

БІБЛІОТЕКА



МАН

Міністерство освіти і науки України  
Національна академія наук України  
Національний центр  
«Мала академія наук України»

**О.Л. Толстов, І.М. Бей**

# ЕКОЛОГІЧНА ХІМІЯ

*Оцінка стану  
навколишнього середовища  
та способи його покращення*

*Методичні вказівки та робочий зошит  
для проведення практичних занять*

**Київ – 2018**

Міністерство освіти і науки України  
Національна академія наук України  
Національний центр «Мала академія наук України»

**О.Л. Толстов, І.М. Бей**

**ЕКОЛОГІЧНА ХІМІЯ**  
**Оцінка стану навколишнього**  
**середовища та способи його покращення**

**Методичні вказівки та робочий зошит**  
**для проведення практичних занять**

**Київ – 2018**

Робочий зошит  
для виконання дослідницьких робіт за темою

**«Екологічна хімія.  
Оцінка стану навколишнього середовища  
та способи його покращення»**

Учня \_\_\_\_\_ класу

Навчального закладу \_\_\_\_\_

---

П.І.Б. \_\_\_\_\_

УДК 543.06:504.5:502.17

**Укладачі:** старший науковий співробітник Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України, кандидат хімічних наук **Олександр Леонідович Толстов**

науковий співробітник Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України, кандидат хімічних наук **Ірина Миколаївна Бей**

**Рецензент:** доцент кафедри фармацевтичної хімії та фармакогнозії ПВНЗ Київського медичного університету, кандидат хімічних наук, доцент **Наталія Василівна Гудзенко**

**Екологічна хімія. Оцінка стану навколишнього середовища та способи його покращення. Методичні вказівки та робочий зошит для проведення практичних занять / О.Л. Толстов, І.М. Бей. – К., 2018. - 95 с.**

Методичні вказівки та робочий зошит призначено для проведення практичних занять за темою «Екологічна хімія. Оцінка стану навколишнього середовища та способи його покращення».

Даний збірник містить теоретичні відомості та навчально-дослідні роботи для учнів загальноосвітніх навчальних закладів, в яких хімія є предметом поглибленого вивчення або викладається на академічному рівні. Матеріали практикуму можуть бути використані учнями при проведенні науково-дослідницьких робіт за шкільною програмою, при плануванні та виконанні дослідницьких проектів в межах робіт хімічних (хіміко-біологічних) секцій позашкільної освіти при загальноосвітніх, академічних установах, наукових центрах. При підготовці збірника були використані матеріали науково-освітнього журналу Американського хімічного товариства *Journal of Chemical Education* ([www.pubs.acs.org](http://www.pubs.acs.org)).

В збірнику наведені лабораторні роботи з різних напрямів хімії. Видання адресовано учасникам Всеукраїнських наукових хіміко-біологічних шкіл Малої академії наук України.

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>Вступ</b>	4
Хімічні реактиви і правила роботи з ними	4
Правила роботи і техніка безпеки в лабораторії	5
Перша допомога при нещасних випадках	8
<b>РОЗДІЛ 1. Повітря. Гігієнічна оцінка якості повітря та наслідки його забруднення</b>	9
Робота 1.1. Методика визначення вмісту CO <sub>2</sub> в повітрі	10
Робота 1.2. Визначення вмісту амоніаку в повітрі	14
Робота 1.3. Оцінка негативного впливу кислотного забруднення атмосфери	16
<b>РОЗДІЛ 2. Визначення окремих показників якості води. Способи усунення забруднень води</b>	24
Робота 2.1. Визначення загальної жорсткості води за допомогою комплексонометричного титрування	25
Робота 2.2. Пом'якшення води методом іонного обміну	29
Робота 2.3. Визначення вмісту кисню, розчиненого у воді	33
Робота 2.4. Визначення вмісту органічних речовин у воді. Окиснювальність природної води	38
Робота 2.5. Синтез магнітних нанокompatитів та їх застосування для видалення органічних забруднювачів з водного середовища	45
Робота 2.6. Біологічне забруднення водних середовищ. Оцінка ефективності методів очищення води від бактеріальних забруднень	52
<b>РОЗДІЛ 3. Аналіз ґрунтів</b>	62
Робота 3.1. Визначення типу ґрунту за окремими показниками	62
Робота 3.2. Визначення вмісту гумусу в ґрунті	70
<b>РОЗДІЛ 4. Принципи раціонального природокористування та ресурсозбереження</b>	74
Робота 4.1. Рослинні олії як сировина для виробництва палива та миючих засобів	74
Робота 4.2. Біодеградабельні полімерні матеріали на основі природних полісахаридів	86
Список рекомендованої літератури і корисних посилань	95

## ВСТУП

Методичний посібник розроблено для учнів 9-11 класів загальноосвітніх навчальних закладів, в яких хімія є предметом поглибленого вивчення або викладається на академічному рівні. Науково-дослідні роботи, представлені в посібнику спрямовані на поглиблене вивчення окремих розділів хімічної та біологічної наук як окремо, так на межі їх поєднання. Учні отримають уявлення про методи оцінки стану навколишнього середовища, фактори, що впливають на якість довкілля та способи її покращення з використанням сучасних наукових та технологічних досягнень. При виконанні експериментальних робіт учні ознайомляться з методами аналітичної хімії, мікробіологічного аналізу, основами нанотехнологій і зеленої хімії та принципами технологій ресурсозбереження.

В процесі виконання науково-дослідних робіт учні отримають знання та навички з виконання практичних досліджень, правил проведення експерименту в хімічній лабораторії. Для свідомого виконання лабораторних робіт, наведених в посібнику, учням необхідно мати та вміти застосовувати знання з різних розділів шкільної програми, що стосуються властивостей хімічних елементів та основних класів хімічних сполук, основ органічної хімії та колоїдної хімії, основних фізико-хімічних явищ, а також ознайомитися з теоретичним матеріалом, наведеним на початку дослідницьких робіт з даного збірника.

Науково-дослідницькі роботи в збірнику складаються з:

1. теми роботи;
2. теоретичної частини, що включає базові знання з даної теми;
3. опису роботи, що містить перелік обладнання та реагентів, послідовність виконання операцій, ретельне проведення яких забезпечує успішне виконання експерименту та його безпечність;
4. заключну частину, де виконавці записують послідовність дій, свої спостереження, висновки, проводять необхідні розрахунки. Також містить блок контрольних запитань, на які необхідно дати відповіді після проведення експерименту.

## ХІМІЧНІ РЕАКТИВИ І ПРАВИЛА РОБОТИ З НИМИ

Хімічними реактивами називають речовини, які використовують для проведення хімічних реакцій, застосовують для аналізу і синтезу речовин.

В залежності від ступеня чистоти хімічні реактиви класифікують на технічні («тех.»), чисті («ч.»), чисті для аналізу («ч.д.а.»), хімічно чисті («х.ч.»), особливо чисті («ос.ч.»). Чистота хімічних реактивів та кількість домішок регламентується Державними стандартами (ДСТ) та технічними умовами (ТУ) їх одержання. Для

більшості хімічних експериментів використовують реактиви кваліфікації «ч.», «ч.д.а.» або «х.ч.».

При роботі з хімічними реактивами необхідно дотримуватись наступних правил:

- реактиви зберігають у закритих кришками склянках для запобігання їх забруднення;
- для проведення досліду розчини та тверді речовини беруть у таких кількостях, яких вимагає методика експерименту;
- тверді реактиви обережно відбирають шпателем; розчини або реактиви, що знаходяться у рідкому стані – піпетками або крапельними дозаторами;
- надлишок реактиву не висипають і не виливають у посуд, з якого він був взятий, щоб запобігти забрудненню реактивів;
- концентровані розчини кислот та лугів, токсичних речовин знаходяться в витяжній шафі, де з ними і працюють.

При роботі в хімічній лабораторії необхідно дотримуватися певних правил і вимог техніки безпеки.

## **ПРАВИЛА РОБОТИ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ**

### *Загальні положення*

1. В хімічній лабораторії *категорично забороняється вживати їжу та напої.*
2. Перед початком роботи необхідно перевірити справність лабораторного обладнання та допоміжних приладів, цілісність хімічного посуду, наявність засобів індивідуального захисту. *Категорично забороняється працювати з несправним обладнанням.*
3. Перед початком кожного заняття в лабораторії необхідно зрозуміти мету роботи, ознайомитися з її теоретичним обґрунтуванням та порядком проведення. Приступати до виконання практичної роботи можна лише після дозволу викладача.
4. Під час роботи в лабораторії необхідно підтримувати чистоту і порядок на робочому місці, а також дотримуватись правил техніки безпеки. Безладдя та неакуратність при виконанні хімічних операцій часто призводять до нещасних випадків, пошкодження обладнання, реактивів та одягу, необхідності повторення експерименту.
5. Робота повинна бути організована таким чином, щоб при виконанні тривалих хімічних операцій, одночасно можна було б виконувати й іншу супутню роботу, яка передбачена порядком проведення експерименту.
6. *Основні правила роботи в хімічній лабораторії:*
  - 6.1. Хімічні реактиви, дистильовану воду, газ, електричну енергію в лабораторії слід використовувати економно.
  - 6.2. При використанні обладнання слід дотримуватись відповідних інструкції з експлуатації.

6.3. При роботі зі скляним хімічним посудом та обладнанням слід бути обережними і не застосовувати надмірної сили.

6.4. Не можна нагрівати пробірки з розчинами реагуючих речовин безпосередньо на відкритому полум'ї пальника, щоб запобігти розбризкуванню рідини, що може призвести до нещасних випадків та втрати досліджуваного розчину. Пробірки необхідно нагрівати на водяній бані, направляючи отвори в сторону від себе та інших працюючих. Не можна дивитись зверху в пробірку з рідиною, яку нагрівають.

6.5. У тих випадках, коли виникає необхідність перевірити запах речовин у пробірках чи склянках, в яких зберігаються рідини, необхідно легким рухом долоні руки направити потік повітря від посуду з реактивом до себе і обережно понюхати.

6.6. Всі роботи з речовинами, при взаємодії яких утворюються шкідливі для організму гази, речовини з неприємним запахом, необхідно проводити в витяжній шафі. *Категорично забороняється працювати з вказаними речовинами на робочому місці.*

6.7. Відпрацьовані розчини кислот, лугів тощо необхідно зливати в спеціально призначений посуд. Розчини, які містять сполуки Аргентуму, Меркурію, Церію, Плюмбуму необхідно зливати в окремий посуд для їх подальшої регенерації.

6.8. Необхідно пам'ятати, що більшість реакцій відбувається лише при створенні відповідних умов. Тому реактив слід додавати лише в спеціально підготовлений досліджуваний розчин (створене необхідне середовище, досягнута потрібна температура тощо). Якщо реакція перебігає в кислому або лужному середовищі, то не слід додавати неконтрольований об'єм розчину кислоти або лугу до досліджуваного розчину. Рідину необхідно ретельно перемішати і краплями додавати розчин кислоти або лугу, кожного разу перемішуючи суміш склянкою паличкою та контролюючи рН середовища, торкаючись цією паличкою індикаторного папірця.

6.9. Якщо необхідно перевірити можливість утворення осаду, то до пробірки вносять 2-3 краплі розчину, що аналізують, та 2-3 краплі реактиву.

6.10. Для забезпечення повноти осадження, після додавання реактиву і утворення осаду, необхідно перевіряти повноту осадження в окремій порції фільтрату. Якщо в контрольній пробі все ще спостерігається утворення осаду, осаджувач додають до основного реакційного середовища вводять додаткову порцію осаджувача. При повному осадженні контрольна проба фільтрату не повинна давати позитивну реакцію з осаджувачем.

6.11. Як правило, осаджування проводять при нагріванні, що забезпечує утворення крупнозернистого осаду, який легко відокремлюється від розчину.

## *7. Робота з кислотами і лугами*

7.1. Під час роботи з концентрованими кислотами та лугами необхідно бути обережним та слідкувати за тим, щоб вони не потрапили в очі, на шкіру і одяг.



7.2. При розведенні концентрованої сульфатної кислоти необхідно *обережно маленькими порціями приливати кислоту до води, а не навпаки*. Це пов'язано з тим, що при розведенні сульфатної кислоти виділяється велика кількість тепла, розчин може закипіти, почати розбризкуватись і завдати шкоди.

7.3. При переливанні великих об'ємів концентрованих кислот та лугів необхідно:

- одягнути гумові рукавички, фартух і захисні окуляри;
- балони з рідинами, що вставлені в корзини, помістити на підставку, а потім поволі нахилити і переливати крізь лійку в добре вимиті та висушені склянки;
- необхідні об'єми розчинів кислот та лугів слід відміряти піпеткою з використанням гумового балончику (груші);
- тверді луги та кислоти необхідно набирати за допомогою шпателя; при їх подрібненні очі слід захищати спеціальними окулярами.

#### *8. Робота зі шкідливими і отруйними речовинами*

8.1. При роботі зі шкідливими і отруйними речовинами (ціаніди, солі Барію, Меркурію, Плюмбуму, Арсенію, Купруму, металічна ртуть тощо) необхідно слідкувати за тим, щоб шкідливі або отруйні речовини не потрапили в організм (через шкіру, дихальні шляхи, шлунково-кишковий тракт).

8.2. Після роботи з такими речовинами необхідно добре вимити руки.

8.3. Заповнені ртуттю прилади необхідно розміщувати на спеціальні підставки-піддони, щоб у випадку пошкодження приладів основна маса ртуті потрапила на підставку, а не на робочий стіл чи підлогу. Якщо ртуть розлилась, її треба швидко та обережно зібрати механічним способом, за допомогою мідного дроту або пластинки, а потім засипати сіркою або залити розчином  $FeCl_3$ .

#### *9. Робота з горючими та легкозаймистими речовинами*

9.1. В лабораторії, в якій проводяться роботи з горючими та легкозаймистими речовинами забороняється використання відкритого полум'я. Горючі, легкозаймісті і леткі речовини не можна зберігати близько від джерел полум'я або сильно нагрітих електричних приладів (термостати, електричні печі, тощо). У лабораторії ці речовини необхідно зберігати в щільно закритих склянках невеликого об'єму.

9.2. Під час роботи з діетиловим етером, спиртами, бенzenом та іншими легкозаймистими речовинами, їх нагрівання проводять у витяжній шафі на водяній бані в колбі з зворотним холодильником.

9.3. Лугні метали спалахують при контакті з водою. Тому їх слід обов'язково зберігати під шаром вільного від води і вологи гасу або спеціальної олії. Під час роботи з металічними натрієм або калієм необхідно уникати їх контакту з водою. Після закінчення роботи залишки цих металів потрібно перенести в спеціально призначені для цього склянки.

#### *10. Робота з речовинами, що утворюють вибухові суміші*

10.1. Необхідно пам'ятати, що деякі гази (гідроген, метан, етин, карбон (II) оксид тощо), а також леткі речовини (карбон (IV) сульфід, бензен, гексан, спирти та інші),

при випаровуванні утворюють з повітрям (киснем) вибухові суміші. Для запобігання накопичення парів вибухонебезпечних речовин у приміщенні лабораторії працювати з ними необхідно при увімкненій витяжній вентиляції.

10.2. Забороняється нагрівати, піддавати удару або зберігати з іншими речовини, які утворюють вибухові суміші (хлорати, перхлорати, персульфати, перманганати та інші окисники).

### *11. Ліквідація осередків займання в лабораторії*

При виникненні пожежі в лабораторії необхідно негайно вимкнути всі електричні прилади і перекрити подачу газу. Місце пожежі необхідно засипати піском або накрити протипожежною ковдрою і загасити вогонь за допомогою вогнегасника. Застосовувати воду для гасіння пожежі в лабораторії треба обережно, тому що вода в деяких випадках сприяє збільшенню пожежі.

## **ПЕРША ДОПОМОГА ПРИ НЕЩАСНИХ ВИПАДКАХ**

Необхідно зазначити, що суворе дотримання інструкцій з охорони праці та правил техніки безпеки в хімічній лабораторії, а також обережне поводження з хімічними реактивами, посудом та обладнанням дозволяє попередити нещасні випадки (опіки, поранення, отруєння тощо).

*Якщо нещасний випадок все ж трапився, потерпілому необхідно надати першу допомогу:*

1. При потрапленні на шкіру кислот, пошкоджене місце слід інтенсивно промити чистою холодною водою, а потім обробити 1 % розчином харчової соди,  $\text{NaHCO}_3$ , для нейтралізації залишків кислоти.

2. При потрапленні на шкіру розчинів лугів пошкоджене місце промивають чистою холодною водою, а потім розбавленими розчинами оцтової або лимонної кислоти, або насиченим розчином борної кислоти.

3. При потрапленні на шкіру фенолу, бромом і подібних їм агресивних речовин необхідно негайно промити пошкоджене місце відповідними органічними розчинниками (спирт, бутилацетат тощо).

4. При отруєнні хлором, бромом, оксидами нітрогену потерпілому необхідно дати вдихати пари розведеного розчину амоніаку і випити молоко.

5. При термічних опіках шкіри на пошкоджену ділянку необхідно накласти стерильну пов'язку і доправити потерпілого до лікарні.

6. При порізах необхідно обережно промити рану 3 % водним розчином перекису водню (або обробити шкіру навколо рани спиртовим розчином йоду) і накласти стерильну пов'язку.

7. За необхідності після надання першої допомоги потерпілому, його доправляють до лікарні.

# РОЗДІЛ 1.

## ПОВІТРЯ. ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ТА НАСЛІДКИ ЙОГО ЗАБРУДНЕННЯ

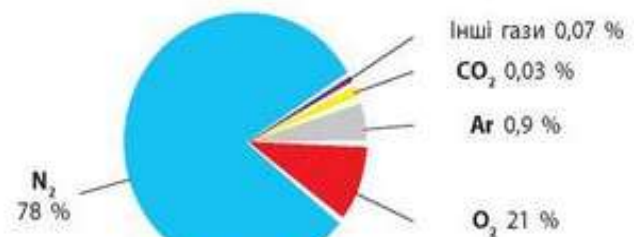
Повітряне середовище є необхідною умовою життя на Землі. Воно відіграє важливу роль в диханні всіх аеробних живих організмів: людини, тварин і рослин. Повітря постачає живим організмам кисень, видаляє продукти обміну речовин, забезпечує теплообмін. Не менш важливу роль атмосфера має і



для геологічних, гідролітичних та енергетичних процесів, що відбуваються на поверхні Землі. Повітря є джерелом деяких видів сировини – нітрогену, кисню, аргону та гелію. Повітряне середовище також використовується людиною у своїй господарській діяльності, внаслідок якої в атмосфері зростає рівень забруднень, в тому числі токсичних (накопичення шкідливих і отруйних газів, мікрочастинок, мікроорганізмів), що можуть перешкоджати нормальному функціонуванню живих організмів.



Протягом еволюції людський організм пристосувався до сприйняття різних факторів навколишнього середовища, в тому числі і до хімічного складу атмосфери Землі. Різкі зміни цих факторів, або перевищення гранично допустимих концентрацій тих чи інших газів в повітрі (відкритого простору, робочої зони, різних приміщень) можуть викликати порушення нормального функціонування організму людини і призвести до різноманітних захворювань, а в деяких випадках і до летальних наслідків. Так, вміст вуглекислого газу в повітрі відкритого простору (за умови відсутності поблизу промислових підприємств чи автомобільних трас з інтенсивним рухом) становить 0,03 об.%, що є абсолютно безпечним для людського організму. Однак при концентраціях в повітрі вище 3 об.%  $\text{CO}_2$  стає шкідливим для людини і тварин, а вище 10 об.% – смертельним.



Склад сухого повітря поблизу поверхні Землі

## Робота 1.1. Методика визначення вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі

### Посуд і обладнання:

Шприц 20 мл – 3 шт.  
Піпетка на 10 мл – 2 шт.  
Мірна колба 50 мл – 2 шт.  
Стакан хімічний 50 або 100 мл – 2 шт.  
Повітряна кулька  
Аркуш білого паперу

### Реактиви:

Стандартний 0,1 М розчин натрій карбонату (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)  
Індикатор фенолфталеїн, спиртовий розчин  
Підготовлена дистильована вода

### Техніка безпеки:

Роботу необхідно проводити дотримуючись загальних правил техніки безпеки в лабораторії використовуючи засоби індивідуального захисту – рукавички, халат.

### Загальні відомості:

Для визначення концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі існує декілька методик, однак в санітарній практиці для аналізу якості повітря робочої зони найбільш широко застосовується портативний експрес-метод Лунге-Цеккендорфа в модифікації Д.В. Прохорова.

Принцип метода засновано на пропусканні досліджуваного повітря крізь стандартний розчин натрій карбонату у присутності фенолфталеїну. При цьому відбувається наступна реакція:



З утворенням натрій гідрокарбонату рН середовища знижується, внаслідок чого забарвлення поглинального розчину змінюється від малинового до безбарвного.

За допомогою такого метода концентрація CO<sub>2</sub> (об.%) в повітрі досліджуваної зони визначається з порівняння об'ємів атмосферного повітря та повітря досліджуваної зони, які були витрачені на повне знебарвлення поглинального розчину. Вміст CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі, відповідно до його хімічного складу, становить 0,03 об.%.

### Хід досліду:

УВАГА! Для проведення експерименту дистильована вода має бути позбавлена розчиненого в ній вуглекислого газу. Для цього дистильовану воду нагрівають до кипіння в максимально заповненому скляному посуді, після чого посуд закривають корком та охолоджують до кімнатної температури! Підготовку води проводять безпосередньо перед роботою.

1. Приготувати робочі розчини натрій карбонату з концентрацією 0,01 М і 0,001 М:
  - 1.1. Піпеткою перенести 5 мл стандартного 0,1 М розчину Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в мірну колбу об'ємом 50 мл, довести об'єм розчину до мітки підготовленою дистильованою водою, перемішати і додати декілька крапель розчину фенолфталеїну для отримання насиченого малинового забарвлення.

- 1.2. В мірну колбу на 50 мл перенести 5 мл отриманого в п.1.1 0,01 М розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і довести об'єм розчину до мітки підготовленою дистильованою водою. Вміст колби перемішати і за необхідності додати таку кількість розчину фенолфталеїну, щоб інтенсивність забарвлення обох робочих розчинів (0,01 М і 0,001 М) були приблизно однакові.
2. Визначити об'єм атмосферного повітря, необхідний для знебарвлення поглинального розчину (забір проб повітря потрібно проводити подалі від джерел забруднень вуглекислим газом – промислових підприємств та автотрас). Для цього в шприц (без голки) об'ємом 20 мл набрати 2 мл 0,001 М робочого розчину. Тримавши шприц вертикально набрати в нього порцію досліджуваного повітря відкритої атмосфери (ззовні приміщень). Затиснути вхідний отвір шприца пальцем та енергійно потрясти шприц протягом 20 с, забезпечуючи максимальний контакт проби повітря з поглинальним розчином. Обережно, уникаючи розбризкування поглинального розчину, витиснути повітря зі шприца і набрати нову порцію досліджуваного повітря, фіксуючи об'єм кожної відібраної проби повітря. Процедуру заміни проб повітря повторити до повного знебарвлення розчину в шприці. Для більш точного визначення об'єму повітря необхідного для повного знебарвлення робочого розчину експеримент слід повторити, зменшивши при цьому об'єм проб повітря на останньому етапі до 5 мл.
3. Розрахувати об'єм атмосферного повітря, що був витрачений на знебарвлення робочого розчину, виходячи з кількості відібраних проб та об'єму шприца, який займає одна проба повітря.
4. За методикою, описаною в п.2-3 визначити об'єм повітря досліджуваної зони (в приміщенні: в начальному класі, жилій кімнаті тощо).
5. Розрахувати концентрацію  $\text{CO}_2$  (об.%) в повітрі досліджуваної зони виходячи зі співвідношення:

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{0,03 \cdot V_{\text{атм}}}{V_{\text{д.з.}}},$$

де 0,03 – концентрація вуглекислого газу в атмосферному повітрі, об.%;

$V_{\text{атм}}$  – об'єм атмосферного повітря, витрачений на повне знебарвлення робочого розчину, мл;

$V_{\text{д.з.}}$  – об'єм повітря досліджуваної зони, витрачений на повне знебарвлення робочого розчину, мл.

#### *Контрольні запитання і завдання*

1. Виходячи зі складу атмосферного повітря і концентрації робочого розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  розрахуйте теоретично необхідний об'єм атмосферного повітря для повної нейтралізації натрій карбонату. Порівняйте розраховані значення з експериментальними даними. Поясніть отримані результати.



$V_{атм}$  – об'єм атмосферного повітря, необхідний для повного знебарвлення 0,001 М робочого розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (за результатами виконання лабораторної роботи), мл;

$V_{видих}$  – об'єм видихуваного повітря, необхідний для повного знебарвлення 0,01 М робочого розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , мл.

3. Порівняйте власні результати із загальновідомими даними. Поясніть, чому для аналізу видихуваного повітря використовується більш концентрований розчин натрій карбонату. Чи можна для визначення об'ємів атмосферного і видихуваного повітря використовувати робочі розчини однакової концентрації? Відповідь обґрунтуйте.



## Робота 1.2. Визначення вмісту амоніаку в повітрі

### Посуд і обладнання:

Шприц 20-50 мл – 1 шт.  
Піпетка на 10 мл – 1 шт.  
Мірна колба 500 мл – 1 шт.  
Стакан хімічний 50 або 100 мл – 2 шт.  
Повітряна кулька  
Аркуш білого паперу

### Реактиви:

0,01 н. розчин сульфатної кислоти  
Індикатор метиловий жовтогарячий  
або метиловий червоний  
Дистильована вода

### Техніка безпеки:

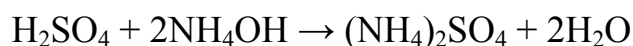
**Сульфатна кислота, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**, надзвичайно їдка речовина. Сильний окисник, обуглює органічні матеріали. Розчини сульфатної кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричинюють подразнення та опіки. При роботі з кислотою слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з нею потрібно у спецодязі і рукавичках.

### Загальні відомості:

Амоніак – газ, що характеризується високою токсичністю. Він легко розчиняється у воді з утворенням амоній гідроксиду. При потраплянні парів амоніаку в дихальні шляхи і взаємодії їх з вологою слизових оболонок виникає гостре подразнення і задуха, печіння, спазм бронхів і порушення кровообігу.

Джерелом утворення амоніаку є підприємства хімічної, металургійної промисловості, виробництво мінеральних добрив. В лабораторії амоніак в повітря може виділятися з негерметично закритих ємностей з розчином амоніаку. В невеликій кількості пари амоніаку можуть міститися і у видихуваному повітрі, часом це свідчить про наявність деяких захворювань.

Найбільш поширеними методами визначення вмісту амоніаку в повітрі з високою точністю є фотометрія та титриметрія. Однак в «польових» умовах для наближеного або порівняльного аналізу можна скористатися експрес-методом, заснованим на пропусканні через слабкий розчин сульфатної кислоти досліджуваного повітря. За наявності в повітрі амоніаку відбувається нейтралізація сульфатної кислоти за реакцією:



Завершення реакції спостерігають за зміною забарвлення поглинального розчину, що містить як індикатор метиловий жовтогарячий або метиловий червоний.

### Хід досліду:

1. Приготувати поглинальний розчин. Для цього додати до 500 мл дистильованої води 6 мл 0,01 н розчину сульфатної кислоти і декілька крапель розчину



індикатора метилового жовтогарячого або метилового червоного. Закрити колбу корком і перемішати розчин.

2. Одягти рукавички. В шприц (без голки) об'ємом 20-50 мл (об'єм шприца залежить від можливого вмісту амоніаку в повітрі, чим більшим є його ймовірний вміст, тим менший за об'ємом шприц можна обрати) набрати 5 мл робочого розчину сульфатної кислоти. Тримаючи шприц вертикально набрати в нього порцію досліджуваного повітря. Затиснути вхідний отвір шприца пальцем та енергійно потрясти шприц протягом 20 с, забезпечуючи максимальний контакт проби повітря з поглинальним розчином. Обережно, уникаючи розбризкування поглинального розчину, витиснути повітря зі шприца і набрати нову порцію досліджуваного повітря, фіксуючи об'єм кожної відібраної проби повітря. Процедуру заміни проб повітря повторити до повного знебарвлення розчину в шприці.
3. Розрахувати об'єм досліджуваного повітря, що був витрачений на нейтралізацію сульфатної кислоти, виходячи з кількості відібраних проб ( $n$ ), та об'єму шприца, який займає одна проба повітря ( $v_n$ ):

$$V = n \cdot v_n$$

4. Розрахувати концентрацію  $\text{NH}_3$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в повітрі досліджуваної зони за формулою:

$$X_{\text{NH}_3} = \frac{0,00204 \cdot V_{\text{розч.}}}{V_{\text{пов.}}} \cdot 10^6,$$

де 0,00204 – кількість амоніаку (мг), необхідного для повної нейтралізації сульфатної кислоти, що міститься в 1 мл поглинального розчину;

$V_{\text{розч.}}$  – об'єм поглинального розчину, мл;

$V_{\text{пов.}}$  – об'єм досліджуваного повітря, мл;

$10^6$  – коефіцієнт перерахунку вмісту амоніаку (мг) на  $1 \text{ м}^3$ .

#### Контрольні запитання

1. Спробуйте самостійно вивести формулу для розрахунку вмісту амоніаку в досліджуваному повітрі.
2. Поясніть, чому для визначення вмісту амоніаку в повітрі можна скористатися правилом еквівалентів.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

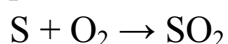
---

### Робота 1.3. Оцінка негативного впливу кислотного забруднення атмосфери

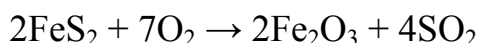
Забруднення повітря промисловими викидами є суттєвою та актуальною проблемою сьогодення. Металургійна промисловість, підприємства енергетичної галузі є джерелами забруднення атмосфери кислотоутворюючими газами –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ .

Найбільш масштабне та небезпечне кислотне забруднення атмосфери пов'язане саме з Сульфур (IV) оксидом,  $\text{SO}_2$  – одним з напівпродуктів промислового виробництва сульфуровмісних кислот (сульфатної, сульфітної, їх органічних похідних).

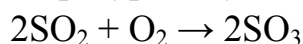
Первинним етапом цього процесу є окиснення Сульфуру Оксигеном повітря, що відбувається за підвищеної температури:



На підприємствах енергетичної галузі, що використовують вугілля для виробництва електричної енергії, як домішки до основної сировини завжди присутні сульфуровмісні мінерали (пірит чи марказит із загальною формулою  $\text{FeS}_2$ ), які в умовах горіння вугілля також утворюють кислотний оксид  $\text{SO}_2$ :



Подальша реакція приєднання Оксигену та Сульфур (IV) оксиду є зворотною та екзотермічною, тому за високих температур відбувається дуже повільно:



Але не в цьому випадку. Як відомо зі шкільної програми цей процес в промисловому масштабі є каталітичним, як каталізатор зазвичай використовують Ванадій (V) оксид  $\text{V}_2\text{O}_5$  та реакція відбувається за температури  $180^\circ\text{C}$ . Інші оксиди перехідних металів також можуть виконувати роль каталізаторів цього процесу, наприклад  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , уникнути контакту з котрим молекулам  $\text{SO}_2$  практично неможливо, оскільки він у високодисперсному стані утворюється при згорянні піриту, або його шар завжди є на металевому обладнанні, що працює за високих температур (печі для спалювання вугілля). Окисненню  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  при його потраплянні в атмосферу також сприяє ультрафіолетове випромінювання.



Ну й звичайно, останній етап – це утворення кислот з кислотних оксидів:



Ці кислоти здатні негативно впливати на живі організми (рослини, тварини, людину), завдавати високої руйнуючої дії штучним матеріалам (метал, бетони, полімерні матеріали тощо).

Яким чином це відбувається? Спробуємо це дізнатися експериментальним шляхом.

### **Частина 1. Вплив кислотного забруднення атмосфери на штучні матеріали – тканини <sup>1</sup>.**

Сучасне життя людини безпосередньо пов'язане з низкою штучних матеріалів. Основу таких матеріалів, які зазвичай використовують для виготовлення одягу, складають поліамідні (нейлон, капрон та ін.) та поліестерні (лавсан, терелен, дакрон та ін.) волокна.

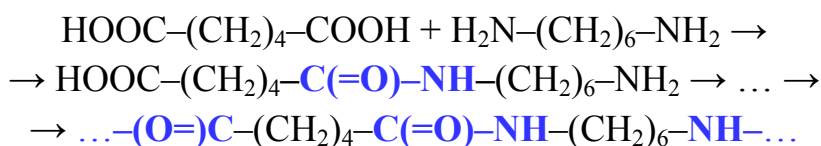


Традиційний виріб з поліамідних волокон – мотузки для альпіністського спорядження

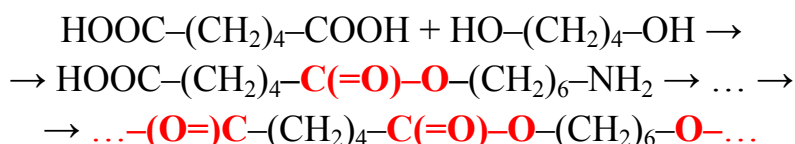


Розмаїття тканин, виготовлених з поліестерних волокон

Як зрозуміло з назв, основу поліамідних волокон складають полімери поліаміди. З хімічної точки зору поліаміди являють собою довгі молекули, що утворюються при взаємодії мономерів – органічних дикарбонових кислот  $\text{HOOC-R-COOH}$  (наприклад  $\text{HOOC-(CH}_2)_4\text{-COOH}$ ) з органічними діамінами  $\text{H}_2\text{N-R-NH}_2$  (наприклад  $\text{H}_2\text{N-(CH}_2)_6\text{-NH}_2$ ) за підвищеної температури. При цьому залишки молекул мономерів зв'язуються між собою амідними зв'язками  $\text{-C(=O)-NH-}$ . Спрощена схема утворення молекул поліамідів є такою:

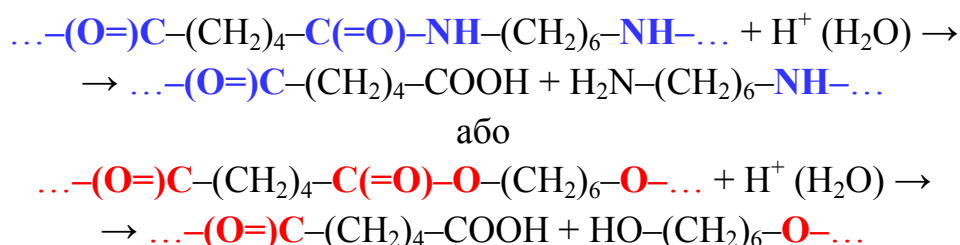


Аналогічним чином утворюються поліестери, що складають основу поліестерних волокон, але замість органічних діамінів в цьому випадку використовують органічні двоатомні спирти – діоли, та зв'язки між окремими фрагментами молекул не амідні, а естерні  $\text{-C(=O)-O-}$ . Як приклад, процес утворення поліестерів можна представити наступною схемою:



Але чому кислотне забруднення має на такі матеріали негативний вплив? Це пов'язано з нестабільністю амідних та естерних зв'язків у кислому середовищі. Під дією кислот відбувається розрив амідних (естерних) зв'язків з утворенням їх першооснов – кислот та амінів (або спиртів):

<sup>1</sup> За основу взято матеріал статті D.J. Campbell, E.A. Wright, M.O. Dayisi et al., J. Chem. Educ. 88 (2011) 387-391.



Зазвичай цей процес відбувається тривалий час, оскільки концентрація кислотоутворюючих сполук в повітрі досить низька, але цей процес можна прискорити та зробити яскраву демонстрацію руйнуючої дії кислоти на штучні матеріали.

### *Прискорений ефект «кислотного дощу»*

*Посуд і обладнання:*

Чашки Петрі

Піпетка Пастера

Скляні палички

*Реактиви:*

Зразок поліамідної (поліестерної) тканини

Сульфатна кислота

Дистильована вода

#### *Техніка безпеки:*

**Сульфатна кислота, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,** надзвичайно їдка речовина. Сильний окисник, обуглює органічні матеріали. Розчини сульфатної кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричинюють подразнення та опіки. При роботі з кислотою слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з нею потрібно у спецодязі і рукавичках.

#### *Хід досліду:*

1. Невеликий шматочок поліамідної (нейлона) або поліестерної ( ) тканини розмістити та вирівняти в чашці Петрі. Для кожного зразка використовувати окрему чашку Петрі!
2. За допомогою піпетки Пастера нанести декілька крапель сульфатної кислоти на поверхню тканини. Спостерігати за змінами, що відбуваються в місці контакту тканини та кислоти

Для пришвидшення процесу руйнування тканини необхідно використовувати сульфатну кислоту з концентрацією не менше 4 М!

3. Через деякий час, коли зміни, що відбулися з тканиною, будуть добре помітні, помістити зразок тканини під проточну воду та ретельно, не торкаючись руками місця кислотної обробки, промити під проточною водою. Що відбулося з тканиною? Спробуйте оцінити вручну як змінилася міцність тканини після її обробки кислотою.
4. Записати результати спостереження в таблицю

Зразок тканини	Спостереження (зовнішній вигляд, колір, міцність)	
	до обробки	після обробки кислотою

### *Моделювання промислового процесу каталітичного утворення сульфатної кислоти та її дії на штучні матеріали*

*Посуд і обладнання:*

Термостійка колба на 100 мл.  
Хімічний стакан на 100 мл  
Шпатель  
Електронні ваги  
Електрична плитка

*Реактиви:*

Зразок поліамідної (поліестерної) тканини  
Натрій бісульфіт або натрій сульфід  
Дистильована вода  
Ферум (III) оксид

***Техніка безпеки:***

**Сульфур (IV) оксид, SO<sub>2</sub>** – газувата сполука, що подразнює органи дихання. Працювати зі сполуками, що здатні виділяти SO<sub>2</sub>, потрібно в добре вентильованих приміщеннях.

**Нагрівальні прилади.** Робота з ними та нагрітим посудом потребує особливої уваги та серйозного ставлення для попередження можливих опіків.

***Хід досліду:***

1. В конічній колбі об'ємом 100 мл розчинити 4 г натрій бісульфіту або натрій сульфід у 60 мл дистильованої води.
2. Шматком тканини (поліамідної або поліестерної) розміром 4 см x 4 см накрити горловину колби та зафіксувати тканину в такому положенні проволокою або ниткою.
3. Покласти на поверхню тканини за допомогою шпателя близько 0,03 г (на кінчику шпателя) тонко подрібненого порошку Ферум (III) оксиду (каталізатор). Потрапляння каталізатора при просіюванні частини порошку крізь отвори між волокнами тканини в розчин не впливає на хід хімічної реакції.
4. Обережно помістити колбу на електричну плитку (або інший нагрівальний пристрій) та нагріти її вміст до кипіння.
5. Коли розчин в колбі добре нагріється (до кипіння!!!), закрите горловину колби хімічним стаканом таким чином, щоб він розміщувався під певним кутом, до

горловини, не торкався її та поверхні тканини з розміщеним на ній каталізатором, та забезпечував відведення конденсату по стінці стакану від зразка тканини. Не дозволяти потрапляння конденсату на поверхню зразка тканини!

6. Слід пам'ятати, що процес окиснення  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  досить повільний та може продовжуватися протягом кількох годин, тому варто набратися терпіння. Через певний час процес руйнування тканини можна спостерігати по зміні її кольору або, навіть, по руйнуванню окремих волокон.
7. Якщо протягом 3-4 годин видимих змін не відбулося, варто залишити прилад **на вимкнутій!** плитці повільно охолоджуватися протягом ночі.
8. За бажанням можна перевірити й інші оксиди металів як каталізатори перетворення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$ . Використання  $\text{V}_2\text{O}_5$  для цієї мети в шкільній лабораторії або при проведенні цього експерименту вдома не рекомендується через його високу токсичність. Записати результати спостереження.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## ***Частина 2. Вплив кислотного забруднення атмосфери на мешканців світового океану<sup>2</sup>.***

За даними світових спостерігачів потрапляння Карбон (IV) оксиду в атмосферу у наші часи збільшилося на 40 % у порівнянні з доіндустріальним періодом розвитку людства, переважно завдяки інтенсивному спалюванню різних видів палива та інших, вторинних джерел  $\text{CO}_2$  антропогенного походження. Колосальні водні ресурси світового океану мають надзвичайну здатність поглинати «надлишки» діяльності людства, зокрема розчиняти близько 30 % від загальної кількості антропогенного  $\text{CO}_2$ . Але навіть для такої великої екосистеми це не проходить безслідно, спричиняючи його небажану ацидифікацію (англ. «acid» – кислота):



Станом на 2013 рік середнє значення рН океану зменшилось з 8,2 до 8,1, але тенденція подальшого падіння цього важливого для всієї біологічної системи

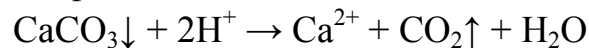
<sup>2</sup> За основу роботи взято матеріал статті A.P. Perera, A.M.R.P. Wopegedera, J. Chem. Educ. 91 (2014) 1951-1953.

показника досі зберігається. Найбільш критичним є зниження рН для мешканців океану зі скелетним утворенням вапнякового (карбонатного) походження – більш відомим як мушля.

Ні для кого не секрет, що карбонати металів у кислому середовищі є нестійкими до дії кислот. Мушлі багатьох морських мешканців та деяких живих організмів, що живуть на суші, складаються з природних мінералів карбонатної природи – кальциту, арагоніту, основа яких складається з Кальцій карбонату  $\text{CaCO}_3$ .



У кислому середовищі Кальцій карбонат здатен розчинятися, що негативно впливає на життєві функції тварин з карбонатним екзоскелетом:



Аналогічний ефект розчинення Кальцій карбонату можна спостерігати у водних середовищах, насичених  $\text{CO}_2$ :



Використовуючи стандартні розчини з різним рівнем рН спробуйте оцінити вплив забруднення атмосфери  $\text{CO}_2$  на ацидифікацію світового океану та його мешканців.

*Посуд і обладнання:*

Мірні циліндри на 100 мл  
Хімічні стакани на 200 мл  
Ваги електронні  
Пінцет  
Фільтрувальний папір  
рН-метр

*Реактиви:*

Буферні розчини з рН < 8,5  
Дистильована вода

***Техніка безпеки:***

Роботу необхідно проводити дотримуючись загальних правил техніки безпеки в лабораторії використовуючи засоби індивідуального захисту – рукавички, халат.

***Загальні відомості:***

Роль буферних розчинів в даній роботі полягає в імітації різних рівнів забруднення (ацидифікації) окремих районів світового океану. Для виконання роботи можна обрати середовища з різним рН (за наявності). Як модель живого організму можна

обрати мушлі морських молюсків вагою ( для зменшення впливу похибки зважування) в межах 5-10 г.

**Хід досліду:**

1. Кількість мушель, необхідних для аналізу визначається кількістю доступних для роботи буферних розчинів з різним значенням рН. Зважити кожен мушлю та записати її масу в таблицю.
2. В хімічний стакан об'ємом 200 мл налити 100 мл буферного розчину і нанести відповідне маркування. За допомогою рН-метра зафіксувати початковий рН обраного вами середовища.
3. Занурити зважену мушлю в розчин, і залишити її в розчині на 30 хв. час від часу перемішуючи вміст стакану (можна скористатися магнітною мішалкою в режимі низьких обертів, щоб уникнути механічного пошкодження мушлі) і перевіряючи рівень рН середовища. У разі помітної зміни рН буферний розчин необхідно злити та замінити його на нову порцію.
4. Через 30 хв зупинити перемішування, обережно дістаньте мушлю за допомогою пінцета, промийте її дистильованою водою, промокнути фільтрувальним папером та висушити в теплому вентиляваному місці протягом 5-10 хв. Мушлю зважите, результати записати в таблицю.
5. Повторити процедуру, описану в пп. 2-4, ще 3-4 рази або до отримання очевидних змін. Для коректного аналізу впливу величини рН при дослідженні різних середовищ час витримки мушель в кожному з них має бути однаковим.
6. За отриманими результатами розрахувати втрату маси ( $\Delta m_{pH}$ , %) мушлею за певного значення рН середовища:

$$\Delta m_{pH} = \frac{m_0 - m}{m_0} \cdot 100\%$$

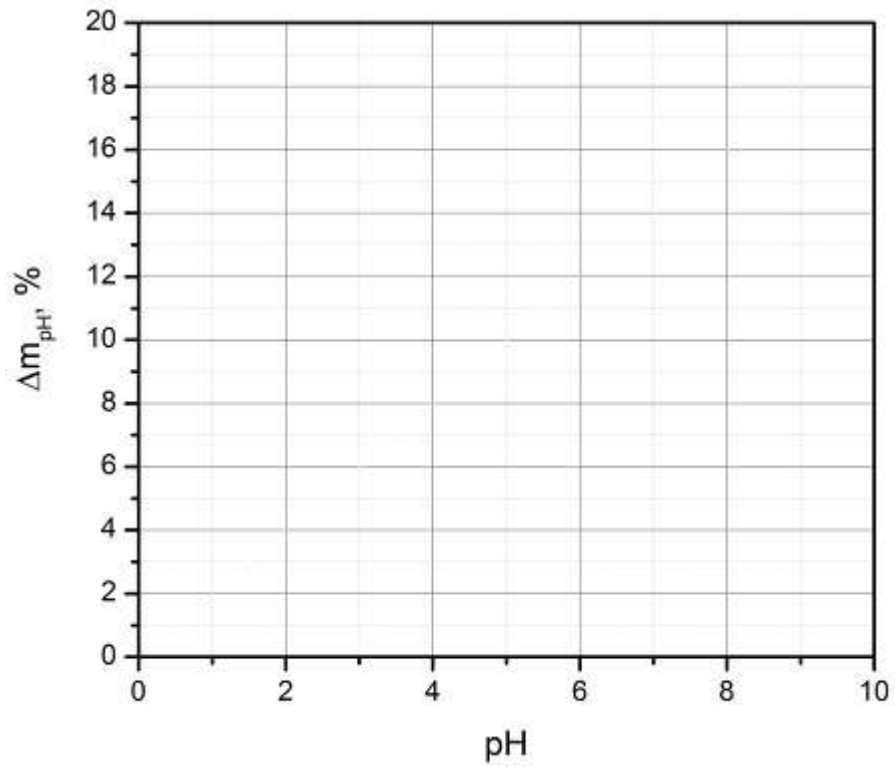
де  $m_0$  – вихідна маса мушлі (г);

$m$  – маса мушлі після витримання у розчині з певним рН (г).

7. За результатами власних досліджень та результатами, отриманими колегами, побудувати графік залежності втрати маси мушлею ( $\Delta m_{pH}$ ; вісь Y) від рН середовища (вісь X).

рН середовища	Вихідна маса мушлі, $m_0$ , г	Маса мушлі після перебування в середовищі, $m$ , г	Втрата маси мушлі, $\Delta m_{pH}$ , %





*Контрольні запитання:*

1. Що відбувається з мушлею при зміні рН середовища?
2. За якого значення рН відбувається найбільш помітна втрата маси мушлі?
3. Подумайте, яким чином зміна властивостей мушлі може впливати на життєздатність та життєдіяльність її «господаря».

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ. СПОСОБИ УСУНЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ВОДИ.

Воду справедливо можна вважати однією з найважливіших хімічних сполук на Землі. В першу чергу, без води життя на нашій планеті, в тому вигляді, яким ми його знаємо, просто не змогло б існувати. Адже вода є незамінним компонентом всіх без виключення живих клітин, а для багатьох живих організмів є ще й середовищем існування. Крім того, в певному сенсі, вода забезпечує життєтійальність не лише окремих живих організмів, а й всієї нашої планети загалом, оскільки клімат на Землі безпосередньо залежить від кругообігу води в природі. Не менш важливою роллю води як природного ресурсу, з точки зору існування та розвитку людства, є забезпечення господарської та промислової діяльності людей.



Людство використовує воду в промисловості, сільському і комунальному господарстві як сировину, реагент, середовище для різноманітних технологічних процесів, джерело енергії тощо. Для забезпечення максимальної ефективності використання, в залежності від призначення та сфери її застосування, вода має відповідати певним вимогам – своєрідному переліку кількісних та якісних показників. В окремих випадках, як, наприклад, для питної води – води, яку людина використовує для безпосереднього вживання або приготування їжі, ці показники жорстко регламентуються державою. В Україні якість питної води визначається Державними санітарними нормами та правилами "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Ці норми містять широкий перелік показників за епідемічною безпекою (відсутність окремих мікроорганізмів та паразитів), санітарно-хімічні показники безпечності та якості (органолептичні властивості, вміст окремих хімічних елементів та сполук), токсикологічної (максимально допустимий вміст/відсутність отруйних речовин) та радіаційної безпеки.

## Робота 2.1. Визначення загальної жорсткості води за допомогою комплексонометричного титрування

В природі не існує абсолютно чистої, з хімічної точки зору, води. Вода, будь-якого природного походження, містить у своєму складі розчинні солі та/або гази (азот, кисень тощо). Присутність у воді катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  зумовлює одну з найбільших проблем якості води і робить її непридатною не лише для безпосереднього вживання людиною, але й майже для всіх галузей промисловості і сфер господарювання. Воду з високим вмістом катіонів Кальцію та Магнію називають **жорсткою** (відповідно, воду, в якій концентрації цих катіонів незначні – **м'якою**). Розрізняють **тимчасову**, або карбонатну (якщо Кальцій та Магній знаходяться у воді у вигляді кислих карбонатних солей –  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) і **постійну** жорсткість води (в цьому випадку жорсткість зумовлюється наявністю сульфатів і хлоридів Кальцію і Магнію). Тимчасову жорсткість можна відносно легко усунути шляхом кип'ятіння. Саме відносна легкість усунення цього виду жорсткості і зумовила її назву. Постійну



жорсткість усунути шляхом кип'ятіння неможливо, вирішення цієї проблеми потребує використання спеціальних реагентів і операцій, саме тому жорсткість, зумовлена солями хлоридів і сульфатів Кальцію та Магнію має назву постійної жорсткості.

В такій воді мило (і більшість інших пральних засобів) втрачає свою мийну здатність через утворення катіонами Кальцію та Магнію нерозчинних сполук з аніонами жирних кислот (наприклад стеаринової кислоти), які у вигляді солей лужних металів є одними з основних складових мийних засобів. Отже таку воду не можна використовувати для прання як у побуті, так і у пов'язаних з цим процесом галузях промисловості (фарбування тканин, миття шерсті тощо).

Вода з високим вмістом  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  не може використовуватись і як теплоносій в системах нагріву та опалення, оскільки при високих температурах (кип'ятінні) утворює так званий накип, який знижує ефективність тепловіддачі, що призводить до зростання енерговитрат, пошкоджує стінки котлів і нагрівальні поверхні, що може бути причиною аварій на тепломережах та поломки побутової техніки (електрочайники, пральні машини).



Жорстку воду не рекомендується пити, оскільки постійне її вживання через накопичення зайвих солей в організмі людини може стати причиною проблем з

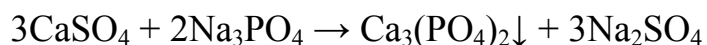
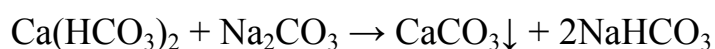
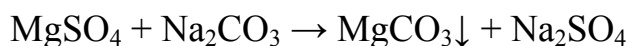
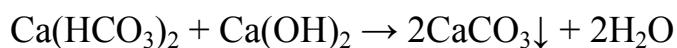
опорно-руховим апаратом, сечокам'яної хвороби, порушення функцій жовчних протоків. Таку воду не використовують і для приготування їжі, оскільки в ній не розварюються м'ясо та овочі.

Відповідно до Державних санітарних норм і правил, які регламентують показники якості питної води в Україні, загальна жорсткість (кількість ммоль еквівалентів катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  в 1 л води) питної води з водогону і бюветів не повинна перевищувати 7 ммоль/л, для води з колодязів – 10 ммоль/л.

Для усунення або зменшення жорсткості води необхідно видалити з неї іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . Тимчасову жорсткість води можна усунути шляхом нагрівання (кип'ятіння) води, внаслідок чого катіони Кальцію та Магнію виводяться з води у вигляді нерозчинних карбонатів (цей процес є причиною утворення накипу):



Для усунення постійної жорсткості використовують спеціальні реагенти – натрій карбонат (*кальцинована сода*), кальцій гідроксид (*вапняна вода*), натрій ортофосфат. При цьому усувається як тимчасова, так і постійна, а отже загальна жорсткість води:



В сучасних системах зменшення жорсткості води і загальної демінералізації використовуються іонообмінні смоли. Іоннообмінні смоли – тверді, нерозчинні у воді, дрібнодисперсні речовини, на поверхні часточок (гранул) яких знаходяться рухомі іони, здатні заміщуватись на розчинені у воді іони відповідної природи. Відповідно до типу іонів, якими смола «обмінюється» з розчином, розрізняють катіонообмінні (катіоніти) та аніонообмінні (аніоніти) смоли.

#### *Посуд і обладнання:*

Бюретка 25 мл – 1 шт.

Штатив для бюретки – 1 шт.

Лійка – 2 шт.

Стакан хімічний 50 або 100 мл – 2 шт.

Колба конічна 100 мл – 3 шт.

Піпетка 50 мл – 1 шт.

Аркуш білого паперу

#### *Реактиви:*

Стандартний 0,1 н розчин трилону Б (динатрій етилендіамінтетраацетат)

Металохромний індикатор – суха індикаторна суміш, що складається з тонкої дисперсії 0,5 г чистого індикатора еріохрому чорного Т і 50 г NaCl

Амонійна буферна суміш (pH ~ 9)

Дистильована вода

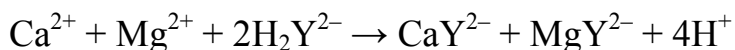
Зразок для аналізу

**Техніка безпеки:**

**Амоніак**, що використовується для приготування амонійної буферної суміші, є їдкою та подразнюючою речовиною. При потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним треба обережно. Ємність з амоніаком та його сумішами не слід залишати відкритою.

**Загальні відомості:**

Визначення загальної жорсткості засноване на взаємодії іонів Кальцію та Магнію, що знаходяться в досліджуваному зразку, з трилоном Б при певних значеннях рН (~9) за рівнянням реакції:



Для визначення кінцевої точки титрування використовують металохромний індикатор еріохром чорний Т.

**Хід досліду:**

1. В три конічні колби для титрування за допомогою мірної піпетки відібрати аліквоти по 50 мл досліджуваного зразка (проба води), додати по 5 мл амонійної буферної суміші та невелику кількість (на кінчику шпателя) сухої індикаторної суміші еріохрому чорного Т. Вміст колб ретельно перемішати до повного розчинення індикатора та одержання фіолетового розчину.
2. В бюретку, закріплену в штативі, налити розчин трилону Б (динатрій етилендіамінтетраацетату) із молярною концентрацією еквівалента 0,1 моль/л (0,1 н розчин), встановивши нижній меніск рідини на нульовій поділці.
3. З бюретки повільно (по краплях) і при постійному перемішуванні додавати розчин трилону Б до досліджуваного розчину до зміни забарвлення індикатора еріохрому чорного Т з фіолетового на синій (*без відтінків* фіолетового кольору). Після закінчення титрування записати об'єм трилону Б, який пішов на титрування (з точністю до десятих часток мл).
4. Дослід повторити ще двічі, кожного разу попередньо доливаючи стандартний розчин трилону Б в бюретку до нульової поділки.
5. Розрахувати середній об'єм розчину трилону Б,  $V_{mБ}$ , який було витрачено на титрування досліджуваного розчину у присутності металохромного індикатора еріохрому чорного Т.
6. Розрахувати загальну жорсткість досліджуваного зразка води Ж (ммоль-екв/л):

$$Ж = \frac{0,5C_{mБ} \cdot V_{mБ} \cdot 1000}{V_{H_2O}} = V_{mБ} \text{ (ммоль-екв/л)},$$

де  $C_{mБ}$  – молярна концентрація еквівалента стандартного розчину трилону Б (0,1 моль-екв/л);

$V_{mБ}$  – середній об'єм стандартного розчину трилону Б, витрачений на титрування аліквоти досліджуваного зразка води, мл;

$V_{H_2O}$  – об'єм аліквоти досліджуваного зразка води (50 мл).

7. Заповнити таблицю.

№ проби	Об'єм 0,1 н розчину трилону Б, витрачений на титрування зразка води, мл	Середній об'єм 0,1 н розчину трилону Б, витрачений на титрування зразка води $V_{тБ}$ , мл	Загальна жорсткість досліджуваного зразка води Ж, ммоль-екв/л
1			
2			
3			

## Робота 2.2. Пом'якшення води методом іонного обміну

У природі вода не зустрічається в ідеально чистому стані. В її складі завжди присутні різні речовини – розчинені гази повітря, солі, частинки пилу, сполуки, що є результатом діяльності людини тощо. Серед низки методів очищення води, які застосовує людина для досягнення певної якості води з метою її подальшого використання, одним з найважливіших є видалення розчинених солей, надлишкова присутність яких у воді може негативно впливати на організм людини при її вживанні, спричинювати засолювання ґрунтів, підвищену корозію промислового обладнання. Для видалення солей було розроблено метод *іонного обміну*, суть якого полягає у зворотньому хімічному зв'язуванні іонів (катионів металів  $Kat^{n+}$ , аніонів кислотних залишків  $An^{n-}$ ) спеціальними речовинами – іонітами або іонообмінними смолами.

Іонообмінні смоли – це пористі полімерні частинки (жовті прозорі кульки розмір яких коливається від 0,2 до 1 мм), в хімічній структурі яких наявні функціональні групи, здатні зв'язувати солі в іонізованому (дисоційованому) стані – тобто іони. При цьому іоніти характеризуються певною «спеціалізацією».



### $Kat^{n+}$

Для видалення катионів з розчину використовують катіонообмінні смоли (катіоніти).

Катіоніти – зазвичай органічні полімери з функціональними групами, що здатні приєднувати катіони, наприклад  $-SO_3H$ ,  $-COOH$  або їх сольова форма  $-SO_3^-$ ,  $-COO^-$ .

### $An^{n-}$

Для видалення аніонів з розчину використовують аніонообмінні смоли (аніоніти).

Аніоніти – зазвичай органічні полімери з функціональними групами, що здатні приєднувати аніони, традиційно  $-NHR_2^+$ .

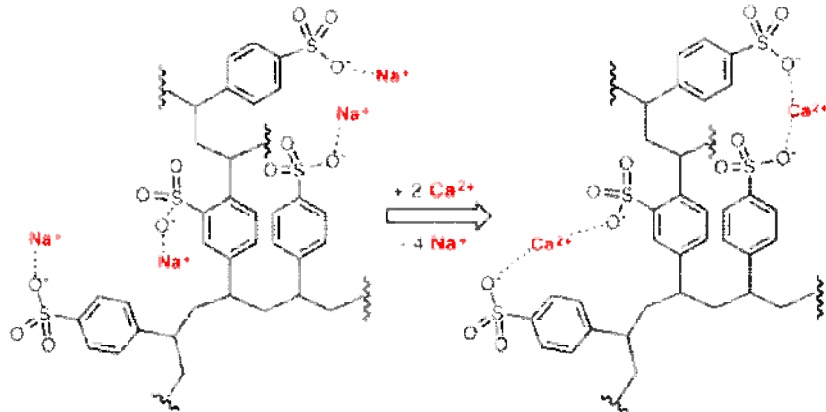
Гранично допустимий вміст солей у воді визначається її подальшим призначенням. Так, для питної води і води загальнопромислового призначення, метою деіонізації, в першу чергу, є зменшення її жорсткості шляхом видалення з її складу іонів кальцію та магнію. Такий процес має назву «пом'якшення» води, в ньому використовують катіоніти в натрієвій формі ( $-SO_3^-Na^+$ ,  $-COO^-Na^+$ ). Для видалення шкідливих для людини аніонів також використовують аніоніти в хлоридній формі ( $-NHR_2^+Cl^-$ ).

В багатьох випадках водопідготовка для промислових потреб вимагає повного очищення води від солей з метою збереження та подовження терміну експлуатації промислового обладнання та забезпечення необхідних умов проведення

технологічних процесів. Для цього зазвичай використовують полімерні катіоніти та аніоніти у кислотній ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{COOH}$ ) та основній ( $-\text{NR}_2$ ) формах, відповідно.

Очищення води методом іонного обміну полягає в її пропусканні крізь шар іоніту (або суміші іонітів), який є нерозчинним у воді але завдяки своїй високій пористості та хімічній структурі забезпечує інтенсивну взаємодію з середовищем (водою), що потребує очищення, внаслідок чого відбувається зв'язування або обмін іонів між водним розчином та полімером. Результатом цієї взаємодії є відповідна зміна іонного складу води та іоніту.

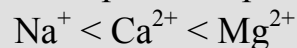
Схему процесу іонного обміну на прикладі пом'якшення питної води можна представити наступним чином:



Варто зазначити, що у випадку використання катіонітів в кислотній ( $\text{H}^+$ ) формі, очищена вода буде мати кислу реакцію ( $\text{pH} < 7$ ), а вода, очищена катіонообмінними смолами в натрієвій ( $\text{Na}^+$ ) формі матиме нейтральну або слабколужну реакцію.

### Важливо!

Закономірності іонного обміну підкоряються ряду активності катіонів:



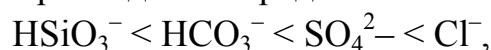
Кожен наступний катіон в цьому ряді поглинається катіонітом сильніше, ніж попередній. Тобто  $\text{Ca}^{2+}$  поглинається сильніше за  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  поглинається сильніше за  $\text{Ca}^{2+}$ .

Кожен попередній катіон може бути заміщений в катіоніті наступним лише якщо вони знаходяться у співрозмірних концентраціях.

Але оскільки реакція заміщення є рівноважною, то у випадку коли концентрація катіону **1** буде значно вище за концентрацію катіону **2**, то рівновага реакції заміщення буде зсунута в бік заміщення катіону **2** на катіон **1**.

Аналогічним чином в аніонообмінних смолах відбувається обмін аніонів. Для забезпечення споживної якості природну воду традиційно очищають від аніонів  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ . При фільтруванні вихідної води крізь шар аніоніту в  $\text{OH}^-$  формі відбувається заміщення зазначених іонів на гідроксил-іони,  $\text{pH}$  води при цьому зростає.

Аніони також можуть бути розподілені в ряд за їх активністю:





їхня поведінка також відповідає їх активності. Іншими словами, кожен попередній аніон може бути заміщений на наступний, якщо вони мають співрозмірні концентрації.

Для регенерації використаних іонообмінних смол використовують 2-5 % розчини сильних кислот ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ), лугу ( $\text{NaOH}$ ) або натрій хлориду ( $\text{NaCl}$ ).

Повне хімічне знесолення води за допомогою іонітів проводять при вмісті солей менш за 1 г/л. При більших концентраціях солей можливе лише часткове знесолення води.

### **Слід знати**

Коли мова йде про іонний обмін для одержання питної води, то мається на увазі часткове знесолення води.

Водопідготовка за допомогою іонного обміну для промислових потреб, в залежності від кожного конкретного випадку, може означати як часткове, так й повне знесолення води.

#### *Посуд і обладнання:*

Хімічний стакан 200 мл – 1 шт  
Мірний циліндр на 100 мл  
Магнітна мішалка зі стрижнем  
Шпатель

#### *Реактиви:*

Зразки води для дослідження  
Катіоніт КУ-2 (Na-форма)  
Дистильована вода  
5 %-й розчин  $\text{NaCl}$  (для регенерації)

### **Хід досліду:**

1. Наважку катіоніту 2 г помістити в стакан і промити її двічі методом декантації дистильованою водою порціями по 30-40 мл.
2. До катіоніту прилити 200 мл досліджуваної води, вміст стакану перемішувати за допомогою магнітної мішалки протягом 10-15 хв.
3. За методикою, наведеною в роботі 2.1. цього посібника, визначити загальну жорсткість досліджуваної води до та після реакції іонного обміну.
4. Після закінчення експерименту катіоніт необхідно регенерувати шляхом багаторазового (5-10 разів) його промивання 5 %-м розчином  $\text{NaCl}$  методом декантації. Порція регенеруючого розчину – 40-50 мл, тривалість обробки (витримки) для однієї порції – 3-5 хв. Регенований катіоніт зберігати для подальшої роботи.
5. За процедурою, описаною в пп.1-3 спланувати власний експеримент для визначення впливу кількості катіоніту та тривалості процесу іонного обміну на ефективність пом'якшення води. Для кожної нової порції води слід використовувати свіжий або регенований катіоніт.
6. За результатами проведених досліджень заповнити таблицю.



### Робота 2.3. Визначення вмісту кисню, розчиненого у воді

Природна вода є необхідною та невід'ємною складовою нашого життя. В результаті її взаємодії з навколишнім середовищем (атмосферою, ґрунтами, рослинністю, мінеральними сполуками тощо) в воду потрапляють різноманітні речовини. Так, при взаємодії природних вод з атмосферою у воду потрапляють різні гази, що є складовими газової оболонки нашої планети, основними з них є азот N<sub>2</sub>, кисень O<sub>2</sub>, Карбон (IV) оксид CO<sub>2</sub>.

Розчинений у воді кисень є необхідною умовою функціонування водних екосистем. Окремі види мікроорганізмів, водні рослини і тварини, здатні використовувати для свого дихання виключно розчинений у воді кисень. З іншого боку, за участю розчиненого кисню відбувається розклад органічних сполук, що потрапляють у водойми з різних джерел, в тому числі як результат життєдіяльності флори та фауни.

Потрапляє кисень у водойми як за рахунок безпосереднього розчинення у воді при її контакті з повітрям, з опадами, так і в результаті процесів фотосинтезу у водних рослинах.

Кисень у воді існує у вигляді гідратованих молекул O<sub>2</sub>. Вміст кисню у воді залежить від різних факторів: температури, атмосферного тиску ступеня турбулізації (перемішування) води, кількості опадів, мінералізації тощо. Розчинність кисню у воді зростає зі зменшенням температури і мінералізації, та зі зростанням атмосферного тиску. За 0°C нормальний вміст Оксигену у прісній воді повинен бути 14,7 мг/л (за умови 100 % насиченні). Зі збільшенням температури на кожен 1°C вміст кисню зменшується приблизно на 0,3 мг/л. Тобто вимірюючи температуру води можна отримати орієнтовне уявлення про вміст в ній кисню за допомогою формули:

$$C_{O_2} = 14,7 - 0,3 \cdot T$$

де  $C_{O_2}$  – вміст кисню у водоймі за теператури дослідження (мг/л);

14,7 – вміст кисню в воді за 0°C (мг/л);

$T$  – температура води (°C).

В поверхневих водах вміст розчиненого у воді O<sub>2</sub> зазнає значних добових та сезонних коливань. У водоймах, сильно забруднених органічними сполуками, зазвичай має місце значний дефіцит кисню. Зниження концентрації розчиненого O<sub>2</sub> до 2 мг/л спричинює масову загибель риби та інших водних організмів. Вміст кисню у воді регламентується санітарно-гігієнічними нормами та правилами і контролюється спеціальними органами. Відповідно до встановлених норм, вміст кисню в природній воді повинен бути не менше 4 мг/л в будь-яку пору року.

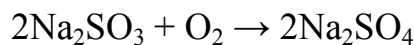
Водночас в промисловості можуть бути зовсім інші потреби. Наприклад, на теплових електростанціях для води, яку використовують для одержання водяної пари, норма вмісту кисню складає 5-10 мкг/кг (5-10·10<sup>-6</sup> г/кг). Чому?

Як відомо, кисень – сильний окисник та у багатьох випадках спричиняє корозію промислового обладнання. З ростом температури в збагаченій киснем прісній воді

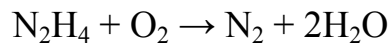
корозійні процеси значно активізуються (приблизно до температури 60-70 °С), але далі їх активність помітно знижується внаслідок зниження розчинності кисню в воді. Особливо інтенсивно процеси корозії відбуваються за  $pH < 7$ .

Корисною дією кисню може бути утворення так званої пасивуючої оксидної плівки на поверхні металу, що підвищує його стійкість до корозії. Але на відміну від алюмінію або титану, стійкість оксидної плівки на сталі низька, тобто пасивуюча плівка легко руйнується при дії слабких термомеханічних факторів або наявності у воді хлорид-іонів. При цьому незруйновані ділянки пасивуючої оксидної плівки відіграють роль катодів, а частково зруйновані – анодів. В результаті цього утворюються локальні гальванічні пари, що призводить виразкового руйнування виробів з металу.

Видалити кисень з води для потреб промисловості можна шляхом деаерації або хімічним відновленням. Деаерація – це комплекс фізичних методів видалення кисню з технічної води. Досягається шляхом зменшення загального тиску газу або його заміщення на інший (інертний) газ. На практиці використовують обидва способи. Однак забезпечити повне видалення кисню з води шляхом деаерації неможливо. Тому на допомогу приходять хімічні методи видалення кисню. В процесах водопідготовки в енергетиці з метою видалення залишкового  $O_2$  використовують натрій сульфід:



Метод є досить ефективним, але призводить до підвищення загального вмісту солей у воді, що не завжди є доцільним. Більш перспективний підхід – використання похідних гідразину  $N_2H_4$ , зокрема гідразин-гідрату або сульфату, які є сильними відновниками:



Даний спосіб дозволяє ефективно позбавитись розчиненого  $O_2$  та не змінює вміст солей у воді, але висока токсичність гідразину вимагає чіткого дотримання правил з техніки безпеки.

Визначення вмісту розчиненого  $O_2$  в поверхневих водах є обов'язковим завданням для екологів, що спостерігають та оцінюють умови життя водних організмів, характеристики якості поверхневих вод (див. Табл.) для регулювання процесу очищення стічних вод.

### Характеристика забрудненості поверхневих вод

Рівень забрудненості води, клас якості води	вміст розчиненого $O_2$ , мг/л		% насичення
	літо	зима	
дуже чисті, I	9	14-13	95
чисті, II	8	12-11	80
помірно забруднені, III	7-6	10-9	70
забруднені, IV	5-4	8-6	60
брудні, V	3-1	5-1	30
дуже брудні, VI	0	0	0

*Посуд і обладнання:*

Мірний циліндр на 200 мл – 1 шт.  
Киснева склянка або посуд з притертим корком на 100-150 мл  
Колба конічна 100 мл – 4 шт.  
Колба конічна 250 мл – 1 шт.  
Бюретка – 1 шт.  
Лійка для бюретки – 1 шт.  
Стакан хімічний 100 мл – 1 шт.  
Піпетки 5 мл – 3 шт.  
Піпетка 50 мл – 1 шт.  
Кристалізатор – 1 шт.  
Ваги аналітичні  
Аркуш білого паперу

*Реактиви:*

Манган хлорид,  $MnCl_2$   
Калій йодид,  $KI$   
Калій гідроксид,  $KOH$   
Натрію тіосульфат,  $Na_2S_2O_3$ ,  
стандартний 0,01 н. розчин  
Сульфатна кислота,  $H_2SO_4$ , водний  
розчин (1:3)  
Водний розчин крохмалю (1 мас.%)  
Дистильована вода

***Техніка безпеки:***

**Сульфатна кислота,  $H_2SO_4$ ,** надзвичайно їдка речовина. Сильний окисник, обуглює органічні матеріали. Розчини сульфатної кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричинюють подразнення та опіки. При роботі з кислотою слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з нею потрібно у спецодязі і рукавичках.

**Калій гідроксид,  $KOH$**  – є їдкою речовиною, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним треба обережно, наважку брати лише за допомогою спеціального шпателя, в жодному разі не можна торкатися реактиву руками. Гідроксид калію є дуже гігроскопічним, тому наважки слід брати швидко, а ємність з досліджуваною речовиною не слід залишати відкритою без необхідності.

***Хід досліду:***

***А) Приготування розчинів***

*Приготування розчину  $MnCl_2$ :* 25 г  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  розчинити в 30 мл  $H_2O$ .

*Приготування розчину суміші  $KI$  та  $NaOH$ :* наважки 10 г  $KI$  та 32 г  $NaOH$  розчинити в 100 мл  $H_2O$ .

***Б) Відбирання проби***

1. Відкалібрувати кисневу склянку або інший посуд з притертим корком об'ємом 100-150 мл. Для цього за допомогою мірного циліндру точно визначте повний об'єм посуду (до верхньої частини горловини). Запишіть дані в таблицю.
2. Обережно заповнити відкалібровану склянку або посуд, що її замінює, досліджуваною водою, не допускаючи її надмірного збовтування та утворення пухирців повітря на



Киснева склянка

стінках посуду. Заповнення проводять до верхнього краю горловини посуду.

3. Поставити посуд з пробєю води в кристалізатор або на піддон. **Всі подальші маніпуляції проводити не виймаючи ємність з водою з кристалізатора (піддону)!!!**. Виміряти та записати температуру відібраної води.

*В) Хімічна фіксація кисню*

1. У відібрану пробу води послідовно внести окремими піпетками, торкаючись дна ємності з досліджуваною водою, по 1 мл насиченого розчину  $MnCl_2$  та 1 мл розчину суміші  $KI$  та  $NaOH$ . Розчини з більшою ніж у води густиною витіснять рівний об'єм води зі склянки.
2. Обережно закрити посуд корком, не допускаючи появи пухирців повітря та витримати у затемненому місці для повного осадження  $MnO_2 \cdot 2H_2O$ .

*Г) Визначення вмісту кисню*

1. Обережно відкоркувати посуд з пробєю води.
2. Не торкаючись осаду на дні посуду, внести піпеткою 4 мл розчину (1:3) сульфатної кислоти (частина проби при цьому виллється) та обережно закрити посуд, запобігаючи появленню в пробі пухирців повітря.
3. Вміст посуду з пробєю перемішувати до повного розчинення осаду. Колір розчину при цьому повинен змінитися. Поясніть чому?
4. Заповнити бюретку 0,01 н розчином  $Na_2S_2O_3$ , встановити нульовий рівень за нижнім меніском.
5. З підготовленої проби за допомогою піпетки відповідного об'єму відібрати 50 мл води, перенести її в колбу для титрування і титрувати пробу води до зміни її кольору на світло-жовтий. Після чого додати в пробу 2-3 краплі розчину крохмалю і продовжити титрування до повного знебарвлення проби від 1 краплі титранту. Запишіть об'єм витраченого титранту в таблицю.
6. Для отримання більш точних результатів титрування повторюють ще двічі, щоразу встановлюючи рівень титранту в бюретці на нульовий рівень.
7. Розрахувати вміст розчиненого кисню у пробі води за формулою:

$$C_{O_2} = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \cdot N_{Na_2S_2O_3} \cdot E_{O_2} \cdot 1000}{V_{H_2O-titr}} = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 1000}{50} = V_{Na_2S_2O_3} \cdot 1,6$$

де  $C_{O_2}$  – вміст розчиненого  $O_2$  у пробі води (мг/л);

$V_{Na_2S_2O_3}$  – об'єм 0,01 н розчину  $Na_2S_2O_3$ , витраченого на титрування (мл);

$N_{Na_2S_2O_3}$  – нормальна концентрація розчину  $Na_2S_2O_3$  (0,01 н);

$E_{O_2}$  – молярна маса еквівалента Оксигену (8 г/моль);

1000 – коефіцієнт перерахунку маси в мг;

$V_{H_2O-titr}$  – об'єм аліквоти (проби води, відібраної для титрування) (50 мл).

8. Використовуючи отримані дані розрахуйте ступень насичення (%) води киснем.



## Робота 2.4. Визначення вмісту органічних речовин у воді. Окиснюваність природної води

До складу природних вод, окрім розчинених газів повітря та мінеральних сполук (солей) входять також різні органічні сполуки як у розчиненому стані, так і у вигляді зважених колоїдних частинок. Це органічні кислоти (ацетатна, бутанова та інші), вуглеводи, білки (в т.ч. ферменти), амінокислоти, естери (в тому числі жири), феноли, вітаміни, антибіотики, гумусові сполуки (за будовою є високомолекулярними поліоксиполікарбонowymi кислотами). За походженням ці сполуки можуть бути або аллохтонні (потрапляють у водойми з зовнішніх джерел) або автохтонні (ті, що утворюються у водоймі).



До аллохтонних належать гумусові сполуки, які водою вимиваються з ґрунтів, шару відмерлих частин наземних рослин, торф'яників та інших природних об'єктів, що містять залишки рослин, органічні сполуки, що привносяться побутовими та промисловими стічними водами та надходять з атмосфери. Всі органічні сполуки безперервно трансформуються – одні сполуки розпадаються, інші утворюються. Відстежити та вивчити всі ці процеси надто складно, тому для їхнього спостереження користуються непрямими характеристиками.



Раніше часто використовували метод високотемпературного окиснюваного прожарювання сухого залишку, що утворюється при випарюванні певної кількості води. Втрата ваги, що при цьому відбувається, дорівнює вазі органічних речовин, що містяться у пробі.

Наразі більш поширеним є метод визначення окиснюваності, в якому показником вмісту органічних речовин в воді є кількість Оксигену, що витрачається на їх окиснення. Розрізняють перманганатну окиснюваність (ПО; окисник –  $\text{KMnO}_4$ ) та біхроматну окиснюваність (БО; окисник –  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Показник окиснюваності визначається масою (в мг) атомарного Оксигену [O] на 1 л досліджуваної води.

*Напишіть молекулярні рівняння реакції повного окиснення (мініралізації) ацетатної кислоти за допомогою  $\text{KMnO}_4$  та  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  у кислому середовищі. Які кислоти можна використовувати при створенні кислого середовища? Відповідь обґрунтуйте.*

Багаторічний досвід використання обох методів продемонстрував, що при визначенні біхроматної окиснюваності відбувається практично повне окиснення (мініралізація) органічних сполук, за винятком деяких білкових сполук, до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$



та  $N_2$ . Інша назва біхроматної окиснюваності, з якою можливо ви знайомі, це хімічне споживання кисню, ХСК.

Калій перманганат  $KMnO_4$ , що використовують при визначенні перманганатної окиснюваності, є дуже сильним окисником і також дозволяє отримати достовірні результати про вміст біохімічно стійких органічних сполук, але для даного методу, є низка умов та обмежень:

- за наявності високої концентрації  $Cl^-$  іонів ( $> 300$  мг/л) попередньо проводять визначення їх вмісту або видаляють з проби. Поясніть чому?

За великої кількості хлорид-іонів окиснення органічних сполук розчином  $KMnO_4$  проводять в лужних умовах шляхом додавання 0,5 мл 10 %-го розчину  $NaOH$ . Після проведення стадії окиснення перед додаванням розрахованої кількості розчину оксалатної кислоти досліджуваний розчин підкислюють 2,5 мл розчину (1:3) сульфатної кислоти і здійснюють всі подальші операції відповідно до стандартної методики (див. нижче).

- у більшості випадків перед визначенням ПО попередньо проводять аналіз біохімічного споживання кисню (БСК). Кількісне оцінювання сполук, що піддаються біохімічному окисненню, є дуже важливим при визначенні кисневого режиму водойм. Ці сполуки переважно окиснюються аеробними бактеріями до  $CO_2$  та  $H_2O$ , але при цьому витрачається розчинений в воді кисень. Наявність у воді великої кількості біохімічно нестійких сполук спричиняє значний дефіцит кисню у воді, наслідком якого є загибель риби, інших аеробних водних організмів, починається розмноження анаеробних організмів та загнивання водойм.

Показник БСК вимірюється за зміною вмісту кисню в пробі, що знаходиться в темряві за температури  $20$  °C протягом певного проміжку часу (як правило, протягом 5 діб – БСК5) і визначається, на відміну від окиснюваності, в мг молекулярного Оксигену ( $O_2$ ) на 1 л розчину.

Для більш прецизійної характеристики складу розчинених у воді органічних сполук (їх природи, співвідношення між окремими групами органічних сполук тощо) застосовують всі зазначені вище методи аналізу та порівнюють їх результати. Наведемо декілька прикладів.

Співвідношення БСК5/ПО демонструє частку біохімічно нестійких сполук відносно стійких, а співвідношення ПО/БО – частку біохімічно стійких сполук відносно загальної кількості органічних сполук.

Відповідно до санітарних вимог і норм з охорони поверхневих вод, показник ПО для водойм питної категорії не повинен перевищувати 3,0 мг/л, а для водойм побутової категорії – не більше 6,0 мг/л.

*Посуд і обладнання:*

Мірна колба на 1 л – 2 шт.  
Мірний циліндр на 100 мл – 1 шт.  
Колба конічна 100 мл – 4 шт.  
Бюретка – 1 шт.  
Лійка для бюретки – 1 шт.  
Стакан хімічний 100 мл – 1 шт.  
Піпетки 5 мл – 3 шт.  
Піпетки 10 мл – 2 шт.  
Піпетка 50 мл – 1 шт.  
Скляні палички  
Ваги аналітичні  
Електрична плитка  
Аркуш білого паперу

*Реактиви:*

Калій перманганат,  $\text{KMnO}_4$   
Оксалатна кислота,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
Сульфатна кислота,  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
Дистильована вода

***Техніка безпеки:***

**Сульфатна кислота,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,** надзвичайно їдка речовина. Сильний окисник, обуглює органічні матеріали. Розчини сульфатної кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричинюють подразнення та опіки. При роботі з кислотою слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з нею потрібно у спецодязі і рукавичках.

**Натрій гідроксид,  $\text{NaOH}$**  – є їдкою речовиною, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним треба обережно, наважку брати лише за допомогою спеціального шпателя, в жодному разі не можна торкатися реактиву руками. Гідроксид натрію є дуже гігроскопічним, тому наважки слід брати швидко, а ємність з досліджуваною речовиною не слід залишати відкритою без необхідності.

**Нагрівання розчинів** слід проводити обережно, дотримуючись загальних правил техніки безпеки в лабораторії, уникаючи бурхливого кипіння і розбризкування речовин.

***Хід досліду:***

*А) Приготування розчинів*

*0,01 н розчин  $\text{KMnO}_4$*

Наважку 0,32 г  $\text{KMnO}_4$  внести в мірну колбу ємністю 1 л, розчинити в невеликій кількості дистильованої води та довести об'єм дистильованою водою до мітки.

*розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:3 об.)*

В колбу або хімічний стакан ємністю 100 мл внести 60 мл дистильованої води і обережно по стінках ємності повільно додати 20 мл концентрованої  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Суміш обережно перемішати скляною паличкою.

0,01 н розчин  $H_2C_2O_4$

Наважку 0,63 г дигідрату оксалатної кислоти  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$  внести в мірну колбу ємністю 1 л, розчинити в невеликій кількості дистильованої води, додати 1 мл розчину (1:3)  $H_2SO_4$  та довести об'єм дистильованою водою до мітки.

*Б) Окиснення органічних сполук у воді*

1. Відміряти за допомогою піпетки пробу води об'ємом 50 мл та перенести її в термостійку колбу на 100 мл. В колбу додати 2,5 мл розчину  $H_2SO_4$ .
2. Заповнити бюретку 0,01 н розчину  $KMnO_4$ , встановити рівень розчину титранту на нульовій позначці і відміряти з бюретки в колбу з підкисленою пробєю води 10 мл 0,01 н. розчину Калій перманганату. **ПІСЛЯ ДОДАВАННЯ РОЗЧИНУ ТИТРАНТУ РІВЕНЬ ЙОГО В БЮРЕТЦІ НЕ ОБНУЛЯТИ!!!**
3. Колбу поставити на електричну плітку, розчин повільно нагріти до кипіння і кип'ятити протягом 10 хв, відраховуючи час з моменту появи в колбі перших бульбашок пари. **Будьте обережні! При кип'ятінні суміш води та сульфатної кислоти може розбризкуватись! Для попередження цього в горловину колби можна вставити скляну лійку.**
4. **ПРОТЯГОМ ВСЬОГО ЧАСУ КИП'ЯТІННЯ НЕОБХІДНО УВАЖНО СПОСТЕРІГАТИ ЗА ЗМІНАМИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В РОЗЧИНІ.**

а) *Розчин знебарвлюється.* Це є свідченням великого вмісту сполук, що здатні відновлюватися. В цьому випадку операції за пп.1-3 розділу «Б) Окиснення органічних сполук у воді» повторюють, зменшуючи об'єм проби води.

б) *Розчин має коричнево-буре забарвлення.* Це є свідченням недостатньої кількості розчину  $H_2SO_4$ . В цьому випадку до киплячого розчину слід обережно додати ще 1-2 мл розчину  $H_2SO_4$  та продовжити експеримент.

в) *Розчин має червоно-фіолетове забарвлення, що залишається протягом 10 хв кип'ятіння.* Це є свідченням того, що процес визначення відбувається належним чином.

4. Після закінчення кип'ятіння колбу слід зняти з нагрівального пристрою і, не охолоджуючи, перейти до титрування.
5. Кількість  $KMnO_4$ , що було витрачене на окиснення органічних сполук у пробі води, визначається методом зворотного титрування. Для цього в одержаний після кип'ятіння забарвлений розчин додати піпеткою 10 мл 0,01 н розчину оксалатної кислоти  $H_2C_2O_4$  (об'єм розчину  $H_2C_2O_4$  повинен бути таким самим як об'єм доданого раніше розчину  $KMnO_4$ ).

*Вміст колби швидко знебарвлюється за рахунок окиснення  $H_2C_2O_4$  залишковим  $KMnO_4$ , що непрореагував (саме він надає розчину в колбі червоно-фіолетового забарвлення). Вихідні кількості речовини в доданих розчинах  $KMnO_4$  і  $H_2C_2O_4$  є однаковими, однак через витрачання частини Калій перманганату на реакцію окиснення органічних речовин, що містилися в пробі води, окиснення 10 мл 0,01 н розчину  $H_2C_2O_4$  буде неповним, що забезпечить її надлишковий вміст в розчині.*

6. Відтитрувати надлишок оксалатної кислоти 0,01 н розчином  $\text{KMnO}_4$  з тієї ж бюретки, з якої додавали 10 мл титрованого розчину до проби води, **НЕ ВСТАНОВЛЮЮЧИ РІВЕНЬ РОЗЧИНУ ТИТРАНТУ НА НУЛЬОВУ ПОЗНАЧКУ!!!** Кінець титрування встановлюють за появою стійкого рожевого забарвлення від додавання однієї краплі розчину  $\text{KMnO}_4$ .
7. Записати сумарний об'єм розчину  $\text{KMnO}_4$ , витрачений як на окиснення органічних речовин в пробі води, так і на окиснення надлишку  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , позначений літерою *A* в таблицю.

*B) Визначення еквівалентної концентрації розчину  $\text{KMnO}_4$*

1. Для встановлення поправочного коефіцієнта  $\text{KMnO}_4$  в колбу, в якій проводили аналіз, не виливаючи з неї проаналізованої проби, додати піпеткою 10 мл 0,01 н розчину  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , нагріти розчин до 50-60 °С і знову титрувати 0,01 н розчином  $\text{KMnO}_4$  до появи стійкого рожевого забарвлення від додавання 1 краплі розчину титранту, **попередньо встановивши рівень титранту в бюретці на нульовій позначці**. Записати об'єм розчину  $\text{KMnO}_4$ , витраченого на титрування 10 мл розчину оксалатної кислоти (позначено літерою *B*) в таблицю.
2. Поправочний коефіцієнт *K* розраховують за формулою:

$$K = \frac{V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{V_{\text{KMnO}_4}}$$

де  $V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$  – об'єм 0,01 н розчину  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , взятий для титрування (10 мл);

$V_{\text{KMnO}_4}$  – об'єм 0,01 н розчину  $\text{KMnO}_4$ , витраченого на її титрування (мл).

*Г) Визначення показника перманганатної окиснюваності (ПО)*

Розрахувати значення показника ПО за формулою, використовуючи попередньо отримані дані, внесені в таблицю:

$$ПО = \frac{E_{[O]} \cdot N_{\text{KMnO}_4} \cdot K \cdot (A - B)}{V_{\text{H}_2\text{O}}}$$

де  $E_{[O]}$  – молярна маса еквіваленту атомарного Оксигену (8 г/моль);

$N_{\text{KMnO}_4}$  – нормальна концентрація розчину  $\text{KMnO}_4$  (0,01 н);

*K* – поправочний коефіцієнт;

*A* – загальний об'єм 0,01 н розчину  $\text{KMnO}_4$ , витраченого на окиснення органічних сполук в пробі води та 10 мл 0,01 н розчину  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , мл;

*B* – об'єм розчину  $\text{KMnO}_4$ , витраченого на окиснення 10 мл 0,01 н розчину  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (див. розділ *B*) *Визначення еквівалентної концентрації розчину  $\text{KMnO}_4$* );

$V_{\text{H}_2\text{O}}$  – об'єм проби  $\text{H}_2\text{O}$ , взятої для визначення вмісту органічних сполук, мл.

Зразок (короткий опис)	Об'єм проби води $V_{H_2O}$ , мл	Об'єм А 0,01 н $KMnO_4$ , мл	Об'єм Б 0,01 н $KMnO_4$ , мл	Поправ. коэф. К	Показник ПО, мг/л	Висновок ( $< 3$ мг/л або $< 6$ мг/л)*

\* точність метода, якщо ПО не перевищує 4 мг/л, складає 0,4 мг/л;

вода з показником ПО до 3 мг/л відноситься до питної категорії (підходить для вживання після певної обробки); вода з показником до 6 мг/л відноситься до побутової категорії (технічна вода).

### Контрольні запитання

1. Які класи органічних сполук ви знаєте? Які з них можуть знаходитися у воді природних водойм? В якій формі вони можуть знаходитися у воді?
2. Як в воду потрапляють аллохтонні сполуки-забруднювачі?
3. Назвіть методи визначення вмісту органічних сполук у воді.
4. Порівняйте методи визначення вмісту органічних сполук у воді – метод ПО та метод БО? Що між ними спільне? Які відмінності?
5. Подумайте, надмірний вміст яких сполук – біохімічно стійких чи біохімічно нестійких може завдати водойму найбільшої шкоди? Відповідь обґрунтуйте.
6. В чому полягає суть титриметричного метода аналізу та яким критеріям повинні відповідати реакції, які використовуються при титруванні? В чому різниця між прямим та зворотнім титруванням? Чи можна для визначення вмісту органічних сполук у воді використовувати метод прямого титрування?



## Робота 2.5. Синтез магнітних нанокompatитів та їх застосування для видалення органічних забруднювачів з водного середовища

Останнім часом нам всюди зустрічаються таємничі, але, як нам здається, цікаві і дуже впливові на наше життя, слова «нанотехнологія» та «наноматеріали».

Зазвичай мається на увазі щось надзвичайне, що здатне покращити можливості людини та забезпечити їй комфортне та тривале існування. Але давайте більш детально розберемося, що таке це «нано» та що корисного воно може нам подарувати.

Префікс «нано» у розмовному варіанті позначає щось дуже маленьке, що важко уявити та пізнати, користуючись повсякденними способами визначення розміру. Натомість з наукової точки зору префікс «нано» позначає одну мільярдну частку ( $1/1000000000$  або  $10^{-9}$ ) чого-небудь. Наприклад, при визначенні розміру 1 нанометр =  $10^{-9}$  метра. Саме визначення розмірних характеристик різних об'єктів і надало поштовх у розвитку цього дуже корисного напрямку сучасного життя, як «нанотехнологія» та її продукт – «наноматеріали».

*Що таке наноматеріали?* Це багатофазні (звичайні, на перший вигляд) матеріали, розмір частинок однієї або кількох фаз яких знаходиться в межах від 1 до 100 нанометрів. *Що таке нанотехнологія?* Це, як видно з назви, спосіб одержання наноматеріалів. *І, решітці-решт, в чому полягає унікальність наноматеріалів?* Ось і відповідь. За однакової кількості (об'єму) матеріалу, наночастинки, завдяки своїм розмірам, мають значно більшу площу поверхні.

### Increased Surface Area



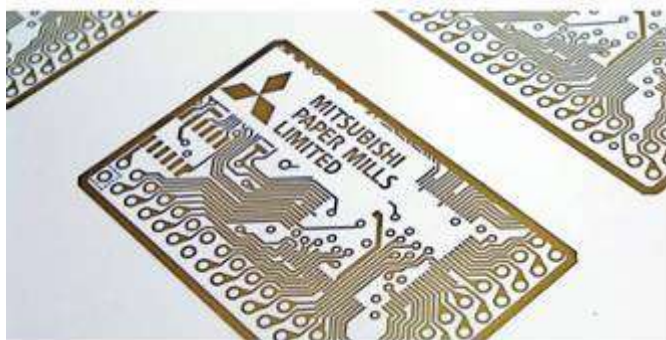
Більша поверхня може сильніше взаємодіяти з оточуючим середовищем. Як результат, властивості наноматеріалів відрізняються від властивостей традиційних матеріалів такого ж складу. Вони мають інший колір, вони краще відбивають світло, вони більш електро- та теплопровідні, вони міцніші, вони мають інші магнітні властивості тощо. Тобто в контексті нанотехнологій розмір має критичне значення.

Ретельне вивчення та спостереження за поведінкою сполук та матеріалів на нанорівні надає нам нові знання про відомі нам речі, та змогу створити з начебто звичайних матеріалів щось дуже незвичайне та корисне. Чому ми вважаємо, що

нанотехнологія та її продукт – наноматеріали такі важливі та необхідні для людства? Розглянемо декілька прикладів.

### НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА

Сьогодні традиційні технології виготовлення електронних плат, здаються незамінними, але зовсім скоро подібну складну конструкцію можна буде роздрукувати на принтері (або просто намалювати ручкою) на звичайному папері, використовуючи електропровідні чорнила на основі наночастинок металевого срібла – найкращого провідника серед всіх металів.



### ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ

Використання відомим французьким виробником приладдя для великого тенісу Babolat замість традиційного вуглецевого волокна матеріалів нового типу – вуглецевих нанотрубок надало професійним гравцям нових можливостей. Конструкція стала в 5 разів міцніша, її вага зменшилася, керувати нею стало легше – і це лише декілька з безлічі переваг нового нанотехнологічного спортивного знаряддя.

### НАНОСТЕРЖНІ CdSe

Сучасні сонячні батареї крихкі та потребують дуже обережного використання. Розроблені пластикові сонячні батареї можна згинати та скручувати. Завдяки хімічній структурі активного поглинаючого компонента CdSe вони здатні працювати використовуючи інфрачервоне випромінювання, тобто звичайне теплове випромінювання.





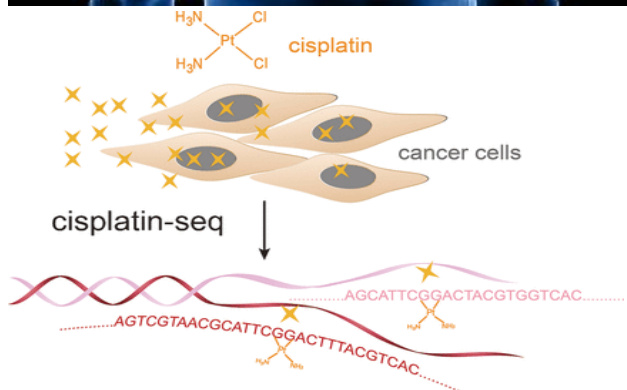
## НАНОЧАСТИНКИ $TiO_2$ та $ZnO$



Сучасні засоби захисту шкіри від дії інтенсивного сонячного опромінення також є повноцінними нанотехнологічними продуктами. Наночастинки  $TiO_2$  та  $ZnO$ , завдяки своїй здатності поглинати світлове випромінювання в ультрафіолетовій області спектра, високій біосумісності та низькій токсичності є головною складовою сонцезахисних косметичних засобів. При цьому повноцінної їхньої заміни, навіть серед широкого розмаїття органічних сполук, здатних поглинати ультрафіолетові промені й досі не знайдено.

## НАНОКАПСУЛИ $SiO_2$

Розроблений німецькими вченими-медиками новий тип ліків дозволяє успішно боротися з агресивними формами раку легень та мінімізувати токсичний вплив протипухлинної хімотерапії на організм пацієнта. Наночастинки  $SiO_2$ , заповнені протипухлинним препаратом цисплатином, покриваються білковою оболонкою певної хімічної структури, яка деформується під дією фермента металопротеїнази, що знаходиться в пухлинній тканині у великій концентрації. Деструкція білкового шару наночастинок спричиняє швидке вивільнення цисплатину виключно в пухлинній тканині, який, хімічно зв'язуючись з носієм генетичної інформації клітини (ДНК), порушує механізм реплікації та запускає процес апоптозу (смерті) ракових клітин.



Це лише невелика кількість існуючих на сьогодні наноматеріалів, перелічити всі, мабуть, просто неможливо. Частина з них можуть бути досить екзотичними для повсякденного життя, але з двома, нехай і не у вигляді наноматеріалів, ви точно знайомі – це активоване вугілля та магнетит.



Активоване вугілля,  $C$



Магнетит,  $Fe_3O_4$

### Чому наноматеріали?

Активоване вугілля є наноматеріалом завдяки наявності пор, розмір яких коливається від 1,5 нм до 100 нм і вище. Завдяки цьому питома поверхня активованого вугілля досягає рівня 500-2000 м<sup>2</sup>/г, що також є типовим для наноматеріалів.

Зазвичай магнетит (або більш звична назва – окалина, як продукт окиснення заліза за високих температур) не є наноматеріалом. Але зміна способу одержання дозволяє синтезувати наночастинки магнетиту розміром від 15 до 50 нм.

### Їхні корисні властивості

Надзвичайно висока пористість активованого вугілля дозволяє використовувати його як сорбент для очищення води та повітря від забруднень, детоксикації організму при отруєнні, як носій каталітично активних сполук.

Наночастинки магнетиту, незважаючи на те, що вони за власною природою належать до оксидів металів, мають гарні магнітні властивості – тобто притягуються до магніту, як металеве залізо або його сплави.

Отже в результаті поєднання цих різнорідних сполук ми можемо отримати новий вид наноматеріалів – наноккомпозит (де *композит* означає поєднання в одному новому матеріалі двох або більше складових; а префікс «*нано*» свідчить про те, що в цій багатофазовій системі принаймні одна з фаз має розмірність в межах 1-100 нанометрів) з дуже незвичними властивостями.

#### **Техніка безпеки:**

**Сульфатна кислота, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> та нітратна кислота, HNO<sub>3</sub>** – дуже їдкі речовини. Сильні окисники, можуть спричинити загоряння органічних матеріалів. Розчини кислот при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють хімічні опіки. Слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з ними потрібно у спецодезі.

**Хлоридна кислота, HCl** – їдка речовина. Розчини кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють подразнення та опіки. Слід уникати розбризкування і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати потрібно у спецодезі.

**Натрій гідроксид, NaOH** – їдка речовина, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним слід обережно. В жодному разі не можна торкатися реактиву руками. Є дуже гігроскопічним, тому наважки слід брати швидко, ємність з речовиною не слід залишати відкритою без необхідності.

**Амоніак, водний розчин NH<sub>3</sub>** – є їдкою та подразнюючою речовиною. При потраплянні на шкіру, слизові оболонки, дихальні шляхи викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним треба обережно. Ємність з амоніаком та його сумішами не слід залишати відкритою.

## Частина 1. Синтез нанокompозиту з активованого вугілля та наночастинок магнетиту

### Посуд і обладнання:

Стакан хімічний 50 мл – 3 шт  
Скляна паличка  
Мірний циліндр на 10 мл  
Піпетки Пастера  
Ступка порцелянова з пестиком  
Неодимовий магніт

### Реактиви:

Ферум (III) хлорид,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
Ферум (II) хлорид,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   
Хлоридна кислота,  $\text{HCl}$ , 2 М розчин  
Амоніак,  $\text{NH}_3$ , 1,4 М розчин  
Активоване вугілля, порошок  
Нітратна кислота,  $\text{HNO}_3$ , 4 М розчин  
Дистильована вода

### Хід досліду:

#### А) Приготування допоміжних речовин та розчинів

##### **1М розчин $\text{FeCl}_3$ в 2М $\text{HCl}$**

Зважити 2,7 г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  та додати 10 мл 2 М  $\text{HCl}$ . Суміш перемішати до утворення гомогенного розчину.

##### **2М розчин $\text{FeCl}_2$ в 2М $\text{HCl}$**

Зважити 3,98 г  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  та додати 10 мл 2 М  $\text{HCl}$ . Суміш перемішати (за необхідності розчин можна злегка підігріти) до утворення гомогенного розчину.

#### Б) Модифікування активованого вугілля нітратною кислотою

Для покращення зчеплення поверхні активованого вугілля зі сполуками основного типу (оксидами та гідроксидами металів), порошок активованого вугілля необхідно обробити 4 М розчином нітратної кислоти. Для цього наважку 0,2 г порошку активованого вугілля залити 5 мл 4 М розчину  $\text{HNO}_3$  та витримати отриману суміш за температури 90 °С при постійному перемішуванні протягом 1 години.

*Увага! Обробку слід проводити виключно у витяжній шафі або на відкритому повітрі. Пари нітратної кислоти мають дуже подразнюючу дію.*

Якщо використовувати таблетки активованого вугілля, куплені в аптеці, їх потрібно ретельно розтерти, отриманий порошок промити дистильованою водою 1-2 рази для видалення допоміжних речовин та висушити.

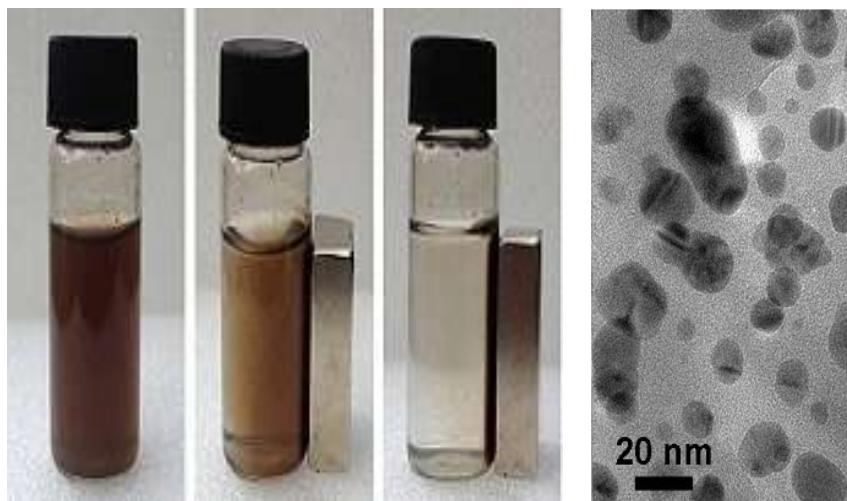
Після відстоювання рідину слід обережно злити, а порошок вугілля ретельно промити дистильованою водою для видалення залишків нітратної кислоти. рН

промивних вод після кожної промивки перевіряють лакмусом, метилоранжем або універсальним індикатором до досягнення рН від 5 до 7.

*Подумайте, що може відбуватися при обробці поверхні активованого вугілля нітратною кислотою, беручи до уваги властивості кожної з цих сполук? Відповідь обґрунтуйте*

*В) Приготування наноконкомпозиту магнетит-активоване вугілля*

1. Відміряти 25 мл 1,4М розчину амоніаку в хімічний стакан або колбу.
2. В хімічний стакан ємністю 50 мл за допомогою піпеток внести 4 мл розчину  $\text{FeCl}_3$  (1 М розчин  $\text{FeCl}_3$  в 2 М розчині  $\text{HCl}$ ), 1 мл розчину  $\text{FeCl}_2$  (2 М розчину  $\text{FeCl}_2$  в 2 М розчині  $\text{HCl}$ ) та 0,1 г активованого вугілля, обробленого нітратною кислотою.
3. Одержану суміш розчинів солей Феруму і вугільного порошку ретельно перемішати скляною паличкою протягом 3 хв. Далі, *не зупиняючи перемішування* в суміш *по краплях* додати заздалегідь виміряні 25 мл 1,4 М розчину амоніаку зі швидкістю близько 1 крапля в секунду.
4. Після додавання всієї кількості амоніаку отриману суміш нагріти до  $90\text{ }^\circ\text{C}$  і витримати за цієї температури протягом 1 год, перемішуючи та час від часу.
5. Після завершення термообробки суміш необхідно охолодити та осадити за допомогою магніту. При цьому декантацію слід проводити не знімаючи магніт (див. рис.). Осад ретельно промити дистильованою водою 2 рази по 10 мл, повторюючи процедуру декантації, описану вище.



*При дотриманні всіх умов експерименту в результаті утворюються наночастинки магнетиту (див. рис), розподілені в порах та на поверхні активованого вугілля.*

Одержаний магнітний наноконкомпозит зберегти для подальшої роботи.



## Робота 2.6. Біологічне забруднення водних середовищ.

### Оцінка ефективності методів очищення води від бактеріальних забруднень

Сучасні мешканці мегаполісів щодня користуються питною водою з загального водогону, бутильованою водою та водою з інших джерел, але мало хто замислюється, яким чином вода з річок, з яких здійснюється водозабір, із очевидно не дуже чистої (адже мало хто наважиться пити воду безпосередньо з річки, навіть якщо викиди в неї промислових відходів є абсолютно виключеними) перетворюється на воду, придатну до вживання без додаткової обробки споживачем. Таке перетворення стало можливим завдяки багатостадійному процесу її очищення на відповідних підприємствах. Частина цих стадій і шляхи їх реалізації є очевидними, як, наприклад видалення механічних домішок (пісок, зважені частинки мулу тощо). Ми вже познайомилися з низкою методів, що дозволяють видалити з води розчинені неорганічні (солі Кальцію, Магнію, Феруму тощо) та органічні речовини, що зазвичай присутні у природній воді. Але у воді можуть бути присутніми й інші забруднювачі, які можуть завдати великої шкоди здоров'ю і навіть життю людини. Ці забруднювачі є представниками живої природи і належать до великої групи патогенних та умовнопатогенних мікроорганізмів.



Мікроорганізми є невід'ємною складовою природного середовища та завжди присутні в повітрі, ґрунті, природній воді. Частина їх безпечна для людини та не завдасть шкоди при потраплянні в організм. Але деякі з них, що мають назву патогенних мікроорганізмів, несуть велику небезпеку для інших живих істот. Їх потрапляння в організм людини разом з водою (а також їжею або повітрям) може призвести до низки захворювань, іноді з дуже серйозними наслідками. Тому очищення води від забруднень такого типу є важливою та необхідною вимогою перед її вживанням.

Процес очищення води від патогенних мікроорганізмів, що забезпечує їхню деактивацію, знищення або видалення, має назву *дезінфекція*. Часто замість *дезінфекції* використовується термін *стерилізація*, але не слід їх плутати, оскільки ці процеси є принципово різними за своєю метою. *Деінфекція* – це видалення (або деактивація) патогенних мікроорганізмів, а *стерилізація* – це знищення всіх типів мікроорганізмів, не зважаючи на їх приналежність до тієї чи іншої групи патогенності.

Взагалі дезінфекцію за природою дезінфікуючої дії можна поділити на хімічну та фізичну. Сполуки або інші зовнішні фактори, що мають дезінфікуючу дію на середовище мають назву дезінфектантів.

<b>Основні дезінфектанти, що забезпечують</b>	
<i>хімічну дезінфекцію</i>	<i>фізичну дезінфекцію</i>
Хлор (Cl <sub>2</sub> )	Ультрафіолетове випромінювання (довжина хвилі 254 нм)
Хлор (IV) оксид (ClO <sub>2</sub> )	Електронне випромінювання
Хлораміни (NH <sub>3-x</sub> Cl <sub>x</sub> )	Гамма-випромінювання
Гіпохлорити (ClO <sup>-</sup> )	Ультразвук
Озон (O <sub>3</sub> )	Нагрівання
Іони металів (Cu <sup>2+</sup> , Ag <sup>+</sup> )	
Перманганати (KMnO <sub>4</sub> )	
Спирти та феноли	
Катіонні ПАР (як R <sub>4</sub> N <sup>+</sup> An <sup>-</sup> )	
Гідроген пероксид (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	

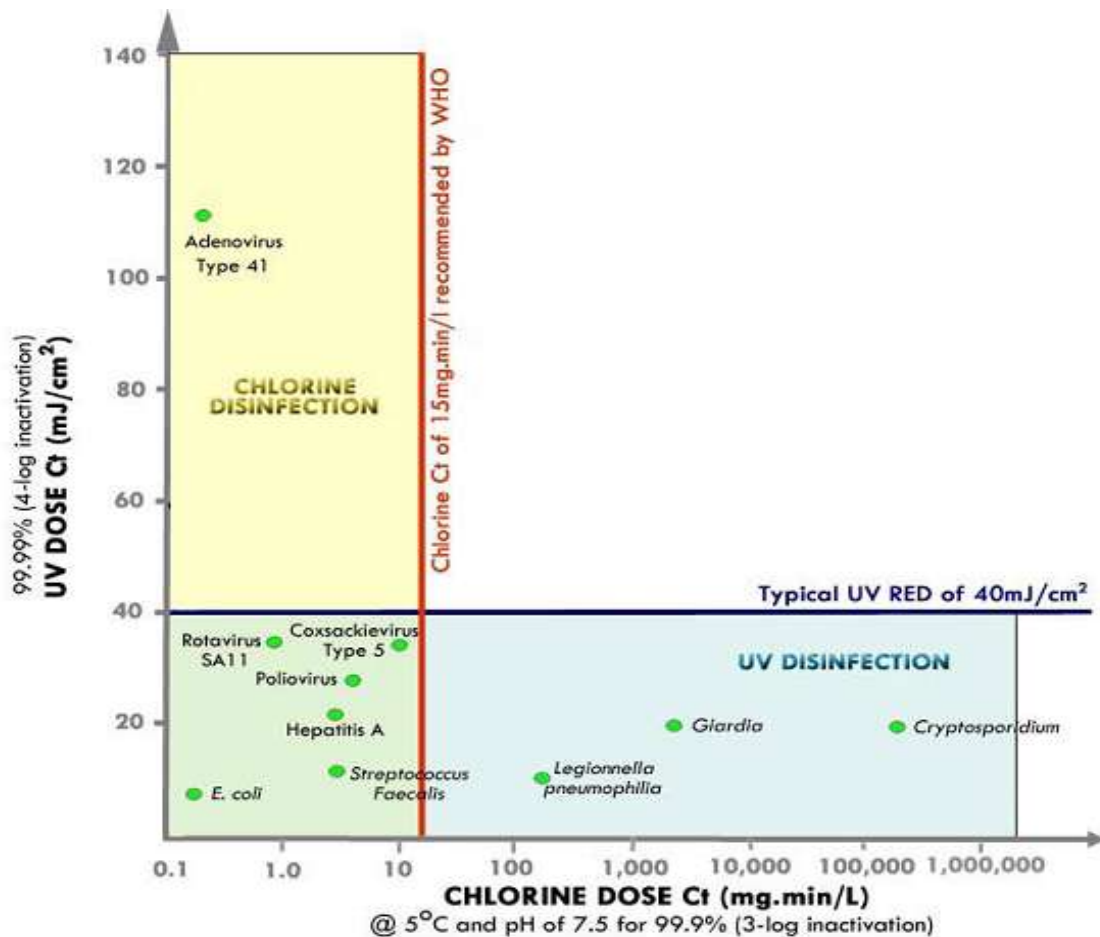
Кожен з зазначених дезінфікуючих засобів має високу активність в процесах очищення води від біологічних забруднень та певну сферу застосування. Детальний їх розгляд можна знайти в літературі, але ми зупинимося на декількох з них, які мають особливе значення для нашого повсякденного життя. До найбільш поширених дезінфікуючих засобів належать реагенти, що містять активний Хлор (Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>, NH<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub> та OCl<sup>-</sup>), іони Ag<sup>+</sup> та нагрівання.



**Хлорування** водогонної води – найбільш розповсюджений спосіб очищення води від біологічних забруднень. В Україні більше 80 % води, що використовується в домогосподарствах та соціальних об'єктах очищується саме у такий спосіб.

Які хімічні процеси покладено в основу дезінфікуючої (протимікробної) дії Хлору та деяких хлоровмісних сполук?

Ефективність даного методу очищення води для окремих видів патогенних мікроорганізмів можна побачити на рисунку у порівнянні з УФ-опроміненням.



Іони Аргентуму (а також їх агрегати – кластери та наночастинки) є ефективними дезінфікуючими засобами. На сьогодні доведена дезактивуєючи активність іонів  $Ag^+$  по відношенню до більш ніж 600 видів патогенних мікроорганізмів.



?

Чи знаєте ви, які процеси забезпечують життєдіяльність мікроорганізмів і яким чином іони Аргентуму впливають на їх перебіг, призводячи до загибелі цих маленьких, але іноді дуже шкідливих істот?

Цем методом очищення води активно користувалися наші пращури, коли для тривалого зберігання питної води в закритій ємності, у воду занурювали якійсь виріб з металевого срібла (прикрасу, ложку тощо), що забезпечувало захист питної води від цвітіння (появи та розмноження мікроорганізмів, водоростей). Чи був цей спосіб насправді ефективним і якою мірою його можна використовувати у нашому сучасному повсякденному житті продемонструють наші дослідження.





При відпочинку на природі запасів чистої питної води, взятих з дому, вам може не вистачити, а мобільні фільтри або спеціальні засоби для знезараження – теж мають здатність закінчуватися. На допомогу шанувальникам природи завжди прийде простий та зазвичай доступний спосіб дезінфекції води – кип'ятіння.

Аналізуючи дані про життєздатність основних груп патогенних мікроорганізмів за підвищених температур можна побачити таку картину (див. таблицю).

Вид мікроорганізмів	Хвороба або шкідливі наслідки	Умови знищення (температура, час)
<i>Giardia</i>	Порушення функціонування кишківника, порушення обміну речовин	70 °С, 10 хв.
<i>Cryptosporidium</i>	Порушення роботи системи травлення	72 °С, > 1 хв.
<i>Escherichia coli</i>	Порушення роботи системи травлення	70 °С, 1 хв.
<i>Salmonella, Shigella, Campylobacter</i>	Сальмонелез, порушення роботи системи травлення, діарея	65 °С, 3 хв.
<i>Vibrio cholerae</i>	Холера	98 °С, 10 сек.
<i>Enteric</i>	Порушення роботи системи травлення, діарея	70 °С, >1 хв.
<i>Hepatitis A</i>	Гепатит, враження печінки	98 °С, 1 хв.

На вашу думку, чи зможе звичайна термічна обробка води з природних джерел забезпечити задовільний захист людини від невидимих «хижаків»? Не гаємо часу та спробуємо перевірити це власноруч без шкоди для здоров'я.

### Частина 1. Знезараження води найбільш поширеними способами

#### Посуд і обладнання:

Стакани хімічний на 50 мл – 3 шт.  
Скляні палички  
Піпетки Пастера стерильні  
Мірний циліндр на 100 мл – 1 шт.  
Електроплитка

#### Реактиви:

Проби досліджуваної води  
Комерційний розчин Натрій гіпохлориду (Білизна)  
Шматочки металічного срібла або вироби зі срібла

### **Техніка безпеки**

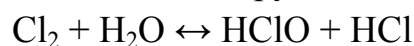
**Натрій гіпохлорит, NaClO** – їдка речовина. Сильний окисник. При контакті зі шкірою може спричинити опіки. При контакті з кислим середовищем виділяє дуже токсичний газуватий хлор.

**Нагрівання розчинів** слід проводити обережно, дотримуючись загальних правил техніки безпеки в лабораторії, уникаючи бурхливого кипіння і розбризкування речовин.

## **Хлорування води за допомогою комерційного розчину натрій гіпохлориту NaOCl**

Всесвітня організація з охорони здоров'я (ВОЗ) визначає хлорування як ефективний метод очищення питної води від патогенних мікроорганізмів. Відповідно до вимог ВОЗ концентрація вільного (активного) хлору, що забезпечує задовільний рівень очищення води<sup>3</sup>, становить 0,5 мг/л. Слід пам'ятати, що для кожного типу хлорвмісного дезінфектанту вміст вільного хлору розраховується окремо. Давайте разом спробуємо перевірити, чи насправді хлорування води є достатньо ефективним засобом її очищення.

Яким чином можна визначити вміст вільного хлору саме в розчині натрій гіпохлориту. Розглянемо реакцію взаємодії хлору з водою:



При взаємодії 1 моль хлору з водою утворюється 1 моль гіпохлоритної кислоти або, іншими словами, окислювальна та, відповідно, дезінфікуюча, спроможність розчину 1 моль хлору у воді відповідає 1 моль HClO (та NaClO). Таким чином, концентрація вільного хлору в водному розчині NaClO (відомий нам з магазинів господарських товарів як відбілювач «Білизна») можна розрахувати за наступним співвідношенням:

$$C_{\text{Cl}_2\text{-act}} = C_{\text{NaClO}} \times \frac{M_{\text{Cl}_2}}{M_{\text{NaClO}}}$$

де  $C_{\text{Cl}_2\text{-act}}$  – концентрація активного хлору в водному розчині (мг/л);

$C_{\text{NaClO}}$  – концентрація натрій гіпохлориту в водному розчині (мг/л);

$M_{\text{Cl}_2}$  – молярна маса хлору (70,9 г/моль)

$M_{\text{NaClO}}$  – молярна маса натрій гіпохлориту (74,4 г/моль).

### **Завдання**

Використовуючи надану інформацію та характеристики доступного розчину натрій гіпохлориту самостійно розрахувати кількість (масу або об'єм) розчину NaClO, що потрібно додати в зразок (об'єм) неочищеної води, для забезпечення необхідного рівня її біологічної безпеки для людини.

<sup>3</sup> H. Backer. Water Disinfection for International and Wilderness Travelers // Travel Medicine 34 (2002) 355.

### *Хід досліду:*

1. За допомогою мірного циліндра відміряти об'єм досліджуваної води з природного джерела, виміряти її температуру.
2. Додати розраховану кількість комерційного розчину Натрій гіпохлориту (за необхідності розчин можна попередньо розбавити). Ретельно перемішати отриманий розчин.
3. Для забезпечення дезінфікуючої дії активного хлору отриману суміш потрібно витримати певний час. Якщо температура зразка води дорівнює 25 °С час витримки має бути близько 60 хв. Більш низька температура зразка неочищеної води потребує збільшення часу витримки.
4. Отриману у такий спосіб «очищену» воду використати для мікробіологічних досліджень (частина 2 цієї роботи). Проби для мікробіологічних досліджень відбирати стерильними піпетками.

### *Очищення води за допомогою металічного срібла*

Не секрет, що споконвіків люди використовували вироби з металічного срібла у різних сферах власного життя – як прикраси, дзеркала, посуд. З точки зору науки, використання срібного посуду нашими предками є найбільш цікавим, адже окрім покращення «іміджу» і підвищення статусу власників таких виробів, цей посуд має й більш корисну дію. Багаторічні спостереження виявили, що контакт харчових продуктів зі сріблом забезпечує їх більш тривале зберігання. Чому так? Як виявилось, завдяки протимікробній активності сполук Аргентуму. Безумовно, використання розчинних сполук Аргентуму здатне діяти набагато ефективніше, але Аргентум, як типовий важкий метал, є токсичним для всіх живих організмів, і людина – не виключення. Можливо, незважаючи на «нерозчинність» срібла в металевому стані, у воду та харчові продукти при їх безпосередньому контакті з металом можуть переходити іони в достатньої кількості, щоб забезпечити необхідний рівень протимікробної дії? Давайте спробуємо перевірити.

### *Хід досліду:*

1. За допомогою мірного циліндра відміряти об'єм досліджуваної води з природного джерела, виміряти її температуру.
2. Покласти в посуд з водою шматочки металічного срібла, або срібний виріб. Герметично закрити посуд харчовою полімерною плівкою для уникнення контакту зразка води із зовнішнім середовищем. Поясніть, для чого це робиться?
3. Час від часу вручну збовтувати вміст посудини зі зразком для забезпечення контакту всього об'єму з води із зануреним срібним виробом.

- Після тривалої витримки (не менш 12 год) перевірити ефективність такого способу очищення води від біологічних забруднень за допомогою мікробіологічних тестів. (див. Частина 2 даної роботи).

### ***Термічний метод очищення природної води від патогенних мікроорганізмів***

Як видно з таблиці, наведеної вище, термічна обробка за підвищених температур є ефективним способом очищення води від біологічних забруднень. Оскільки приготування їжі є досить тривалим процесом, можна сподіватися, що ефективність цього методу є достатньою для захисту від біологічних забруднень води.

Зараз ми говоримо **лише** про очищення води від патогенних мікроорганізмів. Пам'ятайте!!! В процесі власної життєдіяльності окремі види мікроорганізмів виділяють в оточуюче середовище певні сполуки (токсини), які є вкрай небезпечними для людини. І термічна обробка зазвичай не забезпечує їх руйнування!!! Також термічна обробка не захищає людину від інших забруднень органічної або неорганічної природи.

#### ***Хід досліду:***

- За допомогою мірного циліндра відміряти об'єм досліджуваної води (50-100 мл) з природного джерела, перелити її у термостійкий хімічний посуд.

Зверніть увагу, що ознакою термічної стійкості посуду є скорочення «ТС» або білий прямокутник на зовнішній поверхні стінки посуду!

- Помістити посуд зі зразком води на нагрівальний пристрій і обережно нагріти його вміст до кипіння, регулюючи інтенсивність нагрівання для забезпечення спокійного рівномірного кипіння проби води. Тривалість термічної обробки при температурі кипіння становить 1 – 5 хв від початку кипіння.
- Обережно зняти посуд зі зразком води з нагрівальної поверхні та щільно закрийте посуд харчовою плівкою для уникнення контакту зразка води із зовнішнім середовищем.
- Після того, як зразок води вистигне до кімнатної температури, використати отриману пробу «очищеної» води для подальших мікробіологічних досліджень (див. **Частина 2** даної роботи).

## Частина 2. Оцінка ефективності знезараження води за допомогою мікробіологічних тестів

Для якісної та кількісної оцінки ефективності очищення води різними методами від біологічних забруднень необхідно провести мікробіологічне тестування зразків води на наявність в них живих мікроорганізмів. Після процедури посіву та вирощування згідно зі стандартизованими методиками потрібно провести оцінку наявності колоній мікроорганізмів, отриманих з обраних зразків очищеної води, зразка вихідної неочищеної води та провести порівняльний аналіз ефективності кожного з використаних методів очищення.

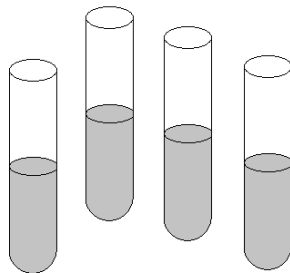
### *Техніка безпеки*

Проведення **мікробіологічних тестів** вимагає спеціальних вмій та навичок роботи з мікробіологічними об'єктами і суворого дотримання правил особистої гігієни та використання засобів індивідуального захисту, для уникнення потрапляння «об'єктів» дослідження до власного організму через дихальні шляхи, слизові оболонки, рота, очей, а також будь-які порушення щільності шкіри (подряпини, рани тощо).

### *Хід досліджу:*

**В даній частині роботи представлена загальна схема проведення мікробіологічних тестів.**

Перед початком роботи необхідно підготувати зразок неочищеної води (зразок порівняння) та потрібну кількість зразків води, очищеної різними методами (3 зразки).

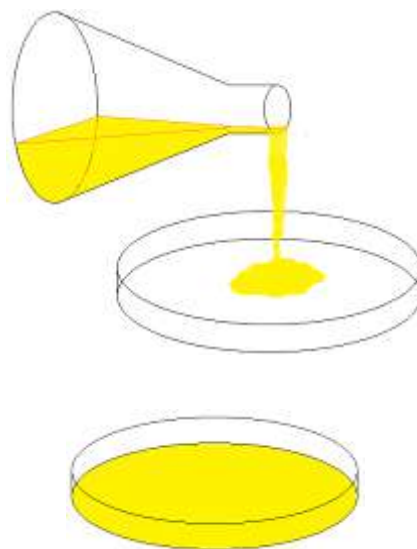


### *А) Підготовка чашок Петрі з поживним середовищем:*

На водяній бані обережно розігріти агаризоване поживне середовище у кількості, достатній для приготування тестових чашок Петрі.



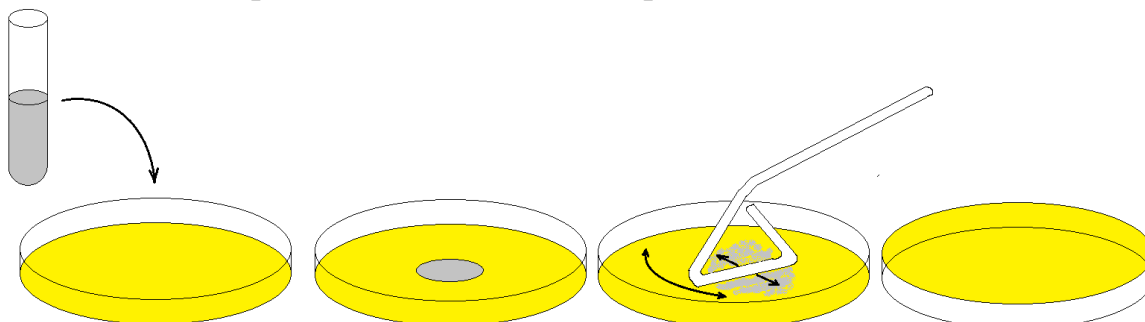
Нагріте рідке агаризоване поживне середовище розлити у стерильні чашки Петрі забезпечуючи утворення рівномірного тонкого шару.



Зачекати протягом 10-15 хв. поки середовище вистигне і затвердне у вигляді твердого тонкого шару

#### *Б) Посів бактеріальної культури на тверде поживне середовище:*

Посів бактеріальної культури проводять методом виснажуючого штриха. Для цього на поверхню поживного середовища піпеткою необхідно нанести певний об'єм рідини для аналізу та обережно розтерти її стерильним шпателем Дригальського по всій поверхні поживного середовища. Чашку Петрі з нанесеним зразком закрити кришкою та перевернути догори дном, щоб уникнути потрапляння конденсату з кришки на поверхню поживного середовища з нанесеною пробою.



Чашку Петрі позначити написом відповідного змісту, що повинен містити *найменування зразка води (або метода її очищення), дату і час посіву, прізвище дослідника (або позначення групи дослідників)*.

Описану процедуру нанесення проб на поживне середовище повторити для кожного досліджуваного зразка води.

#### *В) Вирощування бактеріальних культур*

Чашки Петрі з посіяними культурами розмістити у термостаті за температури 37 °С (або в теплому місці, захищеному від прямих сонячних променів) догори дном, щоб конденсат (крапельки води), який може утворитися в процесі інкубування, не потрапив на поверхню середовища і не розмив ізольовані колонії.

#### *Г) Аналіз результатів мікробіологічних тестів*

Через проміжок часу, потрібний для вирощування колоній мікроорганізмів зі зразків води, провести якісну та/або кількісну оцінку ефективності кожного методу очищення води, порівнюючи кількісний склад колоній мікроорганізмів, що висіялися з проб очищеної та вихідної води.



## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ҐРУНТІВ

### Робота 3.1. Визначення типу ґрунту за окремими показниками

Успішність аграрних господарств, як промислових, так і приватних, безпосередньо залежить від рівня родючості ґрунтів, і сучасна аграрна і хімічна промисловість має багато засобів для її підвищення. Проте дбайливе і відповідальне ставлення до природи вимагає особливого, так би мовити, індивідуального підходу до роботи в кожній конкретній місцевості, з врахуванням всіх її природних особливостей, і в першу чергу це передбачає визначення якості ґрунтів, на яких передбачається ведення господарської діяльності. Основними характеристиками ґрунтів, що визначають їх якість є механічний склад ґрунту, природна вологість, щільність ґрунту, вміст гумусу, кислотність та сольовий склад ґрунтів, мікробіологічні показники, що визначають необхідність внесення добрив, а також вміст фітопатогенів.





















Визначити окремі показники якості ґрунту можна як в спеціальній лабораторії, так і шляхом досить простих «польових» тестів. Досить точно показники якості ґрунту можна визначити і за допомогою природної рослинності – так званих рослин-індикаторів.




















#### Частина 1. Визначення типу ґрунту за рослинами індикаторами












Рослинами-індикаторами називають дикорослі рослини, що характеризуються чітко вираженою адаптацією до певних умов довкілля, в тому числі і конкретних параметрів ґрунту. За присутністю та особливостями розвитку таких рослин в тій чи іншій місцевості можна зробити попередні висновки про тип ґрунтів та наближено оцінити їх якість.

Характеристики ґрунту	Рослини-індикатори		
<b><i>Щільність та родючість ґрунту</i></b>			
пухкий ґрунт			
	Рутка лікарська	Жабрій звичайний	Незабудка польова
ущільнені ґрунти			
	Жовтець повзучий	Перстач гусячий	Подорожник великий



бідні ґрунти			
	Мохи, лишайники	Котяча лапка дводомна	Багно звичайне
			
	Журавлина	Верес звичайний	Безсмертник піщаний
родючі ґрунти			
	Копитняк європейський	Лобода	Блекота чорна
			
	Малина	Мокриця	Кропива
<b>Механічний тип ґрунту</b>			
легкі ґрунти			
	Безсмертник піщаний	Очиток їдкий	Сосна звичайна
важкі ґрунти			
	Спориш	Бересклет бородавчастий	
			
	Жовтець повзучий	Перстач гусячий	Подорожник

<i>Кислотність ґрунту</i>			
кислі ґрунти (рН 3,0-4,5)			
	Сфагнові та зелені мохи	Плауни	Верес звичайний
кислі та слобокислі ґрунти			
	Кінський щавель	Котяча лапка дводомна	Мати-і-мачуха
			
	Жовтець повзучий	М'ята польова	Вероніка лікарська
			
	Подорожник великий	Папороть чоловіча	Фіалка собача
			
	Хвощ польовий	Медунка неясна	
нейтральні ґрунти			
	Мокриця	Редька дика	Мильнянка лікарська
			
	Пирій повзучий	Грицики	

лу́жні ґрунти			
	Дрімота біла	Підмаренник чіпкий	Молочай серповидний
			
	Гірчиця польова	Золототисячник зонтичний	
<b>Вміст окремих елементів</b>			
ґрунти, збагачені Нітрогеном			
	Кропива дводомна	Хміль	Щириця закинута
низький вміст Нітрогену в ґрунті			
	Люцерна	Росичка	Льянка
	Рослини з сімейства Бобових		

*Контрольні завдання:*

1. Користуючись ботанічними атласами та даними, наведеними в таблиці, спробуйте визначити тип ґрунту в місцях відбору проб для лабораторних досліджень якості ґрунту.
2. Порівняти дані, отримані за допомогою рослин-індикаторів з результатами подальших досліджень якості ґрунтів.

---



---



---



---



---



---



---



---

## Частина 2. Експрес-метод визначення механічного складу ґрунту

Всі ґрунти, за механічним складом, можна умовно поділити «легкі» (пісчані та субпісчані) та «важкі» (глинисті та суглинисті). Приналежність до конкретного типу ґрунту визначається розміром частинок, з яких складається ґрунт.

**Глинисті ґрунти** характеризуються найменшими за розмірами частинками, вони важкі, легко ущільнюються, повільно прогріваються і висихають, мало насичені киснем. В таких ґрунтах розвиток кореневої системи рослин ускладнений, однак такі ґрунти містять велику кількість поживних речовин.

**Суглинисті ґрунти** мають більші за розміром частинки, порівняно з глинистими ґрунтами, є більш структурними і родючими. Містять в своєму складі від 10 до 30% глини.

**Пісчані ґрунти** складаються з великих за розміром частинок, є малородючими. Вони швидко пропускають вологу, в результаті чого всі поживні речовини швидко вимиваються. Однак завдяки швидкому нагріванню і високій аерації такі ґрунти добре підходять для вирощування певних культур за умови підвищення їх родючості шляхом внесення органічних добрив.

**Субпісчані ґрунти** є більш родючими ніж пісчані, вони краще утримують вологу і поживні речовини.

### *Посуд і обладнання:*

Стакани одноразові  
Одноразові ложечки  
Рукавички

### *Реактиви:*

Проби ґрунтів  
Дистильована вода

### **Техніка безпеки:**

Проби досліджуваних ґрунтів можуть містити шкідливі і отруйні речовини, а також патогенні мікроорганізми. Тому працювати з ними треба в рукавичках дотримуючись загальних правил лабораторної роботи.

### **Хід досліджу:**

1. До проби ґрунту додати води, розмішати до консистенції тіста і спробувати скатати руками кульку. Якщо кулька не тримається, розсипається – тип ґрунту *пісчаний*.
2. З утвореної кульки спробувати розкатати валик. Якщо валик не розкатується – тип ґрунту *субпісчаний*.
3. Якщо здалося розкатати валик – скрутіть його в кільце. Якщо ґрунт *суглинистий* – кільце матиме тріщини, тоді як з *глинистого* ґрунту можна отримати ідеальне за формою, рівне кільце.
4. Повторіть процедуру, описану в пп. 1-3 для кожної проби ґрунтів, відібраних для дослідження.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Частина 3. Визначення рН ґрунту

Одним з найважливіших факторів впливу на ріст та розвиток рослин, а саме на засвоєння ними поживних речовин, є водневий показчик, або рН ґрунту. Так надмірно низькі (< 4,0) та надзвичайно високі (> 9,0) значення водневого показника ґрутів є токсичними для кореневої системи більшості рослин і, фактично, вбивають останніх, хоча в процесі еволюції в рослинному світі сформувалися «екстремали», здатні жити в умовах підвищеної кислотності (мохи, плауни). В межах вказаного діапазону рН ґрунту визначає можливість засвоєння рослиною основних елементів. Так, при рН = 4,0 – 5,5 Марганець, Ферум та Алюміній переходять у легкодоступні форми, їх концентрація може зрости до токсичного для рослин рівня. Надлишок цих елементів є згубним для рослин через порушення білкового та вуглеводного обміну речовин. Низький показник кислотності призводить до гальмування і пригнічення процесів засвоєння Сірки, Кальцію, Магнію і Молібдену. В таких ґрунтах знижується бактеріальна активність, погіршується структура ґрунту, водо- та повітряпроникність. В сільському господарстві проблему підвищення рН до оптимального значення вирішують шляхом вапнування – внесення до ґрунту вапняного борошна, доломітового вапна, крейди, гашеного вапна, попелу тощо.

У надмірно вапняному ґрунті рослинами практично не здатні засвоювати Ферум, Марганець та інші важливі елементи, що призводить до різноманітних захворювань.

Для життєдіяльності більшості рослин, в тому числі для вирощування рослин сільськогосподарського значення, найбільш придатними є ґрунти зі значенням рН в межах 5,5 – 7, при цьому деякі рослини, в тому числі сільськогосподарського значення, «визначають» для себе ще більш вузький інтервал оптимальних значень рН. Наприклад, щавель найкраще росте на ґрунтах з невеликою кислотністю (рН 5,0 – 5,5), морква, шпинат, петрушка «полюбують» більш нейтральний ґрунт (рН 6,0 – 7,0), а цибуля і білокачанна капуста можуть витримати і більш високі значення рН ґрунту – від 6,4 до 7,9.

Для визначення рН з ґрунту як правило готують водну витяжку. Рівень кислотності визначають за допомогою індикаторного паперу або, більш точно, - використовуючи спеціальний прилад – рН-метр.

*Посуд і обладнання:*

Стакани хімічні 50-100 мл  
Лійка для фільтрування  
Скляні палички  
рН-метр  
Фільтрувальний папір

*Реактиви:*

Проби ґрунтів  
Дистильована вода

***Техніка безпеки:***

Перш ніж розпочати роботу з рН-метром необхідно уважно ознайомитися з інструкцією, що поставляється до кожного конкретного приладу, та чітко її дотримуватися, виконати всі необхідні підготовчі процедури (підготовка електроду, калібровка приладу). Зі скляним електродом слід працювати обережно, уникаючи надмірних зусиль та ударів.

***Хід дослідю:***

1. Приготувати водну витяжку. Для цього до наважки ґрунту 10 г додати 30 мл дистильованої води, і перемішувати протягом 3 хвилин. Дати суспензії відстоятися і відфільтрувати розчин над осадом за допомогою паперового фільтра у чистий посуд.
2. Підготовлений до роботи електрод занурити у досліджуваний розчин, слідкуючи щоб контакт знаходився на глибині не менше 1 см від поверхні. Виміряти значення рН. Після вимірювання електрод ретельно промити дистильованою водою для повного видалення залишків досліджуваного розчину.
3. Виміряти рН для всіх проб ґрунтів відповідно до описі процедури. За класифікацією, наведеною в таблиці, визначити тип ґрунту за рівнем кислотності.

<b>Значення рН</b>	<b>Тип ґрунту</b>
менше 3,5	дуже кислий
3,6 – 4,5	кислий
4,6 – 5,5	відносно кислий
5,6 – 6,5	слегка кислий
6,6 – 7,2	нейтральний
7,3 – 8,4	вапняний
вище 8,5	дуже вапняний

4. За можливості, перевірте отримані результати за допомогою визначення рослин-індикаторів (див. частину 1).



### Робота 3.2. Визначення вмісту гумусу в ґрунті

Однією з найважливіших характеристик ґрунтів, з точки зору сільськогосподарської діяльності людини, є їх родючість, що визначається вмістом специфічної речовини – гумусу. Гумус (з лат. Humus – земля, ґрунт) – це органічна частина ґрунту, яка утворюється в результаті розкладу рослинних і тваринних решток і продуктів життєдіяльності організмів – гуміфікації.



Гумус ґрунту є складним комплексом органічних сполук, в якому виділяють три групи речовин:

- неспецифічні органічні сполуки, що синтезуються в живих організмах і потрапляють до ґрунту у складі рослинних і тваринних залишків;
- проміжні продукти розкладу і гуміфікації – продукти часткового розкладу органічних залишків, які за сукупністю ознак ще не можуть бути віднесені до специфічних гумусових, але вже не є характерними для живих організмів;
- специфічні гумусові речовини, які утворюються безпосередньо в ґрунті в результаті процесів гуміфікації.

Родючість ґрунту напряму залежить від вмісту гумусу, кількість якого визначають у мас.%. Чим більше гумусу міститься в ґрунті, тим більше забезпечені рослини поживними речовинами, тим краще вони ростуть. Опосередковано вміст гумусу в ґрунті можна оцінити за забарвленням останнього – чим темнішим є верхній горизонт ґрунту, чим більша його товщина – тим більш багатим на гумус є ґрунт.

#### *Посуд і обладнання:*

Колба конічна 100 мл – 1 шт.

Бюретка – 1 шт.

Лійка – 1 шт.

Лійка для бюретки – 1 шт.

Піпетка 10 мл – 2 шт.

Стакани хімічні 50-100 мл

Лійка для фільтрування

Сито

Електроплитка

Аналітичні ваги

#### *Реактиви:*

Проби ґрунтів

0,2 н. хромова суміш (розчин Калій дихромату в сульфатній кислоті)

0,2% розчин фенілантранілової кислоти

0,2 н. розчин солі Мора

Дистильована вода



**Техніка безпеки:**

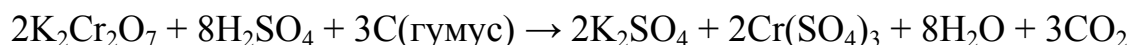
Перш ніж розпочати роботу з рН-метром необхідно уважно ознайомитися з інструкцією, що поставляється до кожного конкретного приладу, та чітко її дотримуватися, виконати всі необхідні підготовчі процедури.

**Хромова суміш (суміш конц. сульфатної кислоти,  $H_2SO_4$  та калій дихромату,  $K_2Cr_2O_7$ )** – дуже їдка речовина. Сильний окисник, може спричинити загоряння органічних матеріалів. При потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняє хімічні опіки. Слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати потрібно у спецодязі.

**Ортофосфатна кислота,  $H_3PO_4$**  – їдка речовина. Розчини кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють подразнення та опіки. Слід уникати розбризкування і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати потрібно у спецодязі.

**Загальні відомості:**

Визначення вмісту гумусу в ґрунті засновано на реакції окиснення Карбону, що входить до складу органічних сполук гумусу, хромовою сумішшю:



Надлишок Калій дихромату, що не прореагував, титрують стандартним розчином солі Мора (амоній Ферум (II) сульфат гексагідрат,  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ).

**Хід дослідю:**

1. Визначити наважку ґрунту для аналізу, виходячи з його забарвлення і можливого вмісту гумусу за даними, наведеними в таблиці.

Забарвлення ґрунту	Категорія ґрунту	Вміст гумусу, мас. %	Маса наважки, г
Дуже чорне або темно-коричневе	Високогумусний, дуже родючий	10 – 15	0,05 – 0,1
Чорне або коричневе	Гумусний, родючий	7 – 10	0,1 – 0,15
Темно-сіре	Середньогумусний, середньородючий	4 – 7	0,15 – 0,2
Сіре	Малогумусний, середньородючий	2 – 4	0,2 – 0,6
Світло-сіре	Малогумусний, низькородючий	1 – 2	0,5 – 1

З проб досліджуваного ґрунту видаляють рослинні залишки, і висушують за температури від 100 до 105°C до постійного маси. Перед проведенням аналізу пробу ґрунту перевіряють на вміст хлоридів (перевірка водної витяжки розчином Аргунтум нітрату). В разі високого вмісту хлоридів (сильне помутніння) їх необхідно видалити з ґрунту шляхом багаторазового промивання на фільтрі дистильованою водою до негативної реакції на Аргентум нітрат.

2. Повітряно-сухий ґрунт розтерти в ступці і просіяти за допомогою сита з розміром отворів 1 мм.
3. Наважку ґрунту обережно перенести до конічної колби ємністю 100 мл і по краплях додати 10 мл 0,2 н. хромової суміші. В горло колби вставити маленьку лійку (діаметр 3 – 3,5 см), яка буде відігравати роль холодильника, і обережно нагріти вміст колби. При нагріванні відбувається окиснення гумусу, що супроводжується появою маленьких пухирців внаслідок утворення CO<sub>2</sub>. Від початку виділення пухирців вуглекислого газу витримати колбу при нагріванні протягом 5 хвилин уникаючи інтенсивного кипіння.

Стадія нагрівання є найбільш відповідальною – від якості її проведення залежить результат аналізу. Повільне слабке кипіння відбувається за температури 140-180°C, що попереджує розкладання дихроматної кислоти. Якщо допустити випаровування води – кислотність розчину зростає, що призведе до часткового розкладання дихромової кислоти і вплине на результат аналізу.

В процесі нагрівання колір розчину змінюється від оранжевого до буруватого. Зелене забарвлення розчину свідчить про повне відновлення Cr<sup>6+</sup> до Cr<sup>3+</sup> і нестачу Калій дихромату. В такому випадку, наважку ґрунту для аналізу слід зменшити.

4. Після завершення реакції вміст колби охолодити, змити краплі розчину зі стінок колби і лійки невеликою кількістю дистильованої води (не більше 20 мл), і 5-8 крапель індикатора – розчину фенілантранілової кислоти. Отриманий розчин відтитрувати стандартним 0,2 н. розчином солі Мора до зміни темно-бурого забарвлення через фіолетове і синє до брудно-зеленого кольору.
5. За процедурою, описаною в пп. 2-4 провести титрування контрольної проби (холосте титрування), використовуючи замість наважки ґрунту 0,2 г прокаленої і розтертої в порошок пемзи для забезпечення рівномірного кип'ятіння.
6. Розрахувати вміст органічного Карбону ( $x_{OC, \text{мас.}\%}$ ) в досліджуваній пробі ґрунту за формулою:

$$x_{OC} = \frac{(V_{\text{контр.}} - V_{\text{проби}}) \cdot 0,003 \cdot C_N \cdot K}{m} \cdot 100$$

де  $V_{\text{контр.}}$  – об'єм розчину солі Мора, витрачений на контрольне титрування, мл;

$V_{\text{проби}}$  – об'єм розчину солі Мора, витрачений титрування проби досліджуваного ґрунту, мл;

$C_N$  – нормальність розчину солі Мора;

0,003 – величина  $\frac{1}{4}$  мг-екв Карбону (фактор еквівалентності Карбону =  $\frac{1}{4}$ , мольна маса еквіваленту становить  $12/4=3$  г)

$m$  – наважка сухого ґрунту, взята для аналізу, г;

100 – коефіцієнт перерахунку у мас.%;

$K$  – коефіцієнт для перерахунку на сухий ґрунт (поправка на вміст гігроскопічної води)

$$K = \frac{100 - w_g}{100},$$

де  $w_g$  – гігроскопічна вологість ґрунту;

7. Розрахувати вміст гумусу в наважці ґрунту, виходячи з того, що в гумусі міститься в середньому 58 мас.% органічного Карбону (отже, 1 г Карбону відповідає 1,724 г гумусу):

$$\text{Гумус}(\%) = x(\%) \cdot 1,724$$

8. Зробити висновки щодо типу досліджуваного ґрунту, його походження і вмістом гумусу в ньому.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## РОЗДІЛ 4 ПРИНЦИПИ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

### Робота 4.1. Рослинні олії як сировина для виробництва палива та миючих засобів

Використання природної сировини в традиційних хімічних процесах виробництва продуктів та товарів щоденного застосування є одним з напрямів «зеленої» хімії. До подібних продуктів саме й відносяться біодизель та мило. На сьогодні дизельне паливо та мило є багатотоннажними продуктами нафтохімічного синтезу. Іншими словами для їх виробництва використовується мінеральна невідновлювальна сировина – нафта. Зменшення об'ємів її використання для виробництва звичайних продуктів дозволяє як зберегти цю надзвичайно цінну сировину для більш важливих потреб, так і суттєво зменшити негативні наслідки її видобування для природних екосистем.



Сучасні технології ресурсозбереження та рівень розвитку хімічної промисловості дозволяють зменшити об'єм використання мінеральної сировини та замінити її на природну відновлювальну сировину. При цьому як біодизель, так і мило можна отримати з однієї сировини – рослинних олій.

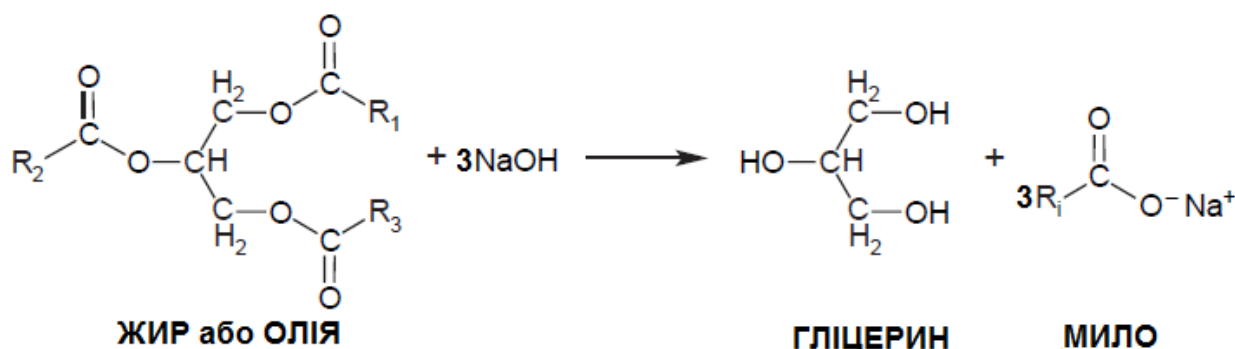


Розвинені країни впевнено крокують в цьому напрямі, для всіх інших економічні причини (суттєве зростання вартості виробництва), а також бізнес-інтереси окремих корпорацій, уповільнюють цей процес. Щодо біопалива, слід зазначити, що хоча найбільш перспективними технологіями, з точки зору екології та охорони навколишнього середовища є повна відмова від рідкого палива та двигунів внутрішнього згоряння, що на ньому працюють, повне вирішення цього питання потребує не одного десятиріччя, тому в найближчому майбутньому біодизель є продуктом актуальним, а попит на нього буде достатньо високим найближчі 20-30 років.

Тож спробуємо і ми в невеликих масштабах оволодіти обома технологіями виробництва біопалива та мила з природної відновлюваної сировини – рослинних олій. А також порівняємо ці технології з точки зору економіста і еколога, а саме визначивши ефективність процесу, вихід цільового продукту, подивимось, яка кількість відходів супроводжує ці процеси, та що можна і чи потрібно з ними робити для максимально ефективного використання природної сировини.

### Частина 1. Виготовлення мила з рослинної олії

Реакція виготовлення мила з жирів природного (рослинного або тваринного) походження має назву сапоніфікація (лат. «sapo» – мило), що за своєю суттю є добре знайомим нам гідролізом. Жири, як відомо, є естерами триатомного спирту гліцерину  $\text{CH}_2(\text{OH})\text{--CH}(\text{OH})\text{--CH}_2\text{OH}$  та карбонових кислот з довгими вуглеводневими радикалами різної будови загальної формули  $\text{R--COOH}$ . У свою чергу мила – це солі, зазвичай натрієві, зазначених карбонових кислот –  $\text{R--COO}^-\text{Na}^+$ . Для перетворення жирів в мила їх піддають повному гідролізу, результатом якого є утворення гліцерину та солей карбонових кислот.



Для позначення радикалів карбонових кислот використовують різні індекси –  $\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$  та  $\text{R}_3$ , оскільки вони можуть відрізнятися за своєю хімічною будовою. В залежності від типу обраних жирів (олій) отримані мила можуть суттєво відрізнятися, зокрема прозорістю, текстурою, кольором, запахом (див. табл).

Жир / олія		Мило		
назва	колір	колір	текстура (вигляд)	запах
Молочний жир	жовтий	бежевий	віскоподібна	віску
Арахісове масло	темно-жовтий	кремовий	м'яка однорідна	жареного арахісу
Арахісова олія	світло-жовтий	білий	шарувата	вівсяного борошна
Соняшникова олія	жовтий	світло-жовтий	кремоподібна	хлібного тіста
Оливкова олія	жовтий	білий з кремовим відтінком	розсипчастий порошок	воскового олівця
	світло-жовтий	білий	шарувата	Пап'є маше
Кукурудзяна олія	світло-жовтий	бежевий	розсипчаста	специфічний
Олія після термічної обробки	коричневий	коричневий	густа маса	пластику

Регулювати зовнішній вигляд, текстуру та органолептичні характеристики мила також можна в процесі його приготування шляхом введення різних домішок.

#### *Посуд і обладнання*

Мірний циліндр на 50 мл  
Хімічний стакан на 200 мл – 2 шт  
Скляна паличка  
Піпетки  
Пробірки з корком – 2 шт  
Лійка  
Ваги  
Електрична плитка  
Водяна баня  
Фільтрувальний папір

#### *Реактиви*

Жир або олія  
Дистильована вода  
NaOH  
NaCl  
Етиловий спирт

#### ***Техніка безпеки***

**Нагрівання розчинів** слід проводити обережно, дотримуючись загальних правил техніки безпеки в лабораторії, уникаючи бурхливого кипіння і розбризкування речовин.

**Етанол** – легкозаймиста рідина, має різкий запах. Працювати потрібно в приміщеннях, де немає джерел відкритого вогню.

**Сульфатна кислота,  $H_2SO_4$**  – дуже їдка речовина. Сильний окисник, може спричинити загоряння органічних матеріалів. Розчини кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють хімічні опіки. Слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з ними потрібно у спецодезі.

**Натрій гідроксид,  $NaOH$**  – їдка речовина, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним слід обережно. В жодному разі не можна торкатися реактиву руками. Є дуже гігроскопічним, тому наважки слід брати швидко, ємність з речовиною не слід залишати відкритою без необхідності.

### **Хід досліду:**

1. В хімічному стакані взяти наважку 5 г  $NaOH$ , додати 20 мл дистильованої води та перемішати до розчинення твердої сполуки. Наявність в стакані незначної кількості нерозчинної сполуки ( $Na_2CO_3$ ; утворюється при взаємодії  $NaOH$  з  $CO_2$  при зберіганні лугу) не заважає подальшій роботі.
2. Охолодити розчин до кімнатній температурі та додати 20 мл 95 %-ного етанолу. Суміш ретельно перемішати.
3. Додати в приготовлену суміш 10 г жиру або олії, ретельно перемішати та витримати на киплячій водянній бані протягом 45 хв час від часу перемішуючи. *Протягом реакції гідролізу необхідно слідкувати за об'ємом реакційної суміші та за необхідності (при зменшенні об'єму реакційної суміші внаслідок википання) додавати піпеткою рівні об'єми дистильованої води та 95 %-ного етанолу.*
4. Після закінчення реакції гідролізу (сапоніфікації) реакційну суміш охолодити до  $50\text{ }^\circ\text{C}$  і додати до неї необхідну кількість 25 %-ного розчину  $NaCl$  до загального об'єму суміші 100 мл. Отриману суміш охолодити до кімнатної температурі, осад відфільтрувати и промити холодною водою. Оцінити отриманий осад за кольором, текстурою і запахом.
5. Для перевірки поверхнево-активних властивостей отриманої речовини додати у 2 пробірки по 5 мл дистильованої води. В першу пробірку додати невелику кількість (0,1 г) отриманого «мила». Обидві пробірки закрити корками та інтенсивно збовтати. Чи відбуваються якісь зміни в пробірках? В кожну з пробірок додати по 0,5 мл олії, закрити та інтенсивно збовтати і відставити. Що відбуваєть в пробірках через 10-20 сек? Описати спостереження.

---

---

---

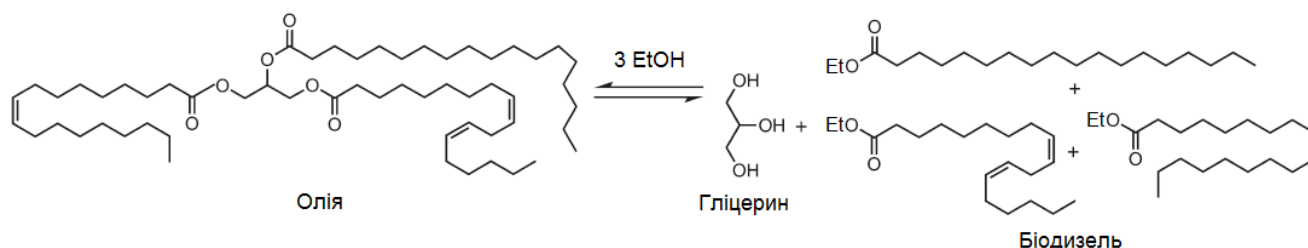
---

---

---

## Частина 2. Синтез біодизеля з рослинної олії та його властивості

На відміну від реакції гідролізу, за якою одержують мило, одержання біодизеля засноване на реакції трансестерифікації, за якою в естері природного походження (рослинній олії) відбувається заміщення вихідного триатомного спирту (гліцерину) на нижчі первинні одноатомні спирти – метанол або етанол (з метою демонстрації можна використовувати навіть 1-пропанол).



Як каталізатор в цій реакції можна використовувати сильні кислоти чи основи. Реакція трансестерифікації під впливом основ відбувається з великою швидкістю та високим виходом цільового продукту. Даний процес при використанні відпрацьованої рослинної олії (наприклад після її використання для приготування їжі) дуже ускладнюється через підвищений вміст води та наявність вільних карбонових кислот (утворення емульсій, деактивація каталізатора).

Реакція трансестерифікації під дією кислотних каталізаторів відбувається зі значно меншою швидкістю та потребує надлишку моноатомного спирту, але є менш вимогливою до складу реакційного середовища та умов, тому є основною реакцією синтезу екологічного пального. Іноді для підвищення економічності процесу синтезу біодизеля ці два процеси об'єднують.

В цій роботі для одержання біодизелю ми спробуємо використати реакцію трансестерифікації, що каталізується сильною кислотою, одержимо біодизель та спробуємо охарактеризувати його без застосування специфічних та складних приладів, що зазвичай використовуються в заводських лабораторіях.



### Посуд і обладнання

Мірний циліндр на 50 мл  
Колба тірмостійка 100 мл – 1 шт.  
Зворотний холодильник – 1 шт.  
Піпетки 10 мл – 3 шт.  
Скляна паличка  
Пробірка з пробкою – 2 шт  
Лійка  
Фільтрувальний папір  
Ваги  
Водяна баня з термометром  
Електрична плитка

### Реактиви

Рослинна олія  
Етиловий спирт  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$  (конц.)  
NaCl, 1 М розчин  
Дистильована вода

#### **Техніка безпеки**

**Нагрівання розчинів** слід проводити обережно, дотримуючись загальних правил техніки безпеки в лабораторії. уникаючи бурхливого кипіння і розбризкування речовин.

**Етанол** - легкозаймиста рідина, має різкий запах. Працювати потрібно в приміщеннях, де немає джерел відкритого вогню.

**Сульфатна кислота,  $\text{H}_2\text{SO}_4$**  – дуже їдка речовина. Сильний окисник, може спричинити загоряння органічних матеріалів. Розчини кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють хімічні опіки. Слід уникати розбризкування розчину і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати з ними потрібно у спецодязі.

**Відкрите полум'я.** Працюйте уважно! Бережіться опіків.

### **Хід досліду**

1. В хімічній колбі зі шліфом зважити 20 г рослинної олії (сонячної, оливкової, кукурудзяної; можна використати відходи олії після будь-якої термічної обробки).
2. До наважки олії додати 6 мл 95 %-ного етанолу або, за наявності, 8 мл н-пропанолу та 4 краплі концентрованої сульфатної кислоти.  
*Не варто використовувати ізопропанол, оскільки це значно збільшує тривалість процесу та зменшує вихід кінцевого продукту. Поясніть чому?*
3. Нагріти водяну баню до температури 90 °С. В колбу з реакційною сумішшю обережно вставити зворотній кульковий холодильник, зібрану скляну конструкцію обережно поставити у нагріту водяну баню та закріпити у штативі, уникаючи надмірних зусиль.
4. Витримати реакційну суміш на водяній бані за температури 90 °С (температуру бані необхідно постійно контролювати за допомогою термометра) протягом 1,5-2 год. Якщо спостерігається сильне кипіння реакційної суміші, температуру у водяній бані слід зменшити. **В жодному разі не залишати робоче місце без нагляду!**

5. Після закінчення реакції реакційну суміш потрібно охолодити до кімнатної температури. Відзначити зміни, що відбулися з реакційним середовищем.
6. Нижній шар суміші (якщо він утворився) відібрати піпеткою. Яка хімічна природа цієї рідини?
7. Додати до залишеної в колбі рідини 10 мл 1 М водного розчину NaCl і перемішати суміш. Після нетривалого відстоювання нижній шар рідини віділити піпеткою. Процедуру повторити ще 1-2 рази. Залишок в колбі після промивки розчином Натрій хлориду і є біодизелем.
8. За можливості отриманий біодизель висушити від надлишку розчиненої води додаванням невеликої кількості (1-2 г) твердого осушувача (безводні Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, силікагель тощо).
9. Провести первинний аналіз одержаного біодизель за допомогою звичайних загальнодоступних методів.

### ***Вимірювання відносної в'язкості біопалива***

Оцінювання відносної в'язкості біопалива проводять за вимірюванням часу витікання однакових об'ємів досліджуваного біодизелю і стандартного зразка, в якості якого можна використати рослинну олію, з якої було одержано досліджуваний біодизель.

#### *Посуд і обладнання*

Стакани хімічні 50-100 мл

Піпетки Пастера 3 мл

Секундомір

#### ***Техніка безпеки***

Для уникнення потрапляння досліджуваних речовин на шкіру працювати необхідно в рукавичках!!!

#### ***Хід досліду***

1. Для калібрування обережно зрізати верхню частину піпетки поблизу місця закруглення «колби». Поставити маркером позначки *верхньої границі відліку* (мітка 3 мл) і *нижньої границі відліку* на відстані не менше 2 см від носика піпетки.
2. Одягти нітрилові рукавички, тримаючи піпетку в лівій руці закрити вказівним пальцем носик піпетки і обережно заповнити її зразком досліджуваної речовини (рослинною олією або біодизелем на її основі) до рівня, що знаходиться трохи вище мітки *верхньої границі відліку* уникаючи утворення пухирців повітря в об'ємі рідини та на стінках піпетки.
3. Забрати палець від кінчика піпетки дозволяючи рідині вільно витікати з неї. Виміряти інтервал часу, за який меніск рідини проходить відстань від *верхньої*

границі відліку до нижньої граници відліку. Для кожного зразка (олія, біодизель) вимірювання повторити не менше 3-х разів. Результати записати в таблицю.

4. Розрахувати відносну в'язкість досліджених речовин за співвідношенням:

$$\eta_{app} = \frac{t_{oil}}{t_{bio}}$$

де  $\eta_{app}$  – відносна в'язкість зразка біодизелю (по відношенню до рослинної олії);  
 $t_{oil}$  – час витікання фіксованого об'єму рослинної олії;  
 $t_{bio}$  – час витікання фіксованого об'єму одержаного біодизелю.

Зразок	Вимірювання	Час витікання, с	Середній час витікання, с	Відносна в'язкість
Рослинна олія	1			
	2			
	3			
	4			
Біодизель	1			
	2			
	3			
	4			

### ***Швидкість згорання біопалива***

Однією з найважливіх характеристик різних видів палива є їхня питома швидкість згорання – час (в секундах), який потрібен для згорання точно виміряної кількості палива (перерахунок зазвичай проводять на 1 мілілітр або 1 грам). В залежності від складу палива та його якості цей показник може змінюватись.

#### *Посуд і обладнання*

Бавовняна вата

Порцелянові випарювальні чашки

Піпетки Пастера 3 мл

Секундомір

Джерело відкритого полум'я

#### ***Техніка безпеки***

Робота з відкритим полум'ям і горючими речовинами вимагає суворого дотримання правил техніки безпеки для уникнення опіків і неконтрольованого розповсюдження полум'я. Працювати слід у добре вентильованому приміщенні або на відкритому повітрі (за умови відсутності вітру). **Поблизу місця проведення дослідження не повинні знаходитися легкозаймисті речовини і матеріали!!!** Не можна залишати джерела вогню без нагляду.

### **Хід дослідю:**

1. З бавовняної вати сформувати щільні тампони, однакової маси і форми, у кількості, що відповідає кількості досліджуваних зразків.
2. Порцелянову чашку помістити на вогнестійку поверхню (кераміка, металева пластина, цегла, бетон), опустити в неї підготовлений ватний тампон і змочити його 2 мл біодизелю.
3. Піднести до ємності з тампоном, просоченим біодизелем джерело відкритого полум'я, одночасно запустити секундомір. Вимірювання часу зупинти, коли *полум'я від горіння палива* загасне. Наявність диму або тління ватного тампону не потрібно зараховувати як час горіння палива.
4. Розрахувати питомий час горіння біодизелю  $t_{fuel}$  за формулою:

$$t_{fuel} = \frac{t_{exp}}{V_{fuel}}$$

де  $t_{exp}$  – час горіння об'єму палива ( $V_{fuel}$ ) під час експерименту, с;  
 $V_{fuel}$  – об'єм палива, використаний для проведення вимірювань, мл.

5. За результатами експерименту заповнити таблицю:

<b>Зразок</b>	<b>Вимірювання</b>	<b>Час горіння, зразка, с</b>	<b>Питомий час горіння, с/мл</b>
	1		
	2		
	3		
	1		
	2		
	3		
	1		
	2		
	3		

### ***Питома теплота згорання біопалива***

Найбільш важлива характеристика будь-якого типу палива – питома теплота згорання. Простими словами це тепло, що виділяється внаслідок повного згорання одиниці маси певного типу палива.

### Питома теплота згоряння деяких видів палива

Паливо	Q, МДж/кг	Паливо	Q, МДж/кг
Порох	5	Деревне вугілля	34
Деревина	10	Дизельне пальне	42
Буре вугілля	12	Авіаційне пальне	43
Солома	14	Нафта	44
Торф	15	Природний газ	44
Тротил	15	Пропан	46
Кам'яне вугілля	27	Бензин	46
Спирт	27	Ацетилен, метан	50
Антрацит	30	Водень	120

*Оскільки метою даної роботи є лише ознайомлення із принципами визначення питомої теплоти згоряння палива, в ній використовуються звичайні лабораторні засоби, точність яких значно поступає високоточному аналітичному обладнанню спеціальних лабораторій, тому кінцеві результати будуть відрізнятися від теоретичних.*

#### *Посуд і обладнання*

Хімічний термостійкий стакан на 50 або 100 мл

Алюмінієва фольга

Термометр

Бавовняна вата

Електронні ваги

Порцелянова випарювальна чашка

Піпетки Пастера 3 мл

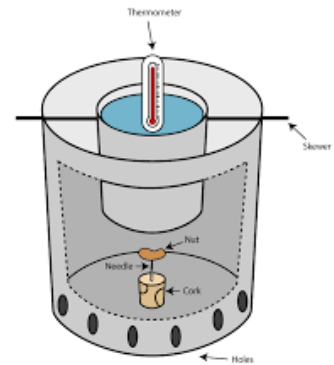
Джерело відкритого полум'я

#### *Хід досліду:*

Для визначення теплоти згоряння палива використовують спеціальні прилади – калориметри, який можна зібрати власноруч. Звісно, такий «прилад» за своєю точністю буде суттєво поступатися, однак з певними припущеннями його можна використовувати на наближеного і порівняльного аналізу.

1. В термостійкому хімічному стакані на 50 або 100 мл зважити точну наважку (в межах 15-20 г) дистильованої води ( $m_{H_2O}$ ). Результат занести в таблицю.
2. Широкою смужкою алюмінієвої фольги (15 см x 30 см) огорнути стакан з боків та зверху, залишивши у верхній частині отвір для термометра та залишивши у нижній частині «спідничку» шириною 1-1,5 см.
3. Виміряти за допомогою термометра точну температуру води в стакані ( $T_0$ ). Результат занести в таблицю.

- Внести в ємність для згоряння палива щільний ватний тампон (див. попередній експеримент), змочити його точною наважкою (в межах 2-3 г) одержаного біодизелю ( $m_{fuel}$ ) (для фіксації точної маси біодизелю, взятого для аналізу, змочування тампону проводити на вагах).
- Стакан-калориметр поставити на вогнестійку підставку, під його «спідничкою» розмістити ємність для згоряння і підпалити зразок біодизелю. Верхня межа полум'я від згоряння палива повинна торкатися дна «калориметра».
- Спостерігаючи за імпровізованим приладом дочекатися зникнення полум'я, що свідчить про повне згоряння палива. Одразу після цього виміряти за допомогою термометра температуру води в стакані-калориметрі ( $T$ ). Результат занести в таблицю.
- Розрахувати питому теплоту згоряння одержаного біодизелю, використовуючи рівняння:



$$Q = \frac{C_{H_2O} \times (T - T_0) \times m_{H_2O}}{m_{fuel}}$$

де  $C_{H_2O}$  – питома теплоємність води, що дорівнює 4,2 кДж/(кг·°C);

$T$  – температура води в калориметрі після згоряння зразка біодизелю (°C);

$T_0$  – температура води в калориметрі перед проведенням експерименту (°C);

$m_{H_2O}$  – наважка води в стакані-калориметрі (кг);

$m_{fuel}$  – наважка біодизелю, взятого для експерименту.

- Результати розрахунків занести в таблицю.

Зразок палива	Маса води, $m_{H_2O}$ , кг	Маса палива, $m_{fuel}$ , кг	Температура $T_0$ , °C	Температура $T$ , °C	Зміна температури, $(T - T_0)$ , °C	Питома теплота згоряння, кДж/кг
Етанол						

### Контрольні запитання

- Яким чином властивості жирів та олій впливають на кінцеві властивості мила? Чому?
- В який спосіб можна змінити зовнішній вигляд та консистенцію одержаного мила?

3. Чому при додаванні олії в дистильовану воду та в розчин мила ми отримуємо зовсім різні результати? Відповідь обґрунтуйте.
4. З якою метою в комерційні миючі засоби додають такі складові як NaOH, оксалатна кислота, фосфати, ЕДТА (натрієва сіль етилендіамінтетраацетатної кислоти)?
5. Які ще, окрім наведеного вище, способи виробництва біопалива ви знаєте? Чи є виробництво біопалива менш шкідливим для довкілля, порівняно з нафтохімічним виробництвом? Чи може виробництво біодизелю спричинити негативні наслідки для навколишнього середовища? Якщо можете, наведіть приклади.
6. Порівняйте результати вимірювань окремих властивостей біодизелю та контрольних зразків (рослинна олія, етанол).
7. Поміркуйте, який з розглянутих способів переробки рослинних жирів (олій) є більш екологічним? Чому? Аргументуйте вашу відповідь.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Робота 4.2. Біодеградабельні полімерні матеріали на основі природних полісахаридів<sup>4</sup>

Використання відновлювальної природної сировини замість мінеральної у виробництві полімерних матеріалів (полімерна тара, побутові вироби тощо) є на сьогодні одним з найважливіших напрямків розвитку сучасної промисловості. Цей підхід не лише забезпечує збереження мінеральної сировини та її використання для більш важливих потреб, а також дозволяє зменшити наслідки забруднення довкілля, що досягло на даний час жахливого масштабу.



Найчастіше для виготовлення матеріалів побутового призначення застосовуються поліолефіни – поліетилен та поліпропілен. Їхня кількість серед всього об'єму побутових відходів за даними на рік складає більше 25 %. Спроби надати даним матеріалам здатність до фотоокисної деградації, як основного механізму руйнування поліолефінів, що не піддаються звичайній біологічній деструкції, у природних умовах,

<sup>4</sup> В основу покладено науково-дослідний матеріал роботи Н. Sommerfeld, R. Blume. J. Chem. Edu. 69 (1992) A151.

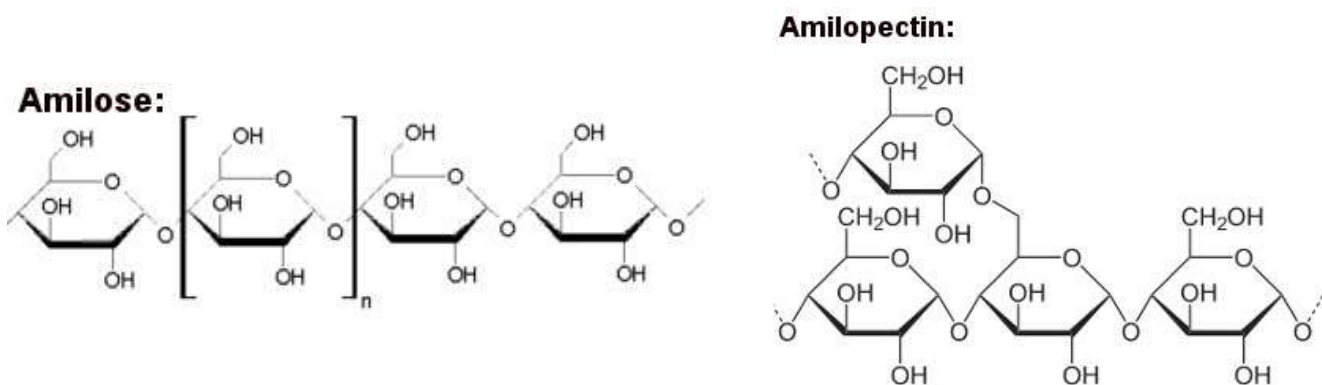


виявилися неефективними, а постійне зростання їх виробництва, особливо у країнах з нерозвиненою економікою, продовжує погіршувати стан навколишнього середовища.

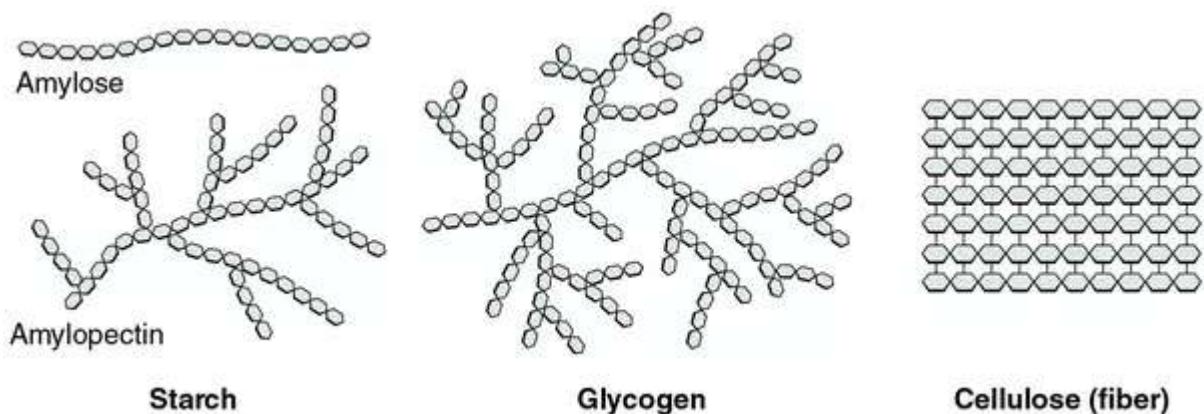
З точки зору вирішення проблем утилізації відходів, природні полімери мають суттєву перевагу над синтетичними. Протягом мільйонів років біологічні системи нашої планети навчилися легко руйнувати матеріали природного походження за допомогою широкого набору природних ферментів та використовувати продукти руйнування для власних потреб. Звичайно цей шлях «природної» утилізації для штучних (синтетичних) полімерних матеріалів, які з'явилися усього 150-200 років, є практично неможливим, а нові механізми просто не встигли сформуватися і невідомо, чи зможуть вони сформуватися взагалі.

Одним з найбільш поширених джерел природних полімерів, який можна застосувати для створення заміників поліолефінів для виробів побутового призначення, є крохмаль. Крохмаль – це не індивідуальний полімер, а суміш полімерів глюкози, основними компонентами якої є розгалужені макромолекули полісахариду *амілопектину* (75-80 %) та довгі лінійні макромолекули полісахариду *амілози* (20-25 %).

Саме завдяки їх поєднанню крохмаль має гарні плівкотвірні властивості (спроможність утворювати плівки, міцність яких робить можливим їх практичне застосування).



Хімічна будова основних полімерних складових крохмалю



Порівняльний аналіз будови макромолекул природних полісахаридів, молекули яких складаються із залишків глюкози: крохмаль («джерело» зберігання енергії у рослин), глікоген («джерело» зберігання енергії тварин та людини) та целюлоза (основний будівний матеріал рослин)

Основний внесок в плівкотвірні властивості крохмалю роблять довжелезні нерозгалужені молекули амілози, сполучені між собою водневими зв'язками. Більш компактні розгалужені макромолекули амілопектину, що мають глобулярну (сферичну) форму, порушують впорядкованість цієї системи, але надають плівці з крохмалю додаткову міцність, при цьому збільшуючи її крихкість, що критично обмежує сфери застосування матеріалів на основі природного крохмалю.



Хімічне модифікування крохмалю (зміна його хімічної структури, введення нових реакційно здатних груп) та фізичне модифікування шляхом введення пластифікаторів (також природного походження) дозволяє підвищити міцність та еластичність матеріалів на основі крохмалю, надати виробам з них декоративних властивостей з метою розширення їх застосування.

Як пластифікатори найбільш привабливими є екологічно безпечні вода та спирти, зокрема гліцерин, як нелеткий трьохатомний спирт, який, в тому числі, є побічним продуктом виробництва надзвичайно популярного сьогодні типу палива – біодизеля. Дія води та гліцерину пов'язана з утворенням додаткових водневих зв'язків між молекулами полімерів та пластифікаторів, а також між молекулами пластифікаторів, що робить всю систему значно більш пластичною, зберігаючи при цьому достатню міцність. Разом з цим значний вміст гідроксильних груп в структурі крохмалю надає матеріалам на основі крохмалю високу гідрофільність, що дозволяє їх легко фарбувати екологічно безпечними харчовими барвниками. Отже, як результат, полімерні матеріали на основі модифікованого крохмалю є повністю безпечними як для людини так і для всієї живої природи.

## Частина 1. Виготовлення біодеградабельної полімерної плівки з частково гідролізованого крохмалю

Плівкотвірні властивості крохмалю значною мірою залежать від співвідношення полімерних складових крохмалю (амілози та амілопектину) та від їхньої молекулярної маси. Великий вміст амілопектину, молекулярна маса якого сягає  $1-20 \times 10^6$ , та амілози, з середньою молекулярною масою  $4-20 \times 10^4$ , є ключовими факторами, що погіршують властивості полімерних матеріалів на основі немодифікованого крохмалю. Використання часткового кислотного гідролізу крохмалю дозволяє зменшити вплив цих небажаних факторів. Чому? З двох причин. Контрольований кислотний гідроліз крохмалю дозволяє зменшити вміст амілопектину та його середню молекулярну масу. Завдяки будові макромолекул амілози її гідроліз відбувається значно повільніше у порівнянні з амілопектином та практично не впливає на кінцевий результат.

### Техніка безпеки

**Хлоридна кислота,  $HCl$**  – їдка речовина. Розчини кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють подразнення та опіки. Слід уникати розбризкування і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати потрібно у спецодязі.

**Натрій гідроксид,  $NaOH$**  – їдка речовина, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним слід обережно. В жодному разі не можна торкатися реактиву руками. Є дуже гігроскопічним, тому наважки слід брати швидко, ємність з речовиною не слід залишати відкритою без необхідності.

**Нагрівальні прилади.** Робота з ними та нагрітим посудом потребує особливої уваги та серйозного ставлення для попередження можливих опіків.

### Посуд і обладнання

Термостійка колба (стакан) на 100 мл  
Магнітна мішалка з підігрівом  
Термометр  
Полімерна підкладка  $15 \times 15$  см  
Піпетки Пастера на 3 мл – 3 шт.  
Мірний циліндр на 50 мл  
Скляні палички  
Сушильна шафа (за наявності)

### Реактиви

Крохмаль (кукурудзяний або картопляний)  
50 %-ий (об.) водний розчин гліцерину  
Дистильована вода  
Харчові барвники (водні розчини)  
0,1 М хлоридна кислота  
0,1 М натрій гідроксид  
Універсальний індикаторний папір

### Хід роботи:

1. В термостійкій колбі або стакані об'ємом 100 мл ретельно змішати 2,5 г крохмалю (кукурудзяного або картопляного), 2 мл 50 %-ого розчину гліцерину, 3 мл 0,1 М розчину  $HCl$  та 20 мл (для кукурудзяного крохмалю) або 25 мл (для картопляного крохмалю) дистильованої води.

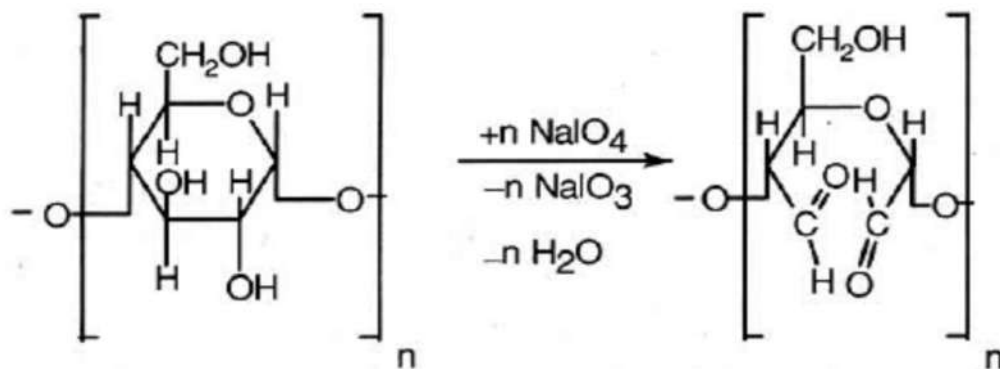
2. Отриману суміш обережно нагріти на магнітній мішалці з підігрівом при постійному перемішуванні до температури 105-110 °С та витримати в цих умовах протягом 15 хв. до утворення гомогенної напівпрозорої суміші.
3. Отриманий таким чином гарячий в'язкий розчин нейтралізувати при постійному перемішуванні додаванням 3 мл 0,1 М розчину NaOH. Контроль процесу нейтралізації забезпечується за допомогою універсального індикаторного паперу.
4. До отриманого нейтралізованого розчину можна додати декілька крапель розчину харчового барвника для надання суміші приємного кольору. Суміш вилити на полімерну підкладку, розподілити тонким шаром по всій поверхні і висушити у сушильній шафі протягом 1,5-2 год за температури 80-90 °С або протягом 10-12 год. на відкритому повітрі (додаткова вентиляція у приміщенні прискорює процес сушки).
5. Після висихання утворюється полімерна плівка. Охарактеризувати отриману плівку за критеріями, наведеними в таблиці.

Параметри	Спостереження
Зовнішній вигляд	
Міцність при розтягуванні	
Еластичність при згинанні: 1-осне 2-осне	
Ламкість	
Розчинність у воді	
Дія відкритого полум'я	

## Частина 2. Одержання діальдегіду крохмалю

Зазвичай хімічне модифікування крохмалю спрямоване на покращення його властивостей чи властивостей матеріалів на його основі. Надання полімерним молекулам крохмалю реакційної здатності переважно має за мету підвищення фізико-механічні властивостей кінцевих матеріалів – міцності, еластичності тощо.

Одним зі шляхів збільшення реакційної здатності молекул крохмалю є введення альдегідних груп шляхом контрольованого окиснення гідроксильних груп, які містяться в полімерних молекулах крохмалю у великій кількості. Використання для такого модифікування Натрій перйодату  $\text{NaIO}_4$  забезпечує прогнозований результат і одержання модифікованого крохмалю, що містить саме альдегідні групи, оскільки механізм даної реакції не передбачає більш глибоке окиснення:



#### Посуд і обладнання

Хімічна колба на 100 мл – 1 шт.  
 Хімічний стакан на 100 мл – 1 шт.  
 Мірний циліндр на 50-100 мл  
 Скляні палички  
 Електронні ваги  
 Магнітна мішалка  
 Крапельна лійка або піпетка  
 Фільтрувальний папір

#### Реактиви

Крохмаль (кукурудзяний або картопляний)  
 50 %-ий (об.) водний розчин гліцерину  
 Дистильована вода  
 Натрій періодат  $\text{NaIO}_4$

#### Техніка безпеки

**Натрій періодат,  $\text{NaIO}_4$**  – сильний окисник, має подразнюючу дію при контакті зі шкірою та слизовими оболонками. При контакті з органічними сполуками може спричинити пожежу. Працювати потрібно в засобах індивідуального захисту.

**Діальдегід крохмалю** є високореакційною речовиною. Має подразнюючу дію на шкіру. Працювати з ним необхідно в рукавичках.

#### Хід досліду:

1. В колбі об'ємом 100 мл ретельно змішати 4 г крохмалю з 20 мл (для кукурудзяного крохмалю) або 25 мл (для картопляного крохмалю) дистильованої води.
2. В хімічному стакані об'ємом 100 мл приготувати розчин 5,1 г натрій періодату в 65 мл дистильованої води.
3. В готову водну суспензію крохмалю при постійному перемішуванні повільно (по краплях) додати протягом 1 год водний розчин натрій періодату.
4. Після закінчення додавання розчину  $\text{NaIO}_4$  продовжити перемішування реакційної суміші за кімнатної температури протягом наступних 24 год.
5. Отриману суспензію модифікованого крохмалю відфільтрувати і тричі промити отриманий крохмаль на фільтрі свіжими порціями (по 10 мл) дистильованої води для видалення сполук іонної природи. Що це за сполуки?
6. Залишок на фільтрі є сумішшю діальдегід крохмалю і води, маса якої, за умови відсутності фізичних втрат, повинна складати приблизно 11 г, 75 % з яких є вода.
7. Одержаний діальдегід крохмалю використовується у подальшій роботі вологим.

### Частина 3. Біодеградабельні полімерні плівки з модифікованого крохмалю (діальдегіду крохмалю)

#### Техніка безпеки

**Хлоридна кислота, HCl** – їдка речовина. Розчини кислоти при потраплянні на шкіру та слизові оболонки спричиняють подразнення та опіки. Слід уникати розбризкування і потрапляння кислоти на одяг, шкіру та в очі. Працювати потрібно у спецодезії.

**Натрій гідроксид, NaOH** – їдка речовина, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає подразнення та спричиняє хімічні опіки. Працювати з ним слід обережно. В жодному разі не можна торкатися реактиву руками. Є дуже гігроскопічним, тому наважки слід брати швидко, ємність з речовиною не слід залишати відкритою без необхідності.

**Діальдегід крохмалю** є високо реакційною речовиною. Має подразнюючу дію на шкіру. Працювати з ним необхідно в рукавичках.

**Нагрівальні прилади.** Робота з ними потребує вашої особливої уваги та серйозного ставлення для попередження можливих опіків та виходу людей, що вас оточують, з ладу. Бережіть себе, колег по роботі та друзів, інакше вони швидко закінчатся!

#### Посуд і обладнання

Термостійка колба (стакан) на 100 мл  
Полімерна підкладка 15×15 см  
Піпетки Пастера на 3 мл – 3 шт.  
Мірний циліндр на 50 мл  
Магнітна мішалка з підігрівом  
Термометр  
Сушильна шафа (за наявності)

#### Реактиви

Крохмаль (кукурудзяний або картопляний)  
Діальдегід крохмалю (див. Частина 2 цієї роботи)  
50 %-ий (об.) водний розчин гліцерину  
Дистильована вода  
Харчові барвники (водні розчини)  
0,1 М хлоридна кислота  
0,1 М натрій гідроксид  
Універсальний індикаторний папір

#### Хід досліду:

1. В термостійкій колбі (стакані) об'ємом 100 мл ретельно змішати 2 г крохмалю (кукурудзяного або картопляного), 2 г діальдегіду крохмалю, 2 мл 50 %-ого розчину гліцерину, 3 мл 0,1 М розчину HCl та 20 мл (для кукурудзяного крохмалю) або 25 мл (для картопляного крохмалю) дистильованої води.
2. Отриману суміш обережно нагріти на магнітній мішалці з підігрівом при постійному перемішуванні до температури 105-110 °C та витримати в цих умовах протягом 15 хв. до утворення гомогенної напівпрозорої суміші.
3. Отриманий таким чином гарячий в'язкий розчин нейтралізувати при постійному перемішуванні додаванням 3 мл 0,1 М розчину NaOH. Контроль процесу нейтралізації забезпечується за допомогою універсального індикаторного паперу.
4. До отриманого нейтралізованого розчину можна додати декілька крапель розчину харчового барвника для надання суміші приємного кольору. Суміш вилити на

полімерну підкладку, розподілити тонким шаром по всій поверхні і висушити у сушильній шафі протягом 1,5-2 год за температури 80-90 °С або протягом 10-12 год. на відкритому повітрі (додаткова вентиляція у приміщенні прискорює процес сушки).

5. Отриману суміш виливають на полімерну підкладку, розподіляють тонким шаром по її поверхні та сушать у сушильній шафі протягом 1,5-2 год при температурі 80-90 °С або протягом 10-12 год. на відкритому повітрі (додаткова вентиляція у приміщенні прискорює процес сушки).
6. Після висихання утворюється полімерна плівка. Охарактеризувати отриману плівку за критеріями, наведеними в таблиці.

<b>Параметри</b>	<b>Спостереження</b>
Зовнішній вигляд	
Міцність при розтягуванні	
Еластичність при згинанні: 1-осне 2-осне	
Ламкість	
Розчинність у воді	
Дія відкритого полум'я	

7. Порівняти плівки, отримані з немодифікованого крохмалю та з додаванням діальдегіду крохмалю. Підсумувати власні спостереження у загальній таблиці.

<b>Полімерна плівка з немодифікованого крохмалю</b>	<b>Властивість</b>	<b>Полімерна плівка з модифікованого крохмалю</b>
	Зовнішній вигляд	
	Міцність при розтягуванні	
	Еластичність при згинанні: <i>1-осне</i>	
	<i>2-осне</i>	
	Ламкість	
	Розчинність у воді	
	Дія відкритого вогню	

*Контрольні запитання*

1. Поміркуйте, де можна застосовувати матеріали на основі крохмалю.
2. Що таке біодеградація? Які матеріали здатні до розкладання в природних умовах?
3. Яким чином можна перевірити здатність отриманих матеріалів на основі крохмалю до біодеградації?
4. Спробуйте пояснити, яким чином альдегідні групи модифікованого крохмалю впливають на властивості готових матеріалів.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ І КОРИСНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Сытник К.М., Брайон А.В., Гордецкий А.В. Биосфера. Экология. Охрана природы. – К.: Наукова думка, 1987.
2. Израэль Ю.А. Экология и контроль природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
3. Васюкова Г., Грошева О. Екологія. – К.: Кондор, 2009.
4. Мягченко О.П. Основы екології. К.: «Центр учбової літератури», 2010.
5. Голдовская Л.Ф. Химия окружающей среды. – М.: Мир, 2005.
6. Киевский М.И., Евстратов В.Н., Ратманов А.Г. Безотходные технологические схемы химических производств. – К.: Техника, 1987.
7. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность. – М.: Академия, 2004.
8. Иванов О.П., Мазур И.И. Опасные природные ресурсы. – М.: Экономика, 2004.
9. Некрасов Б.В. Основы общей химии (том 2). – М.: Химия, 1973.
10. Бойчук Ю.Д., Солошенко Е.М., Бугай О.В. Екологія і охорона навколишнього середовища. Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2002.
11. Електронний портал навчального центру з хімії Американського хімічного товариства: <https://www.acs.org/content/acs/en/education.html>
12. Електронний ресурс Британського королівського хімічного товариства для поглиблення знань з хімії та суміжних наук: <http://www.rsc.org/learn-chemistry>
13. Електронна база видань з напряму природничих наук <http://flightcollege.com.ua/library/>
14. Схованки безлічі науково-популярної інформації у відео- та текстовому форматі: <https://www.nationalgeographic.com/>, <http://www.bbc.com/earth/> та відповідний Youtube-канал <https://www.youtube.com/user/BBCearth>

