності водної витяжки ґрунту

Беруть 20 г повітряно-сухого ґрунту, вносять у конічну колбу ємністю 100 см³, приливають 50 см³ дистильованої води, добре збовтують і залишають відстоюватись на ніч до повного осадження ґрунту і освітлення розчину. У розчин обережно, щоб не сколотити розчин, занурюють електроди рН-метра і вимірюють величину рН водної витяжки.

5. Визначення обмінної кислотності ґрунту

У колбу на 500 см³ вносять 100 г ґрунту, додають 250 см³ 1 М розчину калію хлориду і збовтують впродовж години. Збовтування можна замінити кип'ятінням впродовж 5 хв. Після цього витяжку фільтрують. Далі 50 см³ фільтрату вносять у хімічний стакан, кип'ятять впродовж 5 хв. для видалення CO_2 , титрують у гарячому стані 0,01 н розчином натрію гідроксиду за наявності 3–5 крапель фенолфталеїну до появи слабо рожевого кольору. Кількість 0,01 н розчину NaOH, витрачена на титрування 50 см³ витяжки, характеризує загальну обмінну кислотність у масі ґрунту, що припадає на об'єм фільтрату.

Обмінну кислотність (x), в мг-екв на 100 г ґрунту, обчислюють за формулою:

$$x = a \times 0,01 \times 100m,$$

де a – кількість точно 0,01 М розчину NaOH, витраченого на титрування витяжки, см³; m – розрахункова маса ґрунту, г; 0,01 – нормальність лугу для перерахунку результатів аналізу, мг-екв (1 мл нормального розчину містить 1 мг-екв); 100 – для перерахунку на 100 г ґрунту.

6. Визначення обмінної кислотності ґрунту, обумовленої іонами Гідрогену

У колбу вносять 50 см³ витяжки, кип'ятять впродовж 5 хв. для видалення CO₂ і додають 3 см³ 3,5 % розчину натрію фториду для зв'язування алюмінію. Після охолодження витяжку титрують 0,01 н розчином NaOH за наявності 3–5 крапель фенолфталеїну до появи слабо рожевого забарвлення. При цьому розчину лугу витрачається менше, ніж при визначенні загальної обмінної кислотності. Якщо проводять аналіз ґрунту, який не містить рухомого алюмінію, то результати першого і другого титрувань мають бути однаковими. Кількість лугу, витраченого на титрування 50 (100) см³ витяжки, відповідає вмісту в ній іонів Гідрогену без алюмінію. Обмінну кислотність, обумовлену іонами H⁺ (X₁ в мг-екв на 100 г ґрунту), визначають за формулою для обчислення загальної обмінної кислотності.

7. Відбір проб води, визначення активної кислотності

Відібрати з кожної простої проби (5–10 проб) по 100–200 см³ води, змішати й отримати середню пробу. Визначити рН та температуру води, записати значення в зошит і вирахувати їх середнє значення.

8. Визначення вмісту діоксиду карбону

У колбу наливають 100 см³ досліджуваної води (для запобігання насичення води оксидом карбону повітря, колбу не збовтувати). Додають 10 крапель індикатора фенолфталеїну (0,1 % розчин у 60 % етанолі). Поява рожевого забарвлення свідчить про відсутність у воді вільного оксиду карбону. Якщо вода залишилася безбарвною, її титрують 0,0277 М розчином натрію карбонату до появи ледь помітного рожевого забарвлення (під час титрування колбу не збовтують, а обережно обертають). Вміст CO₂ в мг/дм³ дорівнює об'єму розчину натрію карбонату, витраченого на титрування, помноженому на 10.

9. Визначення загальної твердості води

У конічну колбу на 200 см³ наливають 100 см³ води, додають 5 см³ буферного розчину, 10–15 мг сухої індикаторної суміші хромогену чорного з сіллю, перемішують і титрують розчином трилону Б до переходу червоно-фіолетового кольору в блакитний. Титрування проводять три рази до подібних результатів. Загальну твердість води C_х (ммоль-екв/дм³) розраховують за формулою:

$$C_x = \frac{C_{\text{тр.Б}} \times V_{\text{тр.Б}} \times 1000}{V(\text{H}_2\text{O})},$$

де: $C_{\text{тр.Б}}$ і $V_{\text{тр.Б}}$ – концентрація розчину трилону Б (моль-екв/ дм^3) та його об'єм, витрачений на титрування; $V(\text{H}_2\text{O})$ – об'єм проби води (см^3).

10. Фотометричне визначення іонів Fe^{3+} у воді

У колбу на 50 см^3 вносять 10 см^3 досліджуваного розчину, додають 30 см^3 $0,1 \text{ М}$ сульфосаліцилової кислоти, 5 см^3 ацетатного буферного розчину об'єм суміші доводять до мітки дистильованою водою. Через 10 хв. вимірюють оптичну густину за довжини хвилі в 540 нм. За допомогою калібрувального графіка знаходять концентрацію Fe^{3+} у мг/см^3 .

Для побудови калібрувального графіку готують п'ять стандартних розчинів, які мають $10, 20, 30, 40, 50 \text{ мкг } \text{Fe}^{3+}$ у 50 см^3 . Для цього у мірні колби на 50 см^3 вносять $1,0; 2,0; 3,0; 4,0$ та $5,0 \text{ см}^3$ робочого розчину Феруму, додають по 30 см^3 розчину сульфосаліцилової кислоти, 5 см^3 ацетатного буферного розчину і доводять об'єм до мітки дистильованою водою. Через 10 хвилин вимірюють оптичну густину проти холостої проби і будують калібрувальний графік в системі координат «оптична густина – концентрація Fe^{3+} ».

Концентрацію іонів Fe^{3+} у воді у мг/дм^3 розраховують за формулою:

$$C_{\text{Fe}^{+3}} = \frac{C \times V_1 \times 1000}{V(\text{H}_2\text{O})},$$

де: C – концентрація Fe^{3+} за калібрувальним графіком, мг/см^3 ; V_1 – об'єм, до якого розбавлена проба води, см^3 ; $V(\text{H}_2\text{O})$ – об'єм проби води, взятої для аналізу, см^3 .

Визначають відношення $C_{\text{Fe}^{3+}}$ до його ГДК ($\text{ГДКFe}^{3+} = 0,5 \text{ мг/дм}^3$), яке повинно бути менше одиниці.

11. Фотометричне визначення іонів NH_4^+ у воді

Для побудови калібрувального графіку в 6 мірних колб на 50 см^3 відбирають піпеткою відповідно $5, 10, 15, 20, 25, 30 \text{ см}^3$ стандартного розчину солі амонію, додають по 1 см^3 реактиву Неслера, доводять дистильованою безаміачною водою до мітки і залишають відстоюватись 10 хвилин . Вимірюють оптичну густину розчинів на спектрофотометрі за довжини хвилі $400\text{--}425 \text{ нм.}$ Для приготування розчину порівняння, у мірну колбу на 50 см^3 відбирають 1 см^3

реактиву Неслера і доводять водою до мітки. За результатами виміру оптичної густини стандартних розчинів будують графік її залежності від вмісту іонів H^+ у розчині в координатах: вміст іонів H^+ мг/см³ – оптична густина D.

У мірну колбу наливають 5–25 см³ досліджуваної води, додають 1 см³ реактиву Неслера, доводять дистильованою безаміачною водою до мітки і дають відстоятися впродовж 10 хвилин. Розчин порівняння готують як вказано вище. Вимірюють оптичну густину досліджуваного розчину за відношенням до розчину порівняння при довжині хвилі 400–425 нм.

За калібрувальним графіком знаходять вміст іонів амонію у пробі. Вміст іонів амонію у воді мг/дм³ розраховують за формулою:

$$m\text{NH}_4^+ = \text{CNH}_4^+ \times 1000 \times V,$$

де: CNH_4^+ – вміст іонів амонію, знайдений за калібрувальним графіком, мг/см³; V – об'єм води, взятої для аналізу, см³; 1000 – коефіцієнт перерахунку.

12. Визначення відносної запиленості повітря

Наносять 1 краплю води на предметне скло. Встановлюють предметне скло у вибраному місці на 15 хв. Готують мікропрепарат, накривши краплю з осілими пиловими часточками покривним скельцем. Вміщують мікропрепарат на предметний столик мікроскопа. Підраховують кількість пилових часточок у краплі і описують їх якісний склад (вигляд, структуру, взаємне розміщення, особливості будови тощо). Визначають кількість пилових часточок, що осіли впродовж 15 хв на поверхні краплі такої самої площі після витримання предметного скла з краплею в різних місцях одного й того ж приміщення, у різних приміщеннях.

13. Оцінка запиленості листя дерев

Листки одного виду тополі відбирають у досліджуваних місцях на висоті 1,5–2 м (висота шару повітря, яке вдихає людина) по 100–150 шт. Листя складають у пакети з кальки і доставляють у лабораторію, уникаючи струшування пилу. Одночасно для контролю відбирають листки з дерев, що ростуть у чистій зоні. У лабораторії з 30–50 листків пензликом змивають пил у заздалегідь зважену

випарювальну чашку. Чашку з пилом висушують у сушильній шафі за температури 105° С до сталої маси.

Масу пилу у розрахунку на один листок вираховують за формулою:

$$C \text{ (мг)} = (m_{\text{кінц.}} - m_{\text{поч.}})/N,$$

де: $m_{\text{поч.}}$ і $m_{\text{кінц.}}$ – маса чашки до і після висушування, мг; N – кількість листків, взятих для дослідження.

Обчислюють площу листка (S), помноживши довжину листкової пластинки на ширину і коефіцієнт 0,6. Результати записують у табл. 15. Кількість пилу обчислюють за формулою:

$$M = C/S, \text{ мг/см}^2.$$

Таблиця 15. Визначення запиленості листя дерев

Місце збирання зразків	Площа листків, см ²	Кількість пилу	
		мг/см ²	% до контролю

14. Визначення токсичності пилу

На середину годинникового скла наносять краплю культури найпростіших (для її приготування листя капусти відварюють 5–10 хв, відвар охолоджують, у нього вносять невелику грудочку ґрунту і витримують у термостаті за 25 °С упродовж 1–2 діб). Для запобігання розтікання краплі витяжки її положення можна зафіксувати, зробивши заздалегідь на предметному склі петлю з волосини. У центр краплі додають меншу краплю фільтрату пилу (1 г сухого пилу скляною паличкою розтирають у 25 см³ води і фільтрують). Годинникове скло розміщують під мікроскопом. У разі токсичності пилу спостерігають спочатку прискорення руху, потім уникнення найпростішими фільтрату пилу (розміщення по краях), далі сповільнення і припинення руху. За секундоміром відзначають час припинення руху найпростіших.

Фітонцидну активність (A) визначають за формулою:

$$A = 100/t,$$

де t – час припинення руху найпростіших.

Через деякий час стають помітними і морфологічні зміни. Картина загибелі найпростіших під дією суспензій різних рослин різна (розчинення – лізис, утворення пухирів та бульбашок, зморщування, припинення руху тощо).

Питання до самоконтролю:

1. Поняття про ноосферу?
2. Положення Вернадського про місце людини у біосфері?
3. Назвіть складові частини ноосфери?
4. Як можна розділити процеси техногенної міграції?
5. Назвіть техногенні геохімічні аномалії.
6. Назвіть основні техногенні забруднювачі атмосфери?
7. Назвіть глобальні аномалії атмосфери, які виникли внаслідок антропогенного впливу?
8. Назвіть глобальні аномалії гідросфери, що є причиною?
9. Що таке педосфера, та які глобальні аномалії спостерігаються?
10. Привести приклади та пояснити причини аномалій у педосфері.

ДОДАТКИ

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Період	ГРУПИ ЕЛЕМЕНТІВ										VIII							
	I	II	III	IV	V	VI	VII				Порядковий номер	Символ						
1	1 H Водень 1,0079 Гідроген										2 4,0028 Гелій	He						
2	2 Li Літій 6,941 Літій	3 Be Берилій 9,01218 Берилій	4 B Бор 10,811 Бор	5 C Вуглець 12,011 Карбон	6 N Азот 14,007 Нітроген	7 O Кисень 15,999 Оксиген	8 F Фтор 18,998 Флуор	9 Ne Неон 20,179 Неон										
3	3 Na Натрій 22,990 Натрій	4 Mg Магній 24,305 Магній	5 Al Алюміній 26,982 Алюміній	6 Si Силіцій 28,085 Силіцій	7 P Фосфор 30,974 Фосфор	8 S Сульфур 32,066 Сульфур	9 Cl Хлор 35,453 Хлор	10 Ar Аргон 39,948 Аргон										
4	4 K Калій 39,098 Калій	5 Ca Кальцій 40,078 Кальцій	6 Sc Скандій 44,956 Скандій	7 Ti Титан 47,88 Титан	8 V Ванадій 50,942 Ванадій	9 Cr Хром 51,996 Хром	10 Mn Манган 54,938 Манган	11 Fe Залізо 55,847 Залізо	12 Co Кобальт 58,933 Кобальт	13 Ni Нікель 58,69 Нікель								
5	5 Cu Мідь 63,546 Мідь	6 Zn Цинк 65,38 Цинк	7 Ga Галій 69,723 Галій	8 Ge Германій 72,59 Германій	9 As Арсен 74,922 Арсен	10 Se Селен 78,96 Селен	11 Br Бром 79,904 Бром	12 Kr Криптон 83,80 Криптон										
6	6 Rb Рубідій 85,468 Рубідій	7 Sr Стронцій 87,62 Стронцій	8 Y Ітрій 88,906 Ітрій	9 Zr Цирконій 91,224 Цирконій	10 Nb Ніобій 92,906 Ніобій	11 Mo Молибден 95,94 Молибден	12 Tc Технецій 98,906 Технецій	13 Ru Рутеній 101,07 Рутеній	14 Rh Родій 106,42 Родій	15 Pd Паладій 106,42 Паладій								
7	7 Ag Срібло 107,87 Срібло	8 Cd Кадмій 112,41 Кадмій	9 In Індій 114,82 Індій	10 Sn Станум 118,71 Станум	11 Sb Стибій 121,75 Стибій	12 Te Телур 127,60 Телур	13 I Йод 126,90 Йод	14 Xe Ксенон 131,29 Ксенон										
8	8 Cs Цезій 132,91 Цезій	9 Ba Барій 137,33 Барій	10 *La Лантан 138,91 Лантан	11 Hf Гафній 178,49 Гафній	12 Ta Тантал 180,95 Тантал	13 W Вольфрам 183,85 Вольфрам	14 Re Рений 186,21 Рений	15 Os Осній 190,2 Осній	16 Ir Ірідій 192,22 Ірідій	17 Pt Платина 195,09 Платина								
9	9 Au Золото 196,97 Золото	10 Hg Ртуть 200,59 Ртуть	11 Tl <th>Талій</th> <td>12 Pb Свинець 207,2 Свинець</td> <td>13 Bi Висмут 208,98 Висмут</td> <td>14 Po Полоній 209 Полоній</td> <td>15 At Астат 210 Астат</td> <td>16 Rn Радон 222 Радон</td> <td colspan="4"></td>	Талій	12 Pb Свинець 207,2 Свинець	13 Bi Висмут 208,98 Висмут	14 Po Полоній 209 Полоній	15 At Астат 210 Астат	16 Rn Радон 222 Радон									
10	10 Fr Францій 223 Францій	11 Ra Радій 226 Радій	12 *Ac <th>Актиній</th> <td>13 Th Торій 232,04 Торій</td> <td>14 Pa Празмітій 231,04 Празмітій</td> <td>15 U Ураній 238,03 Ураній</td> <td>16 Np Нептуній 237,05 Нептуній</td> <td>17 Pu Плутоній 244,06 Плутоній</td> <td>18 Am Америцій 243,06 Америцій</td> <td>19 Cm Курій 247,07 Курій</td> <td>20 Bk Берклій 247,07 Берклій</td> <td>21 Cf Каліфорній 251,09 Каліфорній</td> <td>22 Es Ейнштейній 252,09 Ейнштейній</td> <td>23 Fm Фермій 257,10 Фермій</td> <td>24 Md Мейтнерій 288,10 Мейтнерій</td> <td>25 No Нобелій 289,10 Нобелій</td> <td>26 Lr Лоуренцій 262,10 Лоуренцій</td>	Актиній	13 Th Торій 232,04 Торій	14 Pa Празмітій 231,04 Празмітій	15 U Ураній 238,03 Ураній	16 Np Нептуній 237,05 Нептуній	17 Pu Плутоній 244,06 Плутоній	18 Am Америцій 243,06 Америцій	19 Cm Курій 247,07 Курій	20 Bk Берклій 247,07 Берклій	21 Cf Каліфорній 251,09 Каліфорній	22 Es Ейнштейній 252,09 Ейнштейній	23 Fm Фермій 257,10 Фермій	24 Md Мейтнерій 288,10 Мейтнерій	25 No Нобелій 289,10 Нобелій	26 Lr Лоуренцій 262,10 Лоуренцій
11	11 Rg Рентгеній 281,10 Рентгеній	12 Cn Коперніцій 285,10 Коперніцій	13 Uut Унунтрій 289,10 Унунтрій	14 Fl Флеровій 289,10 Флеровій	15 Uup Унунпентій 289,10 Унунпентій	16 Lv Ліверморій 293,10 Ліверморій	17 Uus Унунсептій 293,10 Унунсептій	18 Uuo Унуноктій 294,10 Унуноктій										
R ₀		RO	R ₀ O ₃	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃	RH ₃							
R ₀ O		RO	R ₀ O ₃	RH ₃														

ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ТА ФОРМУЛИ ДЛЯ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Фізична величина	Символ	Формула для її визначення	Одиниці виміру
Відносна атомна маса	Ar	$Ar = \frac{m(\text{атома})}{\frac{1}{12}m(^{12}\text{C})}$	
Відносна молекулярна маса	Mr	$Mr = \sum Ar; Mr(\text{суміші}) = \chi_1 \cdot Mr_1 + \chi_2 \cdot Mr_2 + \dots$ $Mr(\text{спол.}) = \frac{Ar(\text{ел.}) \cdot N(\text{ел.})}{W(\text{ел.})}$	—
Кількість речовини	n	$n = \frac{m}{M}; n = \frac{V}{Vm}; n = \frac{N}{N_A}$	моль
Масова частка	W	$W = \frac{m(\text{розч. реч.})}{m(p - \text{ну})};$ $W = \frac{m(\text{чист. реч.})}{m(\text{суміші})};$ $W(\text{ел.}) = \frac{Ar(\text{ел.}) \cdot N(\text{ел.})}{Mr(\text{сполуки})}$	—
Об'ємна частка	φ	$\varphi = \frac{V(\text{розч. реч.})}{V(p - \text{ну})}; \varphi = \frac{V(\text{чист. реч.})}{V(\text{суміші})};$	—
Мольна частка	N ₁	$N_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + \dots + n}$	—
Молярна концентрація	C	$C = \frac{n}{V}$	моль/л
Молярна концентрація еквівалента	C _H	$C_H = \frac{n_{E.p.p-\text{ни}}}{V_{p-\text{ну}}}; n_{E.p.p-\text{ни}} = \frac{m_{p.p-\text{ни}}}{E_{p.p-\text{ни}}},$	моль/л

Молярна концентрація	См	$C_M = \frac{n_{p.p-ни}}{m_{p-ка}},$	моль/кг г
Маса	m	$m = \rho \cdot V; m = n \cdot M; m(реч.) = W \cdot m(p-ну)$	кг, г
Густина	ρ	$\rho = \frac{m}{V}; \rho = \frac{M}{Vm}$	г/см ³
Об'єм	V	$V = \frac{m}{\rho}; V = n \cdot Vm$	л, см ³

Відносні молекулярні маси (округлені) деяких органічних речовин

Органічні речовини	Радикали	-CH ₃ (15)	-C ₂ H ₅ (29)	-C ₃ H ₇ (43)	-C ₄ H ₉ (57)	-C ₆ H ₅ (77)
Вуглеводні:						
• алкани	H (1)	16	30	44	58	78
• алкени	CH ₂ =CH ₂ - (27)	42	56	70	84	104
• алкіни	CH≡C- (25)	40	54	68	82	102
• арени	C ₆ H ₅ - (77)	92	106	120	134	154
Галогенопохідні вуглеводнів	Cl- (35,5)	50,5	64,5	78,5	92,5	112,5
	Br- (80)	95	109	123	137	157
	I- (127)	142	156	170	184	204
Спирти, феноли	-OH (17)	32	46	60	74	94
Альдегіди	-CHO (29)	44	58	72	86	106
Карбонові кислоти	-COOH (45)	60	74	88	102	122
Етери	CH ₃ -O- (31)	46	60	74	88	108
	C ₂ H ₅ -O- (45)	60	74	88	102	122
Нітросполуки	-NO ₂ (46)	61	75	89	103	123
Аміни:						
• первинні	-NH ₂ (16)	31	45	59	73	93
• вторинні	CH ₃ NH- (30)	45	59	73	87	107

Примітка: У дужках наведено відносні молекулярні маси алкільних та фенільної груп.

МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН СІ

Основні одиниці СІ			
Фізична величина	Назва одиниці	Позначення	
		укр.	міжнар.
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Кількість речовини	моль	моль	mol
Термодинамічна одиниця	кельвін	К	K
Сила електричного струму	ампер	А	A
Сила світла	кандела	кд	cd
Деякі похідні одиниці СІ			
Площа	квадратний метр	м ²	m ²
Об'єм	кубічний метр	м ³	m ³
Швидкість	метр за секунду	м/с (м·с ⁻¹)	m/s
Молярна концентрація	моль на кубічний метр	моль/м ³	mol/m ³
Густина	кілограм на кубічний метр	кг/м ³	kg/m ³
Сила	ньютон	Н	N
Тиск, механічне напруження	паскаль	Па, Н/м ²	Pa, N/m ²
Енергія, робота	джоуль	Дж	J
Потужність, потік енергії	ват	Вт	W

ПРЕФІКСИ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ

Кратні одиниці			Частинні одиниці		
Множник	Префікс	Позначення	Множник	Префікс	Позначення
10 ¹	дека	да	10 ⁻¹	деци	д
10 ²	гекто	г	10 ⁻²	санти	с
10 ³	кіло	к	10 ⁻³	мілі	м
10 ⁶	мета	М	10 ⁻⁶	мікро	мк
10 ⁹	гіга	Г	10 ⁻⁹	нано	н
10 ¹²	тера	Т	10 ⁻¹²	піко	п
10 ¹⁵	пета	П	10 ⁻¹⁵	фемто	ф
10 ¹⁸	екса	Е	10 ⁻¹⁸	атто	а
10 ²¹	зета	З	10 ⁻²¹	zepto	з

Розчинність основ, кислот амфотерних гідроксидів і солей у воді за 20-25 °С

Аніони	Катіони																		
	H ⁺	NH ₄ ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Ag ⁺	Hg ²⁺
OH ⁻		P	P	P	P	M	M	P	H	H	H	H	H	H	H	H	H	–	–
F ⁻	P	P	M	P	P	M	M	M	M	P	P	P	M	H	M	P	P	P	#
Cl ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	M	P	P	H	P
Br ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	M	P	P	H	M
I ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	–	M	–	P	H	M
S ²⁻	P	P	P	P	P	#	#	P	#	#	H	H	H	#	H	H	H	H	H
SO ₃ ²⁻	P	P	P	P	P	M	M	M	–	–	P	M	M	–	M	–	M	H	#
SO ₄ ²⁻	P	P	P	P	P	P	M	H	P	P	P	P	P	P	M	P	P	M	P
NO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PO ₄ ³⁻	P	P	M	P	P	M	H	H	H	H	H	M	H	H	H	#	H	H	#
CO ₃ ²⁻	P	P	P	P	P	M	H	H	–	–	H	H	H	–	H	#	M	M	–
SiO ₃ ²⁻	H	–	H	P	P	H	H	H	–	–	H	H	H	–	H	–	H	H	–
CH ₃ COO ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	–	P	P	P	P	P

Умовні позначення:

- «P» – розчинна речовина (розчинність понад 1 г речовини в 100 г води);
- «M» – малорозчинна речовина (розчинність від 1 до 0,001 г речовини в 100 г води);
- «H» – практично нерозчинна речовина (розчинність менше 0,001 г речовини в 100 г води);
- «–» – речовина не існує;
- «#» – речовина існує, але реагує з водою (її розчинність визначити не можна).

Відносні молекулярні маси деяких неорганічних речовин

	H ⁺	NH ₄ ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Co ²⁺	Cu ²⁺	Ag ⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺
O ²⁻	18	-	30	62	94	40	56	153	102	152	71	72	160	75	80	232	81	128	217	223
OH ⁻	18	35	24	40	56	58	74	171	78	103	89	90	107	93	98	125	99	146	235	241
F ⁻	20	37	26	42	58	62	78	175	84	109	93	94	113	97	102	127	103	150	239	245
Cl ⁻	36,5	53,5	42,5	58,5	74,5	95	111	208	133,5	158,5	126	127	162,5	130	135	143,5	136	183	272	278
Br ⁻	81	98	87	103	119	184	200	297	267	292	215	216	296	219	224	188	225	272	361	367
I ⁻	128	145	134	150	166	278	294	391	408	433	309	310	437	313	318	235	319	366	455	461
N ³⁻	17	-	35	83	131	100	148	439	41	66	193	196	70	205	220	338	223	364	631	649
P ³⁻	34	-	52	100	148	134	182	473	58	83	227	230	87	239	254	355	257	398	665	683
S ²⁻	34	68	48	78	110	56	72	169	150	200	87	88	208	91	96	248	97	144	233	239
SO ₃ ²⁻	82	116	94	126	158	104	120	217	294	344	135	136	352	139	144	296	145	192	281	287
SO ₄ ²⁻	98	132	110	142	174	120	136	233	342	392	151	152	400	155	160	312	161	208	297	303
NO ₂ ⁻	47	64	53	69	85	116	132	229	165	190	147	148	194	151	156	154	157	204	293	299
NO ₃ ⁻	63	80	69	85	101	148	164	261	213	238	179	180	242	183	188	170	189	236	325	331
PO ₃ ⁻	80	97	86	102	118	182	198	295	264	289	213	214	293	217	222	187	223	270	359	365
PO ₄ ³⁻	98	149	116	164	212	262	310	601	122	147	355	358	151	367	382	419	385	526	793	811
HCO ₃ ⁻	62	79	68	84	100	146	162	259	210	235	177	178	239	181	186	169	187	234	323	329
CO ₃ ²⁻	62	96	74	106	138	84	100	197	234	284	115	116	292	119	124	276	125	172	261	267
SiO ₃ ²⁻	78	112	90	122	154	100	116	213	282	332	131	132	340	135	140	292	141	188	277	283
CN ⁻	27	44	33	49	65	76	92	189	105	130	107	108	134	111	116	134	117	164	253	259
SCN ⁻	59	76	65	81	97	140	156	253	201	226	171	172	230	175	180	166	181	228	317	323
MnO ₄ ⁻	120	137	126	142	158	282	278	375	384	409	-	294	413	297	302	227	303	350	439	445
ClO ₂ ⁻	68,5	85,5	74,5	90,5	106,5	159	175	272	229,5	254,5	190	191	258,5	194	199	175,5	200	247	336	342
ClO ₃ ⁻	84,5	101,5	90,5	106,5	122,5	191	207	304	277,5	302,5	222	223	306,5	226	231	191,5	232	279	368	374
ClO ₄ ⁻	100,5	117,5	106,5	122,5	138,5	223	239	336	325,5	350,5	254	255	354,5	258	263	207,5	264	311	400	406

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітична хімія: навч. посіб. / О. Іващенко та ін. Полтава: Полтавський держ. мед. ун-т, 2023. 162 с.
2. Аналітична хімія: підручник / Н. К. Федущак та ін. Вінниця: Нова Книга, 2012. 640 с.
3. Аналітична хімія. Якісний аналіз: навч.-метод. посіб. / Т.Д. Рева та ін. Київ: Медицина, 2017. 280 с.
4. Березан О. В. Органічна хімія: теорія, задачі, тести, відповіді: навч. посіб. Вид. 3-тє, зі змінами і допов. Тернопіль: Підручники і посібники, 2019. 208 с.
5. Білявський Г.О., Бутченко Л.І., Навроцький В.М. Основи екології: теорія та практикум: Навч. посіб. Київ: Лібра, 2002. 352 с.
6. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екології: підручник. Київ: Либідь, 2004. 408 с.
7. Біологічна і біоорганічна хімія: підручник 3-тє вид. Кн. 2. / Ю.І. Губський та ін. Київ: ВСВ «Медицина», 2021. 544 с.
8. Біологічна хімія: навч. посіб. / Л.І. Гребеник та ін. Суми: СумДУ, 2023. 380 с.
9. Біологічна хімія: підручник / Л.Ф. Павлоцька та ін. Суми: Університетська книга, 2021. 513 с.
10. Біоорганічна хімія: навч. посіб. / В.Г. Лендел та ін. 2-ге вид., перероб. та доп. Ужгород: Патент, 2008. 360 с.
11. Біоорганічна хімія: практикум навч. посіб. / Л.І. Остапченко та ін. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2019. 400 с.
12. Войтенко Л.В. Хімія з основами біогеохімії: навч. посіб. Київ: Наукова столиця. 2019. 400 с.
13. Гігієна та екологія: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2020. 472 с.
14. Голуб Н.П., Голуб Є.О., Козьма А.А., Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія: навч.-метод. посіб. Ужгород: Данило С.І. 2021. 147 с.
15. Гонський Я.І., Максимчук Т.П., Калинський М.І. Біохімія людини: підручник. Тернопіль: Укрмедкнига. – 2013. 744 с.
16. Горічко М.В., Пивоваренко В.Г. Органічна хімія. Реакції карбонільних сполук: навчальний посібник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2012. 352 с.
17. Даценко В.В., Хоботова Е.Б., Маракіна Л.Д., Нікітін В.І. Основи біогеохімії: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Харків: ХНАДУ, 2010. 114 с.
18. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посіб. Київ: Т-во «Знання», КОО, 2007. 422 с.
19. Дмитрук Ю.М., Бербець М.А. Основи біогеохімії: навч. посіб. Чернівці: Книги – ХХІ, 2009. 288 с.

20. Дорохов В.І., Павлюк г.В., Федішин Б.М. Біогеохімія: навч. посіб. Житомир: Полісся, 2004. 144 с.
21. Друзяк З.В. Лабораторний практикум з загальної і неорганічної хімії навч. посіб. Херсон: ХДТУ, 2002. 125 с.
22. Екологічна біохімія: навч. посіб / В.М. Ісаєнко та ін. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2005. 440 с.
23. Екологія: навч. посіб / Д.В. Лико та ін. Херсон: ОЛДПІЛЮС, 2020. 300 с.
24. Єгорова Т.М., Ісаєнко В.М. Основи біогеохімії: навч. посіб. Київ: НАУ, 2006. 160 с.
25. Загальна хімія: навч. посіб. / В.І. Булавін та ін. 2-ге вид., перероб. та доп. Харків: ХП, 2019. 376 с.
26. Зіменковський Б.С. Музиченко В.А., Ніженковська І.В., Сирова Г.О. Біологічна і біоорганічна хімія: підручник у 2-х кн. Книга 1. Київ: Медицина, 2014. 272 с.
27. Колесніков М.О. Екологічна хімія атмосфери. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. 108с.
28. Колесніков М.О. Пашенко Ю.П., Капінос М.В. Хімія з основами біогеохімії: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. 411 с.
29. Кононський О. І. Органічна хімія: навч. посіб. Київ: Дакор, 2003. 568 с.
30. Кононський О. І. Практикум з органічної хімії. Київ: Вища школа, 2002. 247 с.
31. Кононський О.І. Біохімія тварин. – Київ: Вища школа, 2006. 454 с.
32. Мехед О.Б., Яковенко Б.В., Третяк О.П. Біоорганічна хімія: навч. посіб. Чернівці: Чернігівський НПУ ім. Т.Г. Шевченка, 2013. 208 с.
33. Мешишен І.Ф., Пішак В.П., Григор'єва Н.П. Основи обміну речовин та енергії. Чернівці: Медуніверситет, 2005. 192 с.
34. Мітрясова О.П. Вступ до органічної хімії: навчальний посібник Київ: ВД «Професіонал», 2007. 400 с.
35. Мітрясова О.П. Хімічні основи екології: навч. посіб. Ірпінь: ВТФ «Перун», 1999. 192 с.
36. Мороз А.С., Луцевич Д.Д., Яворська Л.П. Медична хімія: навч. посіб. Вінниця: Нова Книга, 2008. – 776 с.
37. Назаренко І.І., Беребець М.А., Дмитрук Ю.М. Біогеохімія: навч. посіб. Чернівці: Рута, 2004. 140 с.
38. Неділько С.А., Попель П.П. Загальна і неорганічна хімія: задачі та вправи. Київ: Либідь, 2001. 400с.
39. Пивоваренко В.Г. Механізми органічних реакцій у розчинах: навч. посіб. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2019. 303 с.

40. Практикум з основ загальної хімії для організації лабораторних, семінарських занять і самостійної роботи з дисципліни «Загальна хімія» / В.І. Булавін та ін. Харків: ХПІ, 2017. 150 с.
41. Ранський А. П. Органічна хімія і екологія: навчальний посібник. Ч. 2. Ароматичні вуглеводні. Функціональні похідні. Вінниця: ВНТУ, 2012. 249 с.
42. Різак Г. В. Біоорганічна хімія: навч.-метод. посіб. Ужгород: ФОП Сабов А.М., 2024. 667с.
43. Різак Г.В. Методологія органічного синтезу: навч. посіб. Ужгород: ФОП Сабов А.М., 2024. 490 с.
44. Рудишин С.Д. Основи біогеохімії: навч. посіб. ВЦ: «Академія», 2013. 248 с.
45. Самойленко С.О., Отрошко Н.О., Аксьонова О.Ф., Добровольська В.О. Фізична та колоїдна хімія: навч. посіб. Харків: Світ Книг, 2021. 340 с.
46. Сирова Г.О., Петюніна В.М., Макаров В.О., Лук'янова Л.В. Основи біоорганічної хімії: навчальний посібник. Харків: ХНМУ, 2018. 238 с.
47. Склярів О.Я., Фартушок Н.В., Сойка Л.Д., Смачило І.С. Біологічна хімія з біохімічними методами дослідження: підручник. Київ: Медицина, 2009. 352 с.
48. Слободнюк Р.Є. Курс аналітичної хімії: навчальний посібник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 256 с.
49. Телегус В.С., Бодак О.І., Заречнюк О.С., Кінжибало В.В. Основи загальної хімії: навч. посіб. Львів: Світ, 2000. 424 с.
50. Ткаченко С.В., Грузнова С.В., Замай Ж.В. Загальна та неорганічна хімія: навч.-метод. посіб. Ч.1: Чернігів: НУЧК ім. Т.Г. Шевченка, 2020. 144 с.
51. Федорова Г.В. Практикум з біогеохімії для екологів: навч. посіб. Київ: «КНТ», 2007. 288 с.
52. Хімія з основами біогеохімії: навч. посіб. / Б.М. Федишин та ін. Житомир: ЖНАЕУ, 2010. 546 с.
53. Цехмістренко С.І. Основи біогеохімії: навч. посіб. / С.І. Цехмістренко та ін. Біла Церква, 2023. 183 с.
54. Цехмістренко С.І., Кононський О.І., Цехмістренко О.С. Біохімія тварин з основами фізичної і колоїдної хімії: практикум навч. посіб. Біла Церква, 2011. 216 с.
55. Черних В.П., Зіменковський Б.С., Гриценко І.С. Органічна хімія: підруч. для ВНЗ. Вид. 2-ге, випр. і доп. Харів: Оригінал, 2008. 752 с.
56. Шмандій В.М. Безденежних Л.А. Основи біогеохімії: навч. посіб. Херсон. ОЛДІПЛЮС. 2014. 192 с.
57. Щербакова Т.М., Гузенко О.М., Рахлицька О.М., Снігур Д.В. Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз: навч. посіб. Одеса: Одеський нац. ун-т ім. І.І. Мечникова, 2022. 292 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Сучасні методи аналізу водного середовища, ґрунтів і рослинності...	6
Практичні роботи.....	15
2. Основи фізичної та колоїдної хімії.....	26
2.1. Поверхневий натяг, сорбція та осмос	26
Практичні роботи.....	30
2.2. Реакція середовища та буферні розчини.....	34
Практичні роботи.....	42
2.3. Колоїдні розчини, одержання та властивості.....	46
Практичні роботи.....	54
2.4. Гелі. Емульсії. Піни. Аерозолі	60
Практичні роботи.....	66
3. Основи органічної хімії.....	71
3.1. Спирти. Карбонові кислоти	71
Практичні роботи.....	87
3.2. Етери, естери, жири	92
Практичні роботи.....	97
3.3. Вуглеводи.....	102
Практичні роботи.....	107
3.4. Білкові сполуки: амінокислоти, пептиди, білки	115
Практичні роботи.....	119
3.5. Пестициди	125
Практичні роботи.....	129
4. Основи біогеохімії.....	132
4.1. Характеристика хімічних елементів їх міграція та колообіг – основа живої та неживої природи	132
Практичні роботи.....	139
4.2. Біосфера як вищий ступінь організації природної системи.....	166

4.3. Функції живої речовини в біосфері.....	168
4.4. Біогеохімічні цикли макро- і мікроелементів.....	171
Практичні роботи.....	179
4.5. Біогеохімічне районування.....	181
4.6. Ноосфера та техногенез	184
Практичні роботи.....	189
Додатки	197
Список рекомендованої літератури	203

Навчальне видання

ХІМІЯ З ОСНОВАМИ БІОГЕОХІМІЇ

Поліщук Світлана Анатоліївна
Цехмістренко Світлана Іванівна
Поліщук Віталій Миколайович

Редактор: С.І. Цехмістренко
Комп'ютерна верстка та дизайн обкладинки: В.М. Поліщук
Набір: С.А. Поліщук

Підписано до друку 27.09.2024
Формат 60×84/16. Гарнітура Times.
Умовн.-друк. арк. 12,4.
Наклад 300 прим. Зам. № 11-63.

Надруковано СПДФО Пшонківський О.В.