

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет агротехнологій та екології  
Кафедра екології

Дацко Т. М., Дидів А. І., Іванків М. Я.,  
Качмар Н. В., Шкумбатюк Р. С.

# ОХОРОНА ВОДНИХ РЕСУРСІВ І ЕКОСИСТЕМ: ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано рішенням вченої ради Львівського національного університету природокористування як навчальний посібник для здобувачів вищої освіти, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності 101 Екологія РВО «Бакалавр» (протокол № 9 від 30 травня 2024 року) за поданням вченої ради факультету агротехнологій та екології (протокол № 7 від 21 березня 2024 року)*

Дубляни 2024

**Охорона водних ресурсів і екосистем: Лабораторний практикум** [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності 101 Екологія РВО «Бакалавр» / ЛНУП; уклад.: Т. М. Дацко, А. І. Дидів, М. Я. Іванків, Н. В. Качмар, Р. С. Шкумбатьок. Електронні текстові дані (1 файл: 26,6 Мбайт). Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 112 с.

**Укладачі:**

Дацко Т. М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцентка кафедри екології Львівського національного університету природокористування;

Дидів А. І. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології Львівського національного університету природокористування;

Іванків М. Я. – кандидат сільськогосподарських наук, доцентка кафедри екології Львівського національного університету природокористування;

Качмар Н. В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцентка кафедри екології Львівського національного університету природокористування;

Шкумбатьок Р. С. – кандидат хімічних наук, в.о. доцента кафедри екології Львівського національного університету природокористування.

**Рецензенти:**

Разанов С. Ф. – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри екології Львівського національного університету природокористування;

Загричук Г. Я. – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри загальної хімії Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України;

Гринчишин Н. М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцентка кафедри екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

**Відповідальний за випуск:** Хірівський П. Р.

**Редактор:** Шафранська С. В.

*У навчальному посібнику детально розглянуто теоретичні основи, методи визначення та нормативи показників якості водних ресурсів згідно з сучасними стандартами України. Наведено методики експериментального визначення показників якості води.*

*Рекомендується для аудиторної, самостійної та індивідуальної роботи студентів закладів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 101 Екологія РВО «Бакалавр» та суміжними спеціальностями.*

## ЗМІСТ

Передмова.....	4
ТЕМА 1. Правила безпечної роботи в хіміко-токсикологічній лабораторії. Хімічний посуд.....	5
ТЕМА 2. Правила відбору, зберігання, консервування та транспортування проб води. Основи аналізу води.....	15
ТЕМА 3. Каламутність та прозорість природних вод. Принципи визначення.....	22
ТЕМА 4. Кольоровість води. Визначення кольоровості води.....	27
ТЕМА 5. Запах та смак води. Методика визначення.....	32
ТЕМА 6. Густина та питома електрична провідність води.....	35
ТЕМА 7. Мінералізація води. Методика визначення.....	40
ТЕМА 8. Жорсткість води. Методика визначення.....	44
ТЕМА 9. Кислотність води. Методика визначення показника рН води.....	48
ТЕМА 10. Окисно-відновний потенціалу води: біологічне значення, принципи та методика визначення.....	53
ТЕМА 11. Кисень у воді. Визначення вмісту розчиненого кисню у воді.....	57
ТЕМА 12. Біохімічне споживання кисню. Методи визначення.....	63
ТЕМА 13. Визначення вмісту амоній-іонів у воді.....	67
ТЕМА 14. Азот у воді. Визначення вмісту нітрит-іонів у воді.....	70
ТЕМА 15. Визначення концентрації хлоридів у воді.....	74
ТЕМА 16. Сполуки фосфору у воді. Визначення концентрації фосфатів.....	77
ТЕМА 17. Біологічний контроль за санітарним станом водойми методом сапробності.....	80
ТЕМА 18. Біологічний аналіз активного мулу.....	85
ТЕМА 19. Радіоємність водойм. Гранично допустимі скиди радіоактивних речовин у поверхневій воді.....	91
ТЕМА 20. Екологічна оцінка якості поверхневих вод за відповідними категоріями.....	94
ТЕМА 21. Принципи забезпечення технологічної ефективності очисних споруд.....	101
Бібліографічний список.....	104
Предметний покажчик.....	106
Додатки.....	108

## ПЕРЕДМОВА

Водні ресурси будь-якої країни є одним зі стратегічних факторів, які забезпечують функціонування її економіки, задоволення соціальних, культурно-естетичних та гігієнічних потреб. Попри те, що Україна має значні сумарні водні ресурси, велика їх частина не може бути використана. Як наслідок, за їх поновлюваними запасами на одного жителя, наша країна є однією з найменш забезпечених країн у Європі.

Довгострокова стратегія розвитку водних ресурсів України дозволила б краще забезпечувати українців питною водою, а державі – економити кошти на очистці води. Крім того, беручи до уваги той факт, що її запаси розподіляються по території України не рівномірно (найбільші вони на заході, найменші – в південних районах Донецької, Запорізької, Херсонської, Одеської областей), це вимагає раціонального використання і охорони від забруднення. Певна обмеженість у водних ресурсах в Україні потребує втілення таких засад комплексного використання та охорони вод, які б відповідали сучасним вимогам, що постають перед країнами Європи. Особливу увагу необхідно приділяти питанням управління якістю водних ресурсів на основі комплексних екологічних оцінок фізичних властивостей, хімічного і гідробіологічного складу вод. Водні ресурси оцінюються за їх якістю, тобто за характером та кількістю домішок, які можуть бути органічними, неорганічними та бактеріальними. Залежно від подальшого використання природних вод до якості води ставлять відповідні вимоги.

Курс «Охорона водних ресурсів і екосистем» є одним із базових освітніх компонентів для студентів які навчаються за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності 101 Екологія РВО «Бакалавр». Практична складова курсу спрямована на поглиблення теоретичних і практичних знань з дисципліни «Охорона водних ресурсів і екосистем», а також на здобуття та вдосконалення професійних навичок, якими повинен володіти еколог, повсякденною роботою якого є визначення і контроль показників якості води, з метою дослідження екологічної безпеки водних об'єктів (струмків, водопровідної, колодезної, річкової, стічної води тощо).

У процесі вивчення курсу передбачено проведення лабораторних робіт з визначення органолептичних, фізичних, хімічних, санітарно-хімічних показників якості води і самостійну роботу, яка спрямована на ознайомлення і вивчення Держстандартів та іншої нормативної літератури з якості води, виконання розрахункових завдань, аналізу й оформлення звіту. Мета створення навчального посібника – забезпечення виконання студентами практичної складової для закріплення теоретичних знань, отриманих на лекційних заняттях, зокрема розділу дисципліни, в якому викладені основні характеристики та особливості визначення якості водних ресурсів.

Теми зібраних у посібнику занять розкривають основні аспекти визначення якісних показників водних ресурсів. Кожна робота побудована таким чином, щоб максимально допомогти студенту зорієнтуватись у поданій темі, освоїти основні поняття та закріпити отримані знання. Опрацьовуючи матеріал, студент ознайомлюється з темою та метою роботи, розглядає перелік необхідних матеріалів та обладнання, щоб сфокусувати увагу на головних питаннях. У розрізі кожної теми поданий теоретичний матеріал, який покликаний допомогти її освоїти; наведений перелік завдань, обов'язкових для виконання студентом. Комплекси завдань, представлених у роботах, допоможуть студенту навчитись застосовувати здобуті знання з теми в практичній площині у лабораторних умовах. Перелік питань для самоконтролю знань дозволить остаточно завершити підготовку до якісного захисту роботи. У кінці посібника наведений бібліографічний список, що містить використану та рекомендовану літературу для поглибленого вивчення курсу.

Отже, навчальний посібник є незамінним помічником для здобувача вищої освіти рівня «бакалавр», опанування якого дозволить оволодіти методиками визначення якості водних ресурсів та принципами їх охорони.

*Авторська група заздалегідь вдячна кожному, хто матиме конструктивні зауваження та пропозиції щодо змісту запропонованого практикуму. Візьмемо до уваги цінні ідеї, які чекаємо на e-mail: [datskotm@lnup.edu.ua](mailto:datskotm@lnup.edu.ua)*

## ТЕМА 1

### ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ В ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ. ХІМІЧНИЙ ПОСУД

**Мета:** освоїти правила безпечної роботи в лабораторії, вивчити призначення, особливості використання та підготовки хімічного посуду.

**Матеріали та обладнання:** набір наявного в лабораторії хімічного посуду, захисний одяг (халат), робочий зошит, ручка.

#### Теоретичні відомості

##### *Загальні принципи роботи студентів у лабораторії*

Студентам, виконуючи лабораторні роботи, слід дотримуватись таких правил безпечної роботи:

1. До роботи допускаються студенти, які мають спецодяг і ознайомлені з методикою виконання роботи. Виходити з лабораторії у спецодязі заборонено.
2. Користуватись лише своїм робочим місцем.
3. Суворо дотримуватись чистоти і порядку. На лабораторному столі не повинно бути сторонніх речей.
4. Заборонено куріння, вживання їжі, зайві розмови та метушня.
5. Акуратно користуватись препаратами та розчинами, призначеними для досліджень. Не розкидати робочий інструмент, а складати його у визначеному місці та порядку.
6. У разі випадкового розливання досліджуваної проби, розбивання посуду або в інших непередбачуваних ситуаціях, студент зобов'язаний негайно повідомити про це викладача і разом з ним вжити необхідних заходів.
7. Закінчивши роботу необхідно:
  - прибрати робоче місце;
  - робочий інструмент здати черговому;
  - руки помити з милом;
  - здати оформлений звіт викладачеві.

##### *Правила безпечної роботи в хіміко-токсикологічній лабораторії*

1. Пробірки з розчинами реагуючих речовин не можна нагрівати на відкритому полум'ї газового пальника.
2. Проби у пробірках нагрівають на водяному нагрівнику.
3. Забороняється направляти отвір пробірок на себе або на працюючих поруч студентів, оскільки реагуюча суміш може ушкодити шкіру обличчя чи слизові оболонки очей.
4. У випадках, коли виникає необхідність перевірити запах речовин у пробірках або в балонах, в яких зберігаються рідини, необхідно легкими рухами долоні руки направити на себе потік повітря від пробірки чи балона і обережно понюхати.
5. Реактиви, дистильовану воду, газ, електричну енергію в лабораторії слід використовувати економно.
6. Всі роботи з речовинами, при взаємодії яких утворюються шкідливі для організму гази і сполуки з неприємним запахом, необхідно проводити в спеціально відведеному для цього приміщенні ( сірководневій кімнаті ) з підсиленою вентиляцією або витяжною шафою. Категорично забороняється працювати із вказаними речовинами на робочому місці.
7. Для запобігання нищення в лабораторії каналізаційної системи розчини сірководню, кислот, лугів тощо необхідно зливати в спеціально відведений для цього посуд. Розчини йодидів, сполук срібла і ртуті необхідно зливати в окремий посуд для того, щоб пізніше можна було провести регенерацію відходів і отримати з них сполуки, необхідні для роботи в лабораторії.
8. Газові пальники повинні бути справні. При їх несправності в приміщенні лабораторії будуть попадати продукти неповного згоряння газу, які можуть бути причиною отруєння.

9. Не допускати забруднення реактивів, що призначені для загального використання в лабораторії:

- а) невикористані реактиви забороняється виливати або висипати назад у посуд, де зберігається відповідний реактив;
- б) сухі реактиви необхідно брати із посуду спеціально призначеним для цього реактиву шпателем або ложечкою. Не дозволяється однією ложечкою або шпателем, без спеціальної їх очистки, брати декілька реактивів;
- в) корки від посуду з реактивами необхідно класти на робоче місце столу так, щоб вони не торкались поверхні столу своєю внутрішньою поверхнею. Категорично забороняється закривати посуд корками від іншого посуду;
- г) забороняється класти піпетки на поверхню робочого столу, їх необхідно поміщати в спеціальні штативи.

10. Всі реакції необхідно проводити з невеликою кількістю досліджуваних речовин і реактивів. Для виконання більшості реакцій необхідно брати від декількох крапель до 1 мл досліджуваного розчину.

11. Необхідно пам'ятати:

- а) більшість реакцій відбуваються лише при створенні певних умов. У зв'язку з цим, як правило, реактив слід додавати лише тоді, коли для цієї мети підготовлений досліджуваний розчин ( створене відповідне середовище, досягнута необхідна температура тощо);
- б) якщо реакція повинна проходити в кислому або в лужному середовищі, то не слід додавати будь-який об'єм кислоти чи лугу до досліджуваного розчину. Після додавання визначеного об'єму розчину кислоти чи лугу до досліджуваного розчину, рідину необхідно збовтати, а потім краплю суміші скляною паличкою перенести на шматочок лакмусового або індикаторного папірця і визначити рН середовища.

### **Робота з кислотами і лугами**

- 1. При роботі з концентрованими кислотами і лугами необхідно поводитись дуже обережно!!! Не допускати їх потрапляння на шкіру чи одяг, що може спричинити опіки і пошкодження одягу.
- 2. При розведенні концентрованої сульфатної кислоти необхідно обережно і повільно приливати кислоту у воду, а не навпаки.
- 3. При переливанні великих кількостей концентрованих кислот і розчинів лугів необхідно:
  - а) одягнути гумові рукавиці, фартух і захисні окуляри;
  - б) встановлені в кошики балони необхідно помістити на підставку, а потім повільно нахилити і перелити ці розчини через лійку в добре вимиті і висушені штанглази або склянки;
  - в) для набирання необхідних об'ємів кислот і розчинів лугів та реактивів слід використовувати спеціальний дозуючий пристрій (забороняється втягувати ротом через піпетки концентровані кислоти і луги);
  - г) луги, що знаходяться у твердому стані, необхідно відбирати з банок за допомогою пінцетів або шпательів; при подрібненні кусків лугу очі слід захищати спеціальними окулярами.

### **Робота зі шкідливими і токсичними речовинами**

При роботі з шкідливими і отруйними речовинами ( солі барію, ртуті, свинцю, арсену, міді, металічна ртуть, сірководень тощо ) необхідно дотримуватись наступних правил:

- а) слідкувати за тим, щоб вищевказані речовини не потрапили в організм через шлунково-кишковий тракт. У зв'язку з цим забороняється прийом їжі в лабораторії. Після роботи необхідно ретельно вимити руки;
- б) штанглази з ртуттю або заповнені нею прилади необхідно встановлювати в спеціальні підставки, щоб під час пошкодження приладів ртуть не потрапляла на робочий стіл чи на підлогу. Вилиту із посуду або із приладів ртуть необхідно відразу ж акуратно зібрати за допомогою мідної (срібної) лопатки чи вакуум-шланга і провести демеркуризацію. Робота із ртуттю дозволяється лише в спеціальних приміщеннях. Особи, що працюють із ртуттю, повинні ознайомитись з відповідною інструкцією.

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

1. При роботі з ефірами, спиртами, бензолом, ацетоном та іншими займистими речовинами, нагрівати їх можна лише на водяних нагрівниках у колбах із зворотним холодильником.
2. Нагрівання вогнебезпечних рідин необхідно проводити без вогню, на попередньо нагрітому водяному чи іншому нагрівнику.
3. При роботі з легкозаймистими речовинами не можна доливати їх до суміші реагуючих речовин із штангладів великого розміру. Необхідну кількість цих речовин чи їх розчинів слід налити в чисту пробірку, а потім з неї доливати ці рідини до досліджуваного розчину.
4. Після закінчення роботи з легкозаймистими речовинами необхідно загасити пальники, які знаходяться близько до приладів з цими речовинами, а потім приступити до демонтування приладів, в яких знаходяться (чи знаходились) легкозаймі речовини.
5. Забороняється зберігати горючі, легкозаймі і леткі речовини близько від вогню чи сильно нагрітих електричних приладів ( термостати, електричні печі тощо ).
6. Лужні метали необхідно обов'язково зберігати під шаром вільного від води і вологи гасу. При роботі з металічним натрієм чи калієм недопустимою є їх взаємодія з водою. Після закінчення роботи залишок цих металів необхідно перенести в спеціально відведений для цього посуд. Забороняється викидати металічний натрій і калій в раковину або в склянки, що призначені для відливання інших рідин.

### **Робота з речовинами, що утворюють вибухонебезпечні суміші**

1. Необхідно пам'ятати, що деякі гази (водень, ацетилен, оксид вуглецю тощо), а також спирти, легко киплячі вуглеводні (бензол, гексан тощо), ацетон, діетиловий ефір, сірковуглець і інші речовини при випаровуванні утворюють вибухонебезпечні суміші з повітрям. Працювати з такими речовинами необхідно при ввімкненій вентиляції, щоб їхні пари не накопичувались в атмосфері лабораторії.
2. Забороняється нагрівати чи піддавати удару речовини, що можуть утворювати вибухонебезпечні суміші ( хлорати, перхлорати, персульфати тощо).

### **Техніка безпеки при роботі з газовими пальниками**

1. Під час використання газових пальників, необхідно пам'ятати, що газ є отруйною і вибухонебезпечною речовиною. Неправильне й неохайне поводження з газовими пальниками може спричинити отруєння, пожежу, вибух.
2. Потрібно спершу запалити сірник, а потім відкрити кран надходження газу. Слідкуйте за тим, щоб газ не проскочив у середину пальника.
3. Якщо газ або зникає, або стає подовженим і горіння супроводжується свистінням, то це означає, що горіння відбувається всередині гумової трубки, що може призвести до її займання. В цьому випадку негайно закрийте кран, зачекайте, поки пальник охолоне, і лише після цього знову запалюйте його, попередньо зменшивши приток повітря.
4. У разі появи запаху газу в лабораторії негайно повідомте про це викладача, загасіть вогонь, відчиніть двері й вікна, вийдіть з лабораторії!!!

### **Техніка безпеки при роботі з газовими хроматографами**

1. У приміщенні, де одночасно працюють декілька газових хроматографів, обов'язково повинна бути загально-обмінна вентиляція. Крім того над кожним хроматографом бажана наявність пристрою для місцевого відсмоктування відпрацьованих газів. Вентилятор з мотором повинні розташовуватися і кріпитися таким чином, щоб їх вібрація не відбивалася на роботі приладів.
2. Балони зі стислими газами (аргон, азот, гелій, повітря і особливо водень) повинні зберігатися у залізних контейнерах (окремому для кожного балона), ззовні будівлі, із захистом від сонячних променів у вигляді дерев'яного накриття або чохла.
3. Лінії для підведення газу повинні бути виготовлені з мідних трубок, або з неіржавіючої сталі, діаметром 3-4 мм, зварених у місцях з'єднань. Лінії повинні бути перевірені на герметичність при тиску газів біля 10 атмосфер, результати перевірки оформляються у

вигляді актів. Металеві трубки для газових ліній необхідно по кілька разів промивати розчинником (бензолом, хлороформом, ефіром), після чого тривалий час продувати інертним газом. Для ліній таких газів як азот і повітря, для тиску 2-3 атм дозволяється застосування товстостінних шлангів.

4. Кабінети і лабораторії газової хроматографії рекомендується розташовувати на першому і другому поверхах.

5. У жодному разі не можна допускати витоку газів з балонів і ліній. При падінні тиску на манометрі потрібно виявити місця можливих витоків і негайно ліквідувати виявлену негерметичність. При сильних втратах газу необхідно повністю перекрити вентиль на балоні з газом.

6. У приміщеннях, де проводяться роботи на газових хроматографах з водневими полум'яно-іонізаційними детекторами, суворо забороняється куріння і запалювання вогню. Не можна підпалювати сірником водневе полум'я.

7. Роботи на газових хроматографах не проводяться однією особою, оскільки у разі розриву газової лінії, особливо водневої, працюючому повинна бути надана негайна допомога.

8. Усі контакти приладів, які знаходяться під напругою понад 127 В, повинні бути надійно ізольовані.

9. Скляні посудини, в яких можуть міститися вибухонебезпечні гази і рідини (газові піпетки, судини Дьюара, пляшки і інші ємності) повинні бути обмотані ізоляційною стрічкою або вміщені в чохли з металевої сітки.

10. Такі ж запобіжні засоби потрібно приймати при переміщенні скляного посуду.

11. При приготуванні стандартних газоподібних сумішей, до складу яких входять горючі речовини, необхідно враховувати можливість утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям.

### **Перша допомога при нещасних випадках**

Нещасні випадки (опіки, поранення, отруєння) в лабораторії можуть мати місце в результаті недостатньої ознайомленості працюючих з існуючими інструкціями з техніки безпеки або в результаті неакуратної роботи. Надання першої допомоги потерпілому полягає в наступному:

1. При попаданні на шкіру сильних кислот їх необхідно акуратно змити водою, а потім розчином натрію гідрокарбонату. При попаданні на шкіру концентрованої сульфатної кислоти перед обмиванням пошкодженої ділянки тіла, цю кислоту необхідно обережно зняти сухим ватним тампоном чи сухою лляною або бавовняною тканиною. Потім пошкоджену ділянку промити водою і розчином натрію гідрокарбонату.

2. При попаданні на шкіру концентрованих розчинів лугів ушкоджене місце необхідно промити водою, а потім залишок розчину нейтралізувати розведеною ацетатною чи цитратною кислотою.

3. При попаданні на шкіру фенолу, бромом чи інших подразнюючих речовин ушкоджене місце необхідно промити відповідним органічним розчинником (спиртом, бензолом, бензином, ефіром тощо).

4. При отруєнні хлором, бромом, оксидами азоту потерпілому необхідно дати вдихати пари розчину аміаку і випити молоко.

5. При опіках тіла вогнем необхідно негайно промити обпечену ділянку 10 % розчином калію перманганату і покласти на опік компрес із спиртового розчину таніну.

6. При порізах рану необхідно обробити спиртовим розчином йоду і перев'язати.

7. Після надання потерпілому першої допомоги його необхідно негайно направити в лікувальний заклад.

### **Ліквідація пожежі**

1. При виникненні пожежі в лабораторії необхідно негайно вимкнути газ і всі електричні прилади. Всі займисті речовини забрати від місця пожежі і зателефонувати за номером телефону: 101. Місце пожежі необхідно засипати піском чи накрити щільною ковдрою і загасити вогонь за допомогою вогнегасника.



2. Використовувати воду при гасінні пожежі необхідно обережно, тому що вода в деяких випадках сприяє не гасінню, а поширенню пожежі.
3. При загорянні одягу – на потерпілого необхідно накинути щільну ковдру і не знімати її до згасання полум'я.

### *Хімічний посуд*

В аналітичних лабораторіях найбільш поширене застосування має мірний посуд (мірні конічні колби, бюретки, піпетки, мірні циліндри, стакани й мензурки тощо), який має певні функції та особливості в роботі.

Мірні колби – плоскодонні колби з подовженим, вузьким горлом, на яке нанесена кругова позначка (рис. 1).



Рисунок 1. Мірні колби

Об'єм розчину до кругової позначки визначає місткість мірної колби. На практиці використовують мірні колби місткістю 50, 100, 250, 500, 1000 мл. Мірні колби застосовують для приготування розчинів точної концентрації з фіксаналів або за точною наважкою речовини, а також для розбавлення розчинів. У мірних колбах категорично не дозволяється нагрівати й довгий час зберігати розчини, здійснювати хімічні реакції. При приготуванні розчину мірну колбу потрібно брати тільки за горло і обов'язково вище позначки, щоб не змінити температуру розчину. Розчин або воду наливають до позначки таким чином, щоб вигнутий меніск рідини торкався позначки своєю нижньою частиною. При цьому позначка колби повинна знаходитися точно на рівні очей.

Бюретки – градуйовані скляні трубки, що мають однаковий діаметр по всій довжині (рис. 2).

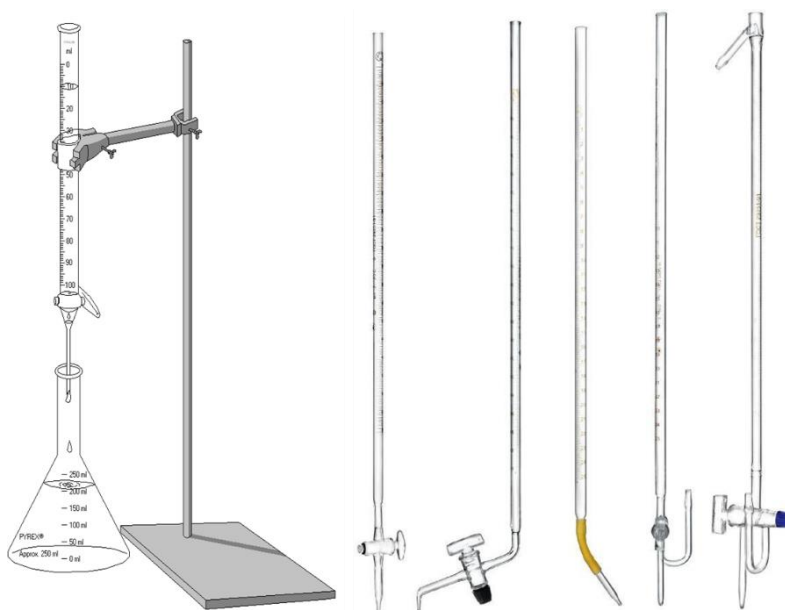


Рисунок 2. Бюретки

Бюретки закріплюються вертикально на лабораторному штативі. У нижній частині бюретки мають скляний кран або гумову трубку зі скляною кулькою (або затискувачем), які з'єднані зі скляним капіляром для витоку розчину. Бюретки призначені для титрування або для вимірювання невеликих об'ємів розчинів у серійних аналізах. Найчастіше використовують бюретки місткістю 25, 50 мл з ціною поділки 0,1 мл. За допомогою бюреток можна виміряти об'єм рідин з точністю до 0,3-0,85 мл (для звичайних бюреток) і до 0,005 мл (для мікробюреток).

Правила користування бюретками:

1) бюретку влаштовують у штативі чітко вертикально за допомогою металевих лапок і спеціальних затискачів;

2) перед початком роботи бюретку через лійку двічі промивають: дистильованою водою, потім – робочим розчином, яким будуть титрувати, і тільки потім заповнюють робочим розчином до нульової позначки, контролюючи, щоб не було бульбашок повітря в скляному капілярі;

3) розчин з бюретки при титруванні додавати краплями, не допускаючи витікання струменем. Розчин у колбі, що титрують, обов'язково ретельно перемішувати;

4) при всіх відліках за бюреткою очі спостерігача повинні розташовуватися чітко на рівні меніска рідини.

Піпетки Мора – скляні трубки з розширенням у середній частині («піпетки з кулькою») (рис. 3 а). У верхній частині піпетки є одна кругова позначка, яка визначає її місткість (10, 25, 50, 100 мл), а її нижня частина витягнута в капіляр («носик» піпетки). Піпетка такої форми призначена для точного відбору проб розчинів певного об'єму (аліквот).

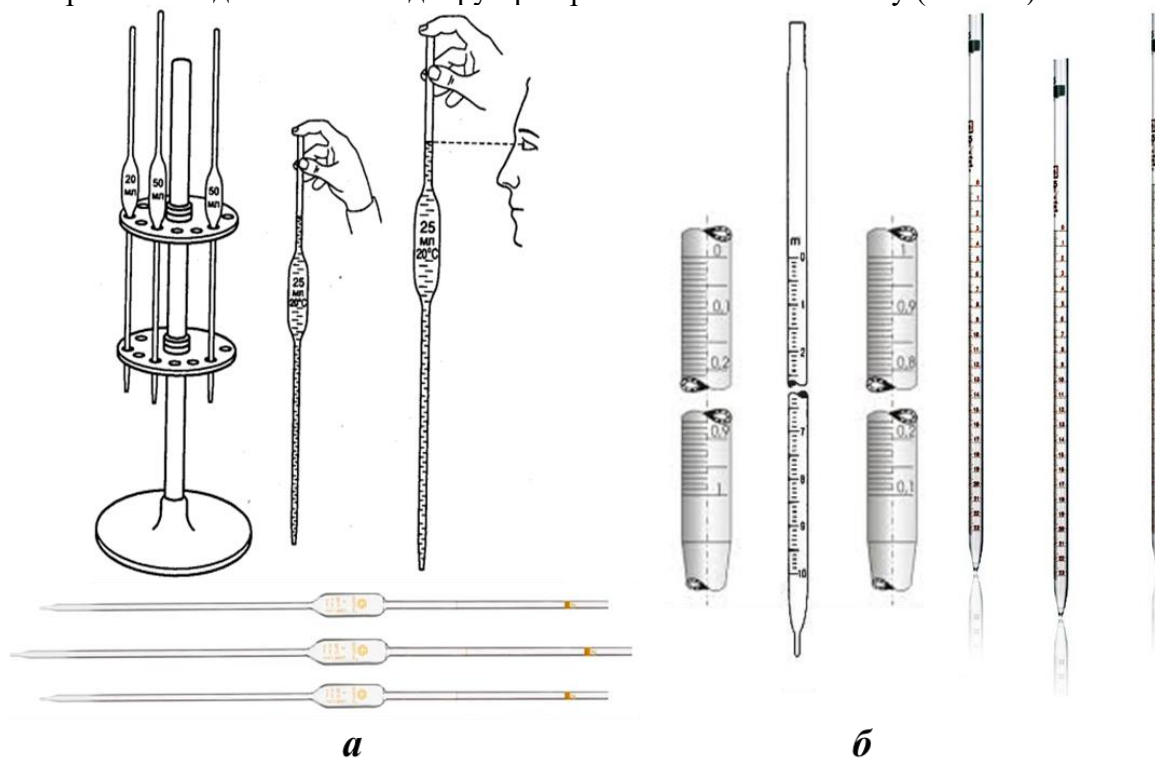


Рисунок 3. Піпетки:  
а – піпетка Мора; б – градуйована піпетка.

У лабораторній практиці застосовують також градуйовані піпетки (рис. 3 б). Це градуйовані циліндричні скляні трубки з витягнутим кінцем, які мають різні значення ціни поділки. Такі піпетки використовують, як правило, для допоміжних операцій.

Правила користування піпетками:

1) піпетка повинна бути чистою;

2) носик піпетки занурюють у склянку з розчином і всмоктують його за допомогою гумової груші;

3) як тільки розчин у піпетці підніметься вище позначки, грушу швидко від'єднують

від піпетки й швидко затуляють верхній отвір піпетки вказівним пальцем;

4) тримаючи вертикально над склянкою піпетку, її встановлюють таким чином, щоб позначка піпетки знаходилася на рівні очей, трохи послаблюють тиск вказівного пальця, щоб розчин почав поступово витікати в склянку доти, доки нижній меніск розчину не торкнеться позначки, після чого припиняють витікання розчину;

5) вводять носик піпетки до колби або склянки, куди потрібно перенести порцію розчину (не торкаючись стінок посудини) і зливають розчин;

6) при зливанні всього розчину категорично не дозволяється видувати з кінчика піпетки утримувану капілярними силами краплю розчину, тому що піпетка градуйована на вільний злив. Після того, як розчин стече з піпетки, торкаються піпеткою до горла колби (склянки) і ще 5-10 секунд чекають.

Конічні колби – плоскодонні конічні склянки різної місткості (рис. 4).

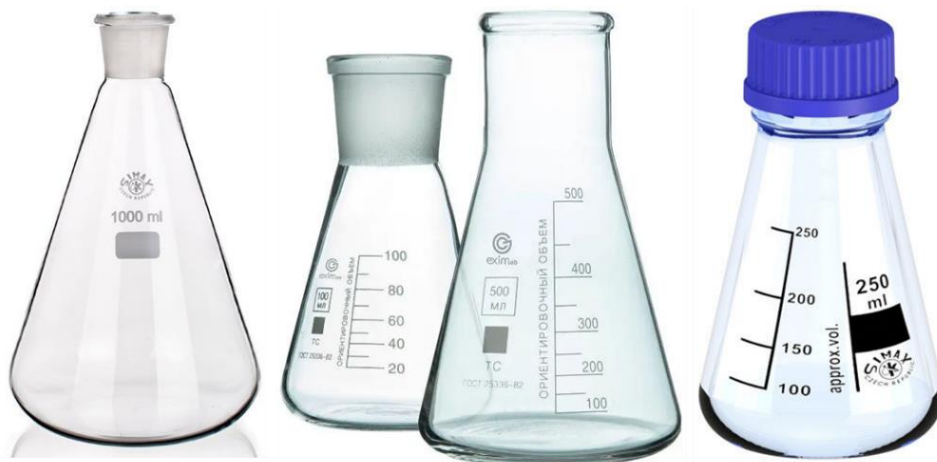


Рисунок 4. Конічні колби

Колби завжди використовують при титруванні. В них вміщують піпеткою певний об'єм проб води або інших розчинів.

Мірні градуйовані циліндри (рис. 5) й мензурки (рис. 6) використовуються для грубого вимірювання об'єму рідини, існують різної ємності: 5, 10, 25, 50, 100, 150, 250, 500, 1000 і 2000 мл.

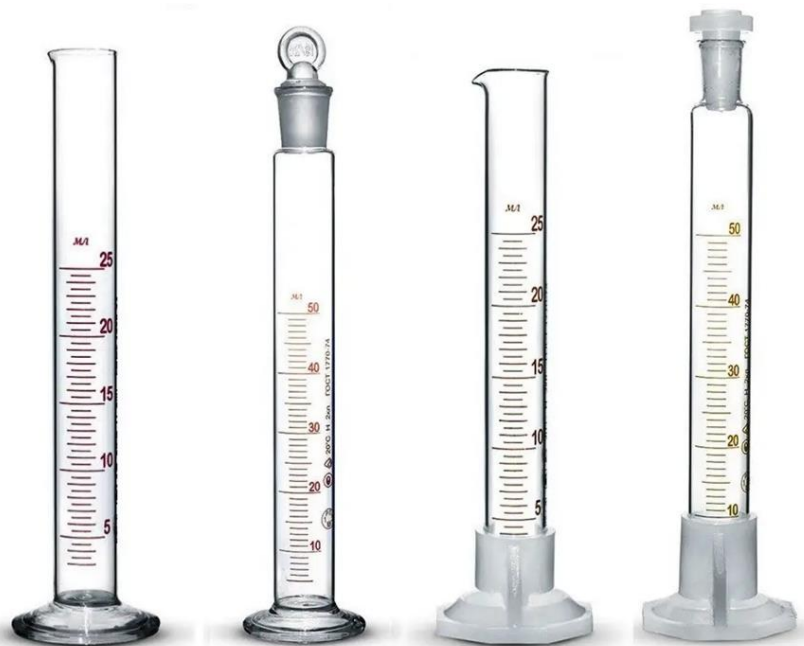


Рисунок 5. Мірні циліндри



Рисунок 6. Мензурка

Хімічні склянки (рис. 7) бувають різної ємності (від 50 до 1000 мл), їх використовуються для допоміжних робіт з водними розчинами й органічними рідинами.



Рисунок 7. Хімічні склянки

Крапельниці (рис. 8) використовують для дозування індикаторів і повільного додавання реагенту до реакційної суміші.



Рисунок 8. Крапельниці

Бюкс – склянка з притертим корком, використовують для зважування, висушування і зберігання речовин (рис. 9).



Рисунок 9. Бюкси

Лійку лабораторну використовують для переливання рідин або їх фільтрування крізь паперові фільтри (рис. 10).



Рисунок 10. Лійки лабораторні

Промивалка призначена для промивання осадів, посуду й приготування розчинів (рис. 11).



Рисунок 11. Промивалки

Ексикатор – посуд, у якому підтримують певну вологість повітря (звичайно близьку до нуля), виготовлений з товстого скла (рис. 12).



Рисунок 12. Ексикатор

Ексикатор використовують для повільного висушування за кімнатної температури й зберігання гігроскопічних сполук.

Кристалізатор – тонкостінний плоскодонний скляний посуд для перекристалізації речовин; застосовують у лабораторній практиці (рис. 13).



Рисунок 13. Кристалізатори

### ***Миття хімічного посуду***

Хімічний посуд перед проведенням дослідів обов'язково необхідно ретельно вмити. Посуд вважається чистим, якщо після виливання з нього води на внутрішній поверхні посуду не залишається крапель.

Новий або мало забруднений посуд достатньо вмити водою з додаванням до неї будь-якого миючого засобу, промити декілька разів водопровідною водою і ополоснути дистильованою водою.

Для миття забрудненого скляного посуду використовують наступні миючі засоби:

1. Розчин соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Рекомендують використовувати гарячий 30-40 % розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Після миття посуд промивають декілька разів водопровідною і ополіскують дистильованою водою.

2. Хромова суміш – дуже ефективний миючий розчин. Рецептів приготування хромової суміші багато, наприклад: дихромат калію – 60 г, концентрована сульфатна кислота – 80 мл, вода – 270 мл). Забруднений посуд заповнюють на 1/3-1/4 хромовою сумішшю, обертальними рухами змочують усі стінки посуду, залишають стояти 1-2 хвилини. Після чого зливають хромову суміш назад у склянку (у жодному разі не у каналізацію!), посуд дуже ретельно промивають водопровідною водою, а потім 2-3 рази ополіскують дистильованою.

Сушити скляний посуд потрібно не завжди. Вимитий посуд часто достатньо

перевернути до гори дном і дати воді збігти. Хімічний посуд ніколи не витирають рушником зсередини. В разі потреби висушування скляного посуду, це роблять у сушильній шафі (окрім мірного посуду, котрий забороняється висушувати нагріванням). Використовувати висушений в шафі посуд можна тільки після повного його остигання і прийняття температури приміщення.

### Хід роботи

1. Студенти знайомляться зі структурою хіміко-токсикологічної лабораторії, особливостями функціонування, наявністю та розташуванням приладів, реактивів, з правилами роботи в хіміко-токсикологічній лабораторії.
2. Студенти розглядають наявний в лабораторії комплект лабораторного посуду, роблять у робочому зошиті відповідні схематичні рисунки та підписи до них.

### Питання для самоконтролю знань

1. Що гарантує безпеку роботи в лабораторії? Назвіть правила відповідної поведінки.
2. Як безпечно працювати з кислотами і лугами, з газовими пальниками?
3. У чому полягає перша допомога при нещасних випадках у лабораторії?
4. Який хімічний посуд використовують у лабораторії?
5. Охарактеризуйте основні принципи миття хімічного посуду.

## ТЕМА 2

### ПРАВИЛА ВІДБОРУ, ЗБЕРІГАННЯ, КОНСЕРВУВАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРОБ ВОДИ. ОСНОВИ АНАЛІЗУ ВОДИ

**Мета:** освоїти принципи відбору, зберігання та транспортування проб води з різних джерел, розглянути основи лабораторного аналізу води.

**Матеріали та обладнання:** різні типи пробовідбірників води.

### Теоретичні відомості

Правильний відбір проби води для лабораторного аналізу та її транспортування до лабораторії мають важливе значення. Помилки, які можуть виникнути внаслідок неправильного відбору й транспортуванні проб, неможливо нічим виправити.

Головні умови відбору проб:

- проба або серія проб, відібраних для аналізу, повинна бути характерною для даного природного об'єкта в місці їх відбору;
- відбір проб, їх транспортування, зберігання та подальша обробка повинні виконуватись так, щоб не змінювався вміст інгредієнта або групи інгредієнтів, які визначають;
- об'єм або маса проби повинні повністю забезпечити можливість виконання запланованих аналітичних визначень.

### Види проб і техніка їх відбору

Розрізняють прості й змішані проби. **Прості проби** характеризують якість води в певному пункті відбору, відбирають у визначений час у необхідному об'ємі. У **змішаних пробах** об'єднують кілька простих проб з метою оцінки якості води за певний період часу або певної ділянки досліджуваного об'єкта.

Залежно від мети дослідження вдаються до разового або регулярного відбору проб. **Разовий відбір проб** застосовують, якщо: вимірювані параметри неістотно змінюються в просторі (глибина, акваторія водоймища) і в часі; закономірності зміни визначуваних

параметрів попередньо відомі; необхідні лише найзагальніші уявлення про якість води у водоймищі. **Регулярний відбір** означає, що кожен пробу відбирають у часовій і просторовій взаємозалежності з іншими.

### Посуд для відбору проб води

Проби відбирають у хімічно чистий посуд з притертими пробками (допускаються коркові й поліетиленові пробки), виготовлений з міцного, безкольорового хімічно-стійкого скла або в поліетиленовий посуд, дозволений для контакту з питною водою.

Проби води з різних глибин водного об'єкта відбирають спеціальним приладом – батометром (від гр. *bathos* – глибина та *metreo* – вимірюю), виготовленим з інертного матеріалу (рис. 1), або за допомогою прикріпленої до жердини пляшки, з якої на необхідній глибині мотузкою висмикують пробку (рис. 2).



Рисунок 1. Пробовідбірники води типу батометр

Батометри застосовуються для відбору проб води в річках, озерах, водосховищах, морській воді тощо на глибині до 40 м, у статичній воді та воді з нешвидкою течією.

Батометри можуть бути виготовлені з оргскла, нержавіючої сталі та пластику. До сучасних батометрів приєднують і термометр для визначення одночасно й температури шару води, з якої беруть зразок.

При відборі проби для бактеріологічного аналізу батометр і пляшку перед зануренням у воду фламбують (обпалюють).

Проби повинні відбиратися так, щоб уникнути елемента випадковості (тимчасова замуленість чи запиленість, випадкове забруднення тощо).





Рисунок 2. **Пляшки-пробовідбірники води**

На місці пробовідбору визначають температуру води; наявність чи відсутність плівок, плаваючих (зважених) речовин та піни на поверхні відібраної проби; наявність та характер водної рослинності; стан і забруднення берегів; замуленість дна і характер мулу; наявність і характер біологічних обростань та орієнтовно – прозорість води (прозора, мутнувата, каламутна), забарвлення (безбарвна, злегка жовтувата, жовта, коричнева); запах; наявність осаду.

**Температуру** вимірюють на місці забору проби термометрами з ціною поділки 0,1 °С (рис. 3).

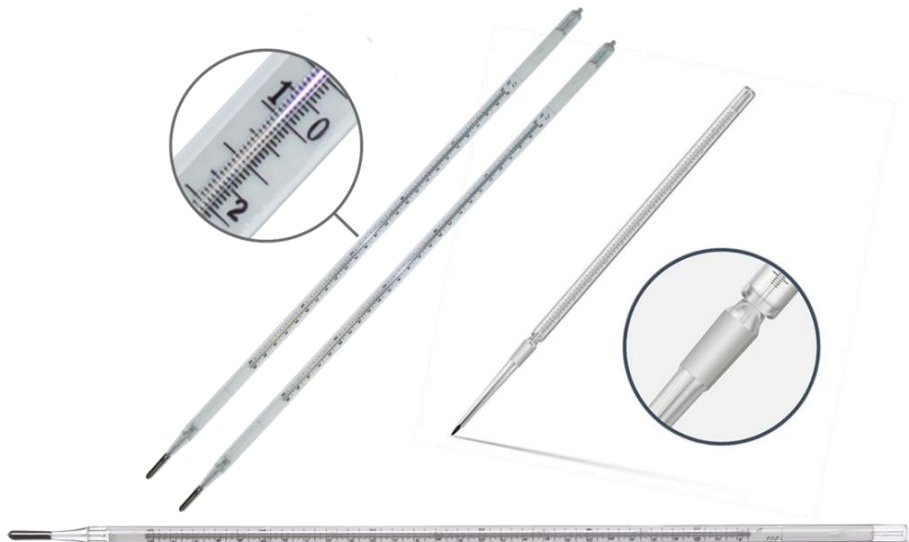


Рисунок 3. **Термометри для вимірювання температури води**

Термометр необхідно тримати у воді не менш ніж 5 хвилин. Відлік градусів з термометра потрібно робити не виймаючи його з води. Температуру приводять у градусах Цельсія з визначенням до 0,5 °С. Температура водойм є результатом декількох процесів, що протікають одночасно: сонячна радіація, випаровування, теплообмін з атмосферою, переніс

тепла течіями. Температура води – найважливіший чинник, що впливає на фізичні, хімічні, біохімічні та біологічні процеси, що протікають у водоймах. Від температури значною мірою залежить кисневий режим та інтенсивність процесів самоочищення. Значення температури використовують для обчислення ступеня насичення води киснем, різноманітних форм лужності, стану карбонатно-кальцієвої системи, при багатьох гідрохімічних та гідробіологічних дослідженнях, при вивченні теплових забруднень.

### **Загальні вимоги до відбору проб води з природних джерел водопостачання**

1. Відбір, транспортування і зберігання проб води, які відібрані з джерел водопостачання, здійснюють відповідно до вимог державних стандартів [10, 15].

2. Для відбору проб води на повний аналіз беруть бутель місткістю 5 л з притертим корком (дозволяється бутель з корковою пробкою). Для скороченого аналізу беруть бутель місткістю 2 л.

3. Місце відбору проби води визначають залежно від характеру вододжерела та мети дослідження.

3.1. У разі використанні відкритої водойми для проєктованого централізованого водопостачання пробу необхідно відбирати у тому місці водойми і на тій глибині, які встановлені для майбутнього забору води для водопроводу.

3.2. Пробу води в існуючому водозаборі відбирають безпосередньо з водоприймального отвору.

3.3. У разі проєктованого водопостачання з підземних джерел пробовідбір здійснюють з того водоносного горизонту, з якого планується майбутній водозабір.

3.4. У разі відбору води з нової свердловини без постійного зливу пробовідбір потрібно здійснювати після безперервної відкачки і не менше, ніж у трьох контрольних пробах, взятих під час відкачування з проміжками не менше однієї години.

3.5. Пробовідбір з діючого підземного водозабору необхідно здійснювати з того джерела, яке використовують для водопостачання. За наявності декількох свердловин проби беруть з кожної. Їх відбирають у години максимальної витрати води.

4. Перед відбором проби бутель не менше двох разів ополіскують водою, що підлягає дослідженню.

5. Бутель наповнюють водою до верху. Перед закоркуванням бутля верхній шар води зливають так, щоб під корком залишився невеликий проміжок повітря.

6. При відборі проб складають супровідний документ, що містить необхідні відомості за формою в частині відбору проб питної води. Документ прикладають у копії до аналізу.

7. Відібрані проби швидко і обережно транспортують. При цьому використовують ящики з перегородками, що утворюють комірки для кожного бутля. Проміжки між бутлями заповнюють папером тощо з метою уникнення випадкового розбиття.

8. Бажано, щоб проби були доставлені в лабораторію у день відбору. Якщо час, необхідний для доставки води, перевищує 5 годин, то повинні бути вжиті заходи проти нагрівання або замерзання проб.

9. Доставлену воду необхідно досліджувати у день відбору проби. Проби досліджують не пізніше, ніж через 2 години після відбору або не пізніше, ніж через 5 годин за умови, що проби зберігалися за температури 1-5 °С. У випадку неможливості дослідження води в день відбору її зберігають у холодильнику для незабрудненої води – 72 години, для малозабрудненої – 48 годин. Про тривалість зберігання води роблять спеціальну позначку в протоколі аналізу. Бактеріологічні дослідження проводять не пізніше 3-5 годин після взяття води, за умови, що проби транспортувалися в спеціальних термосах.

### **Відбір проб питної води з водопроводу**

1. Відбір, транспортування та зберігання проб води, яку подають централізованими системами господарського водопостачання, і водопроводами, що подають воду одночасно для господарсько-питних і виробничих цілей, здійснюють відповідно до вимог ДСТУ 4808:2007, ДСТУ ISO 5667-2:2003.

2. Об'єм проби встановлюється залежно від наявності певних інгредієнтів і вказаний у

відповідному стандарті на метод аналізу та в обов'язковому додатку.

3. Відбір проби проводять після спуску води протягом не менше 15 хвилин при повністю відкритому крані.

4. Перед відбором проби посуд не менше двох разів ополіскують водою, що підлягає дослідженню.

5. Посуд заповнюють водою до верху. Перед закриттям посуду пробкою верхній шар заливають так, щоб під пробкою залишився проміжок повітря об'ємом 5-10 см<sup>3</sup>. У загальний посуд відбирають пробу на аналіз тільки тих інгредієнтів, що мають тотожні умови консервування і зберігання.

6. Визначення залишкового хлору, озону, смаку й запаху (без нагрівання) проводять на місці.

7. Для доставки в лабораторію посуд з корками пакують у тару, що забезпечує зберігання і охороняє від різких перепадів температури.

8. Вода повинна підлягати дослідженню в день відбору. Якщо це неможливо, відібрані проби вміщують для зберігання в холодильник і консервують. Засоби консервування та умови зберігання зазначені у відповідних стандартах.

9. Термін зберігання проб і виконання аналізу не повинен перевищувати 48 годин з моменту відбору.

### **Відбір проб води у водосховищах, озерах, ставках**

Проби води відбирають на стаціонарних точках, розміщених по акваторії і, як правило, на двох глибинах – біля поверхні (0,2-0,5 м) та біля дна (0,5 м). На проміжних глибинах проби відбирають залежно від термічної стратифікації та при спеціальних дослідженнях [27].

### **Відбір проб води в річках і струмках**

Проби води в річках потрібно брати на струмені потоку на глибині 0,2-0,5 м від поверхні. Якщо річка дуже глибока, то пробу беруть з кількох горизонтів, що дає можливість відобразити середній склад води. Брати в глибоких річках одну пробу, яка відображала б середній склад води кількох горизонтів, не дозволяється.

Якщо ширина річки більша 200 м, то пробу води слід брати не менше, ніж у трьох пунктах: дві біля берегів і одну на стрижені річки.

### **Відбір проб води з криниць**

Якщо в криниці є насос, то воду відкачують протягом 15 хвилин і лише після цього беруть пробу. Якщо насоса немає, то пробу беруть з середньої частини водяного стовпа.

### **Реєстрація, зберігання і транспортування проб води**

1. На відібрану пробу складають супровідний документ (акт, паспорт), в якому має бути наведена така інформація:

- номер посуду;
- назва проби, мета відбору;
- вид проби (разова або об'єднана) з зазначенням способу осереднення;
- спосіб відбору;
- пункт і місце відбору;
- назва та місцезнаходження водного об'єкта;
- дані про обробку проби (фільтрування, відстоювання, консервування);
- дата, час і відомості про особу (осіб), яка відібрала пробу.

2. Дозволяється вносити в паспорт додаткові відомості, що роз'яснюють і доповнюють попередні дані, зокрема:

- витрати води в місці відбору на момент відбору;
- результати досліджень, виконаних біля водного об'єкта (показники складу та властивостей, що визначені на місці чи точці відбору);
- органолептичні показники тощо.

3. Зберігати пробу лише у разі неможливості проведення аналізу відразу після відбору.

При цьому необхідно врахувати можливі зміни в складі проби.

У разі потреби дозволяється застосування консервантів під час зберігання відібраних проб. Для визначення у воді аміаку і окиснюваності води можна додавати 2 мл 25 %-го розчину сірчаної кислоти на 1 л води, для визначення інших показників – 2 мл хлороформу на 1 л води. За бактеріологічних досліджень консервація води не допускається.

Для збільшення строку зберігання проби консервують з урахуванням таких вимог [27]:

- консерванти даного компонента або групи показників не повинні змінювати показників;
- метод консервування проби має бути узгоджений з методикою визначення відповідних показників;
- конкретні засоби консервування і терміни зберігання приймають у відповідності з методикою виконання вимірювань.

**Аналіз води** проводиться для виявлення та кількісної оцінки хімічних компонентів і властивостей проб води. Тип і чутливість аналізу залежать від цілей аналізу і передбачуваного подальшого використання води. Хімічний аналіз застосовується до води, яка використовується в промислових процесах, до стічних вод, на річках і струмках, до опадів і в морі. В ході хімічного аналізу води показники вмісту заліза, марганцю і загальної кількості розчинених твердих речовин набувають особливого значення. Ці речовини можуть погіршити смак і запах води, а також можуть спонукати споживачів шукати більш привабливі (і потенційно менш безпечні) джерела води.

Залежно від місцевих умов, при аналізі води в польових умовах можуть бути додані додаткові хімічні тести, зокрема, для перевірки лужності і жорсткості (наявність кальцію і магнію), виявлення хлоридів (індикатор проникнення дорожньої солі або морської води), розчиненого кисню, органічного вуглецю, агрохімікатів, промислових забруднювачів і важких металів (свинець, ртуть, мідь, хром тощо).

**Повний хімічний аналіз води** є основою дослідження забруднення ґрунтів і геотермальних джерел. Стандартні аналітичні методи, включаючи елементний аналіз, газову хроматографію і мас-спектрометрію дозволяють виявляти й вимірювати кількісно всі природні елементи і їх неорганічні сполуки, а також дуже широкий спектр органічних хімічних сполук. На очисних спорудах, які виробляють питну воду, і в ході деяких промислових процесів для виявлення забруднення води можуть використовуватися спеціалізовані органолептичні методи та продукти з характерним смаком і запахом. Типові низькотехнологічні, **портативні методи повного аналізу води** діляться на три категорії:

- **тест-смужки:**

невеликі одноразові смужки, зміна кольору яких вказує на концентрацію певної хімічної речовини. Залежно від конкретного тесту дослідник «активує» паперову або пластикову смужку, занурюючи її в пробу води і розмахуючи прискорення висихання, або утримуючи смужку в потоці води. Після короткого очікування дослідник порівнює колір тест-смужки з колірною діаграмою, щоб розрахувати концентрацію хімічних речовин. Ці набори надзвичайно прості, але вони менш точні, ніж інші методи, особливо якщо інструкції виконуються не точно;

- **набори кольорових дисків:**

набори кольорових дисків доступні для широкого спектра проб води. У типовій установці дослідник додає пакет порошку або кілька крапель рідкого реагенту до зразка води в багаторазовій пластиковій трубці. Потім поміщає пробірку зі зразком в невелику пластикову коробку, яка містить пластиковий диск з надрукованим на ньому кольоровим градієнтом. Користувач обертає кольоровий диск, щоб знайти ту частину, яка найкраще відповідає кольору зразка, а потім розраховує концентрацію хімічної речовини. Робота з наборами кольорових дисків вимагає додаткового часу очікування, тому вони трохи складніше і дорожче, але в цілому більш точні;

- **цифровий прилад:**

для тестування води також застосовуються легкі портативні цифрові вимірювачі, колориметри і фотометри. Такі прилади забезпечують найбільш точні результати, але також

є дорожчими та делікатнішими, ніж попередні варіанти. Такі прилади вимагають наявності потужних батарей і постійного калібрування. У цілому, цифрові прилади для аналізу води корисні в польових умовах і є невід'ємною частиною будь-якої мережі моніторингу якості водних ресурсів.

### ***Лабораторний аналіз води***

Для забезпечення послідовності та повторюваності методи хімічного аналізу узгоджуються на міжнародному рівні. Їх публікації часто називають «синьою книгою». Хімічний аналіз питної води може проводитись наступними методами.

Мокра хімія – метод Вінклера для розчиненого кисню, осадження і фільтрації твердих речовин, підкислення, нейтралізаційне титрування тощо; колориметричні методи для виявлення поверхнево-активних речовин; порівняльні методи для виявлення хлору і хлорамінів. Ці методи, як правило, надійні, добре випробувані й недорогі, а також забезпечують розумний ступінь точності при помірній чутливості.

Електрохімія – виявлення кількості розчиненого кисню, визначення рівнів рН і провідності. Ці методи дають дуже точні результати, передбачають використання електронного обладнання, яке передає результати дослідження безпосередньо в лабораторну систему управління даними.

Спектрофотометрія – використовується, зокрема, для виявлення металів. Дає результати з дуже високою чутливістю, але може зажадати підготовки зразків, а також спеціальних методів відбору проб, щоб уникнути погіршення їх якості при транспортуванні.

Хроматографія – використовується для виявлення багатьох органічних сполук, які є забруднювачами.

Іонна хроматографія – чутливий і стабільний метод з використанням технології іонного обміну, який дозволяє виявляти низькі концентрації катіонів і аніонів у воді.

Газова хроматографія – може використовуватися для виявлення органічних летких і напівлетучих забруднювачів при розумній чутливості.

Мас-спектрометрія – використовується там, де потрібна висока чутливість, а також для визначення великої кількості потенційних контамінантів у пробах. Поєднується як з газовою хроматографією для низькомолекулярних, неполярних і летких компонентів, так і з рідинною хроматографією для визначення високомолекулярних, полярних або нелетких забруднювачів.

Залежно від компонентів застосовуються різні методи визначення кількостей або співвідношень компонентів. У той час як одні методи можуть бути виконані зі стандартним лабораторним обладнанням, інші вимагають сучасних пристроїв, таких як мас-спектрометри індуктивно пов'язаної плазми (ICP-MS).

Отже, якість води в природному джерелі і водопроводі після очищення визначається за аналізом. Форма протоколу дослідження питної води (з водопроводу) за санітарно-хімічними показниками її безпечності та якості наведена у додатку А. Необхідно зазначити, що нормування якості питної води з різних джерел визначають Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

### **Хід роботи**

1. Студенти розглядають особливості відбору проб води, знайомляться з відповідним інструментарієм. Виконують ситуаційне завдання: здійснюють пробовідбір води та заповнюють паспорт проби.

#### ***Підготовка батометра до роботи***

Ємність батометра споліскують невеликою кількістю води з водного об'єкту, де буде здійснюватись пробовідбір, з метою усунення можливих залишків попередньої проби. Перед початком роботи треба прив'язати мотузку до ручки пробовідбірника, поставити зажим на зливну гумову трубку.

### ***Застосування пробовідбірника води***

Опустіть пробовідбірник у воду в вертикальному положенні. Нижній клапан автоматично відкриється і пробовідбірник наповниться водою. Після цього починайте опускати пробовідбірник за мотузку на потрібну глибину. Швидкість опускання повинна бути максимально близькою до швидкості вільного падіння пробовідбірника, але також потрібно забезпечувати вертикальне положення пробовідбірника для правильної роботи клапанів. Глибину занурення позначають заздалегідь на мотузці.

Після занурення пробовідбірника на потрібну глибину починайте плавними рухами витягувати пробовідбірник. При русі вгору верхній та нижній клапани автоматично закриваються після підйому пробовідбірника.

Після роботи помийте пробовідбірник чистою прісною водою.

За потреби акуратно очистіть клапани та поверхню під клапанами від бруду.

2. На завершення, кожен студент у своєму лабораторному зошиті оформлює звіт та готує роботу до захисту.

### ***Питання для самоконтролю знань***

1. Які особливості відбору проб води для аналізу?
2. За допомогою яких приладів здійснюють відбір проб води?
3. Назвіть необхідні дії на місці пробовідбору води.
4. Що таке паспорт проби? Яку інформацію повинен він відображати?
5. У чому полягають особливості транспортування проб води?

## **ТЕМА 3**

### **КАЛАМУТНІСТЬ ТА ПРОЗОРИСТЬ ПРИРОДНИХ ВОД. ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ**

**Мета:** ознайомитися з методами визначення каламутності та прозорості води; провести самостійне вимірювання каламутності води, дослідження прозорості води за допомогою шрифту Снеллена та за хрестом.

**Матеріали та обладнання:** мірні циліндри, лійки, фільтри, технічні ваги, сушильна шафа, ексікатор, скляний циліндр із дном з хімічно стійкого оптичного скла, градуований у сантиметрах (внутрішній діаметр – 2,5 см, висота – 50 см), або скляна трубка (тих же розмірів) із приклеєною до неї плоско паралельною скляною пластиною, шрифт з висотою букв 3,5 мм, циліндр для визначення прозорості води за хрестом.

### **Теоретичні відомості**

**Каламутність води** характеризує зменшення прозорості води у зв'язку з наявністю неорганічних і органічних тонкодисперсних зависей, а також з розвитком планктонних організмів. Причинами каламутності води може бути наявність у ній піску, глини, неорганічних сполук (гідроксиду алюмінію, карбонатів різних металів), окиснення сполук заліза і марганцю киснем повітря, що призводить до утворення колоїдних частинок, а також наявність органічних домішок або живих істот (бактеріо-, фіто- або зоопланктон). Органічна каламутність, обумовлена накопиченням мікроорганізмів, може спостерігатися у таких великих кількостях, що вода стає неприємною і каламутною. Прикладом каламутності, обумовленої мікроорганізмами, є літнє цвітіння синьо-зелених водоростей у поверхневих водоймах.

Завислі речовини, що знаходяться у воді і зумовлюють її каламутність, впливають на зовнішній вигляд і естетичне сприйняття води, яка споживається. Важливо, що в каламутній воді мікроорганізми захищені при знезараженні, в ній полегшується зростання бактерій і хвороботворних мікроорганізмів. Крім того, каламутність використовується як показник ефективності видалення завислих частинок у процесі очищення води методами коагуляції,

осадження, фільтрації.

Величина каламутності залежить від характеру живлення водоймища, властивостей берегових порід, кліматичних і погодних умов. Каламутність води в річках і прибережних районах водойм підвищується при дощах, паводках, таненні льодовиків. Як правило, взимку рівень каламутності води в водоймах найнижчий, а найвищий – навесні та під час літніх дощів.

Каламутність води характеризують якісно і кількісно. Якісно її характеризують словами ледь уловима каламуть, слабка, помітна та сильна каламуть, а кількісно – за вмістом завислих речовин, що виражений у міліграмах на 1 л води.

У даний час для вимірювання каламутності природних вод використовують гравіметричний, візуальний та оптичні методи.

**Гравіметричний метод** визначення каламутності найточніший з наведених, але потребує багато часу. Пробу досліджуваної води об'ємом 100-500 мл (залежно від кількості завислих речовин) після збовтування фільтрують крізь мембранний або паперовий фільтр (синя стрічка). Завись, що осіла на фільтрі, промивають холодною дистильованою водою. Фільтр з осівшими частинками висушують до постійної маси в сушильній шафі при 40-50 °С (мембранний фільтр) або при 105 °С (паперовий фільтр), охолоджують та зважують. Вміст завислих речовин (С, мг/дм<sup>3</sup>) розраховують за формулою:

$$C = (m_2 - m_1) / V,$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маса фільтра з осадом до та після висушування, мг;

$V$  – об'єм проби, дм<sup>3</sup>.

Для експрес-аналізів каламутність визначають **візуальним методом** – за ступенем прозорості стовпа води висотою 10-12 см у мутномірній пробірці. Пробу описують якісно таким чином: прозора; така, що слабо опалесціє; така, що опалесціє; слабо каламутна; каламутна; дуже каламутна.

**Оптичні методи** базуються на вимірюванні інтенсивності світла, що розсіялося частинками домішок.

Поряд з каламутністю, особливо у випадках, коли вода має незначну каламутність, та її визначити важко, користуються показником «прозорість». Прозорість води залежить від її кольору й каламутності. Прозорість також залежить від інтенсивності розвитку фітопланктону у водоймищі і наявності у воді завислих речовин.

Мірою прозорості служить висота водного стовпа, крізь який можна побачити білий круг (диск) певних розмірів, спостерігати «хрест» з товщиною ліній 1 мм, нанесений чорною фарбою на білий фарфоровий диск, та чорні точки діаметром 1 мм, розміщені в кожному квадраті утвореної цим хрестом фігури (метод Кострикіна) або прочитати шрифт певного типу. Даний метод дає лише орієнтовні результати. Тому цей показник доповнює результати гідробіологічних і гідрохімічних досліджень.

Звичайно на водоймищі прозорість визначають за допомогою диска Секкі, у лабораторних умовах – за допомогою стандартного шрифту за методом Снеллена.

Для визначення прозорості води в самому вододжерелі користуються **дискон Секкі** (рис. 1).

Це класичний метод визначення прозорості в глибоких водоймах – за глибиною зникнення з поля зору плоского залізного диска білого (для морської води) або чорно-білого (для прісної води) забарвлення діаметром 20-30 см (диска Секкі), запропонованого як стандартний метод італійським священиком та астрономом Анджело Секкі. Його опускають на таку глибину, щоб він повністю зник з поля зору. Ця глибина і вважається показником прозорості в гідрології та океанології. Для більш точного визначення записують два відліки: глибину зникнення та глибину появи диска знову під час підняття троса. Вимірювання повторюють кілька разів. Визначають середньоарифметичне з цих величин і записують у протокол. Це і буде відносна прозорість води у цьому місці. Дослідження не можна проводити за прямого сонячного світла. Теоретично в дистильованій воді диск Секкі повинен зникати з виду на глибині близько 80 м.

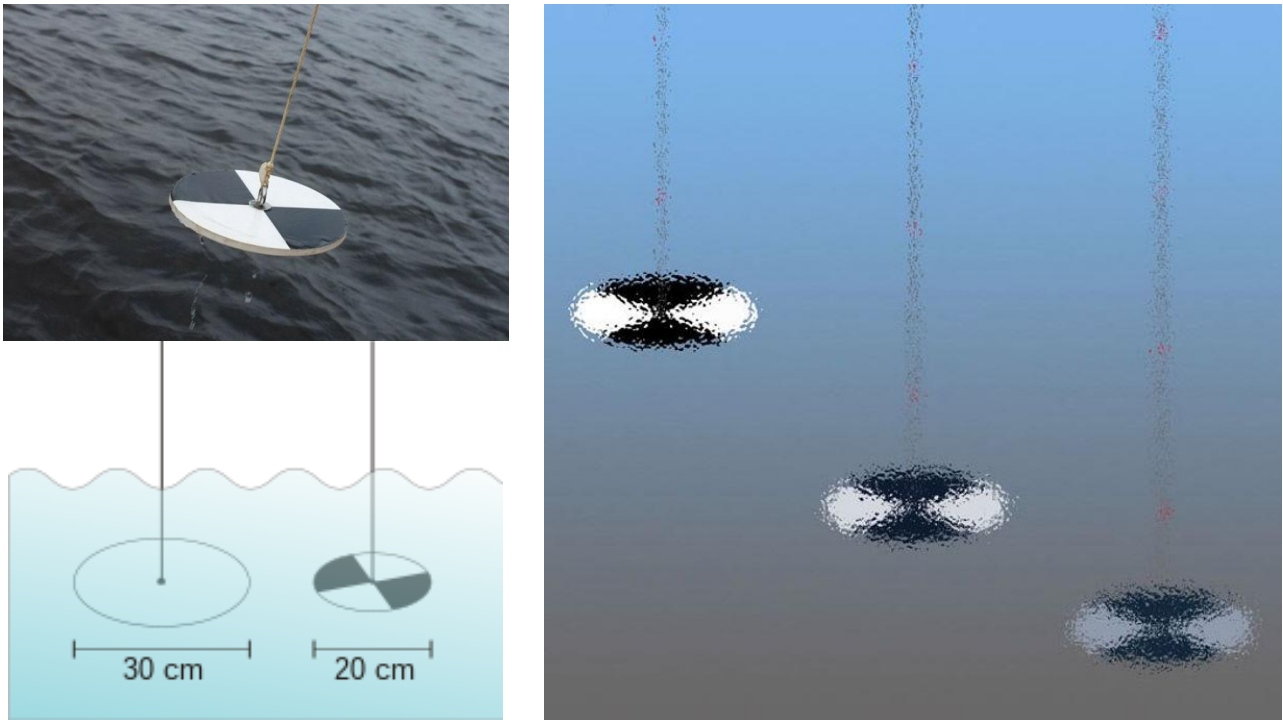


Рисунок 1. Диск Секкі

Прозорість води визначають *приладом Снеллена* – скляний циліндр з плоским дном (рис. 2, а).

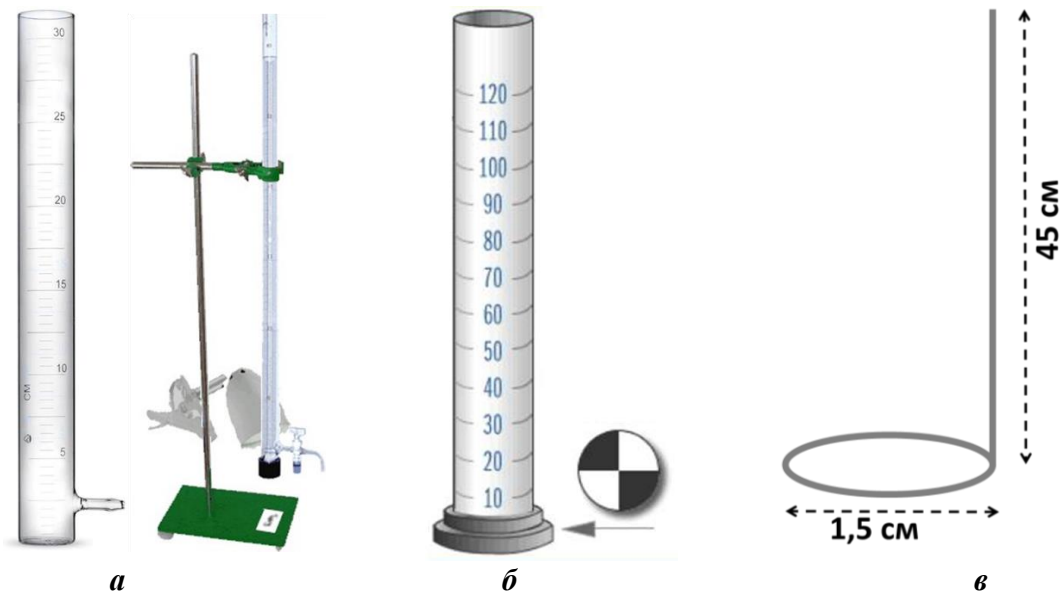


Рисунок 2. Прилад Снеллена (а), скляний циліндр (б) та дротяне кільце (в) для визначення прозорості води

Починаючи від дна, циліндр Снеллена градуйований по висоті у сантиметрах. Висота градуйованої частини становить 30 см. На стінці циліндра, в нижній його частині, розташована тонка відвідна трубка для спуску води, на яку може бути одягнений гумовий шланг із пружинним затискачем. Циліндр закріплений у штативі. Пробу наливають в циліндр і піднімають наповнену посудину на 40 мм над лежачим горизонтально листком з шрифтом Снеллена (чорний шрифт заввишки 3,5 мм та шириною лінії 0,35 мм на білому фоні). Дивлячись на шрифт, лаборант зливає воду через відвідну трубку. Чим нижче буде стовпчик води, через який добре видно шрифт, тим менш прозора вода. Метод Снеллена є уніфікованим і відповідає ISO 7027.



У лабораторних умовах для визначення прозорості використовують скляний циліндр висотою 120 см та діаметром 4,5 см (рис. 2, б). Під дно циліндра ставлять чорнобілий диск відповідного діаметра. Визначення прозорості проводять за висотою водного стовпа.

У польових умовах прозорість води визначають за кільцем, виготовленим з дроту товщиною 1-2 мм, діаметр кільця 1-1,5 см (рис. 2, в). Кільце занурюють у воду, поки його контури стануть невидимі. Вимірюють у сантиметрах глибину, при якій дротяне кільце, яке витягують із води, знову стане видимим. Прозорість води за кільцем не менше, як 40 см вважають доброю, 20-30 см – допустимою, а вода з прозорістю менше як 20 см вимагає освітлення. Результати дослідження води на прозорість за кільцем переводять у показники, одержані при дослідженні води за шрифтом Снеллена.

Класифікацію води за прозорістю наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Класифікація води за прозорістю

Оцінка прозорості	Прозорість за шрифтом, см	Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>
Прозора	Більше 30	Менше 3-4
Слабко мутна	25-30	Менше 5-6
Середньо мутна	20-25	6-10
Мутна	10-20	10-30
Дуже мутна	Менше 10	Більше 30

Взаємозв'язок між прозорістю за хрестом, прозорістю за шрифтом та вмістом завислих речовин наведений в таблиці 2. Але необхідно враховувати, що вміст завислих речовин за величиною прозорості води можна оцінити лише приблизно, оскільки остання залежить також від забарвлення розчинених у воді речовин.

Вибір методу визначення каламутності води та вмісту завислих речовин залежить від їх концентрації у воді. Якщо вміст завислих речовин не перевищує 100 мг/дм<sup>3</sup>, використовують оптичні методи і гравіметричний метод з мембранними фільтрами; якщо концентрація суспендованих частинок більша, ніж 100 мг/дм<sup>3</sup>, використовують гравіметричний метод з паперовими фільтрами.

Якщо вода містить менше за 3 мг/дм<sup>3</sup> завислих речовин, визначають її прозорість за хрестом або за шрифтом.

Таблиця 2. Взаємозв'язок прозорості, визначеної різними методами, та вмісту завислих речовин

Прозорість, см		Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	Прозорість, см		Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>
За хрестом	За шрифтом		За хрестом	За шрифтом	
0,5	5	160-300	16	160	9-14
2	20	40-120	17	170	8-12
3	30	30-90	18	180	7-10
5	50	16-75	19	190	6-9
6	60	14-52	21	210	5-8
8	80	11-40	23	230	4-6
9,5	95	10-33	25	250	3-6
11	110	10-27	26	260	3-6
12,5	125	10-20	28	280	3-6
14	140	10-17	30	300	3-6

В Україні згідно з чинними Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10), для водопровідної води встановлюється норматив каламутності 1,0 НОК (нефелометрична

одиниця каламутності). Однак, за погодженням з головним санітарним лікарем відповідної території може досягати величини 3,5 НОК. У нормативних документах (ДСанПіН 2.2.4-171-10, ДСТУ ISO 7027-2003. Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT)) наводиться співвідношення для перерахунку нефелометричних одиниць каламутності в мг/дм<sup>3</sup>, згідно з яким 1 НОК = 0,58 мг/дм<sup>3</sup>.

Сучасні мутноміри (рис. 3) є автоматичними пристроями, які працюють в декількох режимах. Їх відрізняє висока точність, простота використання і функціональність, можливість роботи в широкому інтервалі температур (від 0 до +50 °С).



Рисунок 3. Сучасні мутноміри різних виробників

### Хід роботи

#### 1. Вимірювання каламутності води.

Висушити фільтр у сушильній шафі при температурі 105 °С протягом 1,5-2 год. Висушений фільтр зважити на технічних вагах.

500-1000 мл проби каламутної води профільтрувати через висушений і зважений фільтр.

Фільтр з осадом висушити у сушильній шафі при 105 °С. Охолодити фільтр в ексікаторі. Після охолодження фільтр зважити на технічних вагах.

Вміст завислих речовин (мг·л<sup>-1</sup>) у досліджуваній воді знайти за формулою:

$$Q = \frac{(g_1 - g_2) \cdot 1000}{V},$$

де Q – вміст завислих речовин у воді, мг·л<sup>-1</sup>;

$g_1$  – вага просушеного фільтру після фільтрування води, г;

$g_2$  – вага просушеного фільтру до фільтрування води, г;

V – об'єм профільтрованої проби, мл.

#### 2. Вимірювання прозорості води за допомогою приладу Снеллена.

Дослідження проводять у нефільтрованій воді. Пляшку з водою збовтують, негайно ж відбирають чистою і сухою мензуркою необхідний об'єм води. Потім воду переливають у циліндр об'ємом 100 мл із плоским дном і краном, підкладають на відстані 4 см від дна циліндра аркуш зі стандартним шрифтом. Зливають воду через кран до тих пір, поки стане можливим читання тексту через шар води, що знаходиться в циліндрі (рис. 4).

Висота стовпа залишеної у циліндрі води, виражена в сантиметрах, вказуватиме на ступінь прозорості води. Визначення повторюють ще раз, підливаючи воду в циліндр до тих пір, поки шрифт буде ледве помітний. За результат дослідження беруть середнє арифметичне із декількох вимірювань висоти шару води у циліндрі. Можна використовувати будь-який текст з висотою букв 3,5 мм та товщиною лінії 0,35 мм. Визначення проводять у добре освітленому приміщенні на відстані 1 м від вікна.

Мінімально допустима прозорість питної води не менше 30 см за шрифтом Снеллена. Вода з прозорістю від 20 до 30 см – слабо каламутна, від 10 до 20 см – каламутна, до 10 см дуже каламутна.

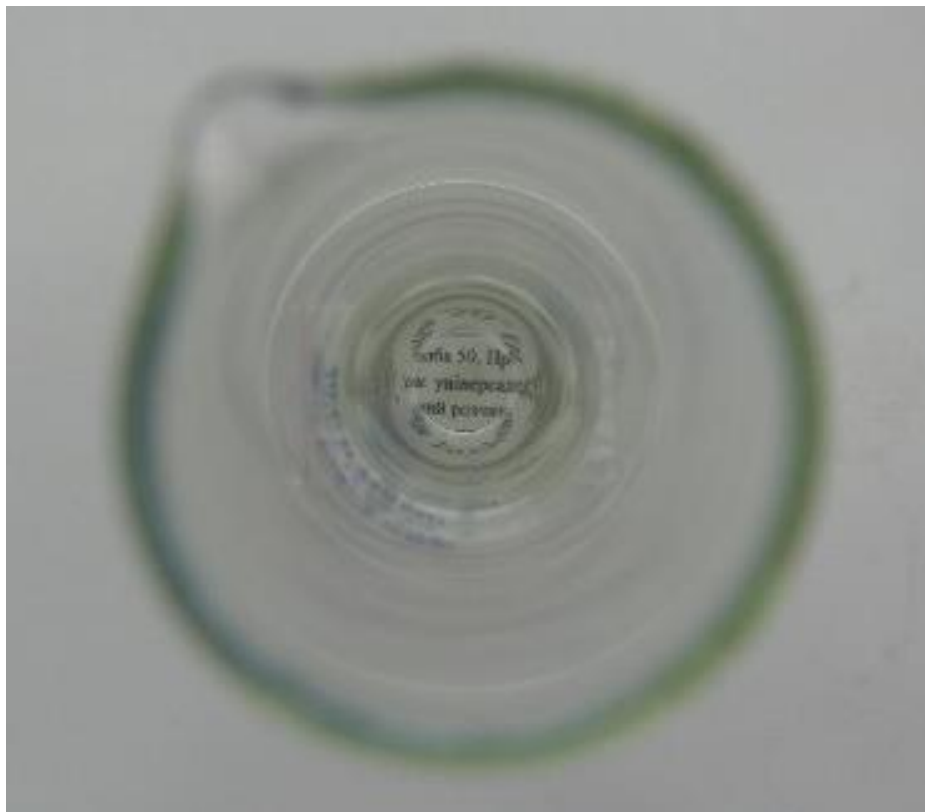


Рисунок 4. Вимірювання прозорості води у циліндрі за шрифтом

### 3. Визначення прозорості води за хрестом.

Використовується трубка для визначення прозорості – з безбарвного скла, довжиною 600 мм і внутрішнім діаметром 25 мм, градуйована поділками по 10 мм. Щільно підігнаний екран захищає трубку від бокового світла. Під трубку кладуть мітку (чорний хрест на білому фоні з товщиною ліній 1 мм і чотири чорних кружечки діаметром 1 мм). Для освітлення нижньої частини циліндра використовують постійне джерело світла – низьковольтну вольфрамову лампу потужністю 3 Вт. Визначають максимальну висоту стовпа аналізованої води, за якої помітна мітка, за поділками на трубці. Визначену висоту стовпа вказують з точністю до 10 мм. Питна вода повинна мати прозорість за хрестом не менше 550 мм.

#### *Питання для самоконтролю знань*

1. Охарактеризуйте показник каламутності води.
2. Що відображає показник прозорості води?
3. Проаналізуйте фактори, які впливають на зміну прозорості води.
4. Розкрийте особливості визначення каламутності і прозорості води.
5. В яких одиницях вимірюється каламутність? Як нормується цей показник?

## ТЕМА 4

### КОЛЬОРОВІСТЬ ВОДИ. ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРОВОСТІ ВОДИ

**Мета:** ознайомитися з методами визначення кольоровості води.

**Матеріали та обладнання:** колба 200 мл, шкала кольоровості, циліндр Несслера.

#### Теоретичні відомості

Гумінові і фульвокислоти, їх розчинені солі (Fe (III) гумати і фульвати), а також водорості можуть надавати воді забарвлення. Інтенсивність забарвлення води характеризують кольоровістю.

**Кольоровість** – один з органолептичних показників якості води, зумовлений умістом у ній органічних і неорганічних речовин природного та техногенного походження.

Здебільшого кольоровість природних вод обумовлюється гуміновими речовинами, які утворюються в ґрунті внаслідок мікробіологічного руйнування чужорідних органічних сполук і синтезу ґрунтовими мікроорганізмами нової органічної речовини – гумусу, яка властива ґрунту. Гумус має коричневий колір, тому гумінові речовини надають воді забарвлення від жовтого до коричневого (рис. 1). Невелика кількість гумінових речовин утворюється безпосередньо в поверхневих водоймах внаслідок мікробіологічного руйнування водних рослин (водоростей). Чим більший вміст гумінових речовин у воді, тим інтенсивніша її кольоровість.



Рисунок 1. Умовна шкала кольоровості води

Отже, жовтуватий, коричневий або жовто-зелений відтінки води природних джерел пояснюються, головним чином, присутністю у воді гумусових і дубильних речовин, органічних сполук, сполук заліза, «цвітінням» водойм.

На кількість цих речовин впливають геологічні умови, водоносні горизонти, характер ґрунту, наявність боліт і торфовищ у басейнах річок, кліматичні умови тощо. Взимку вміст органічних речовин у природних водах мінімальний, в той час як навесні, в період повеней і паводків, а також влітку, в період масового розвитку водоростей (цвітіння води), він підвищується. Підземні води, як правило, мають меншу кольоровість, ніж поверхневі. Вода деяких річок має жовтий, світло-коричневий, а іноді і майже чорний колір. Те ж спостерігається і в багатьох озерах і водосховищах.

Найбільш інтенсивне забарвлення властиве поверхневим водам річок і озер, розташованих у зонах торф'яних боліт і заболочених лісів, найменш інтенсивне – тим з них, які розташовані в степах і степових зонах. Така закономірність пов'язана з більш повним розпадом залишків органічної речовини в південних широтах.

Інтенсивність забарвлення води залежить не тільки від кількості розчинених і колоїдно-розчинених речовин, але також від кольору розчинених речовин і від розмірів міцел колоїдно-розчинених речовин.

Розрізняють істинну і видиму (уявну) кольоровість води.

**Істинна кольоровість води** зумовлена наявністю розчинених речовин. **Уявна кольоровість води** зумовлена наявністю не тільки розчинених, але й колоїдно-розчинених і суспендованих (завислих) речовин, які знаходяться у воді.

Згідно з ДСТУ ISO 7887:2003, істинну кольоровість води визначають після фільтрування проби води крізь мембранний фільтр з розміром пор 0,42 мкм, тоді як уявну кольоровість визначають у вихідній пробі води без фільтрування або центрифугування.

Якщо у воді знаходяться органічні сполуки та їх комплекси, які містять залізо, може спостерігатися явище «повернення кольоровості». Воно виявляється при обробці високозабарвлених м'яких вод коагулянтами – солями заліза. Введення в природну воду катіонів  $Fe^{2+}$  і  $Fe^{3+}$  призводить до того, що в результаті їх взаємодії з органічними сполуками

утворюються сильно забарвлені комплекси, внаслідок чого відбувається підвищення кольоровості обробленої води порівняно з вихідною. Крім того, в процесі введення у воду коагулянту утворюється велика кількість дрібнодисперсних зародків, які погано осідають у відстійниках.

Крім кольоровості, існує поняття **забарвлення води**. Воно пов'язане із забрудненням води речовинами органічного та неорганічного походження, зокрема, барвниками, які можуть потрапляти у водойми зі стічними водами підприємств легкої промисловості, деякими неорганічними сполуками заліза, марганцю, міді як природного, так і техногенного походження.

Так, Fe і Mn можуть зафарбовувати воду в кольори від червоного до чорного, Cu – від блідо-блакитного до синьо-зеленого, тому забруднена стоками промислових підприємств вода може мати неприродний колір.

Отже, підвищення інтенсивності забарвлення води може свідчити про її забруднення промисловими стічними водами.

Незвичайні кольоровість і забарвлення води обмежують її вживання і змушують шукати нові джерела водопостачання. Крім того, кольоровість є показником ефективності очищення (знебарвлення) води на очисних спорудах.

**Вплив підвищеної кольоровості води на здоров'я людини.** Висока кольоровість є тривожною ознакою, що свідчить про «неблагополуччя» води. Вода з високою кольоровістю за рахунок гумінових речовин може бути біологічно активною, оскільки внаслідок дії гумінових кислот на 50-100 % підвищується проникність стінок кишківника для іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

В останні роки вченими виявлена залежність між показниками залишкової кольоровості питної води і вмістом побічних продуктів хлорування, що представляє певний ризик для здоров'я населення. Доведено реальну можливість утворення хлорпохідних сполук (особливо хлороформу) від 5,0 до 12,0 ГДК у весняно-літній період року, що супроводжується збільшенням кольоровості питної води.

Висока кольоровість води є передумовою утворення в ній після хлорування хлорпохідних сполук, що мають канцерогенну і мутагенну активність. Встановлено кореляцію між показниками онкологічної смертності і кольоровістю питної води.

Дослідженнями репродуктивної функції у жінок встановлено найбільшу кількість порушень перебігу вагітності, пологів та патології у жінок, які вживали хлоровану воду з високою залишковою кольоровістю.

Отримані дані свідчать про необхідність забезпечення населення питною водою з кольоровістю, що не перевищує гігієнічний норматив (20 градусів) з метою зниження канцерогенного і мутагенного ризику здоров'ю населення за рахунок побічних продуктів хлорування води. Таким чином, показник кольоровості питної води одночасно є інтегральним показником забруднення хлорорганічними сполуками.

**Методи визначення кольоровості води. Одиниці вимірювання кольоровості.** Кольоровість води можна визначити візуальним та фотометричним методами. Визначення істинної кольоровості проводиться після видалення з проби води завислих речовин шляхом фільтрування або центрифугування.

Метод візуального визначення кольоровості застосовують тільки за необхідності орієнтовної оцінки кольоровості води. Проводять порівняння кольору досліджуваної води з еталонною шкалою, що імітує забарвлення води.

Метод фотометричного визначення кольоровості базується на вимірюванні оптичної густини проби води відносно дистильованої води із застосуванням хром-кобальтової або платино-кобальтової шкали (шкали Хазена). Кольоровість виражають у градусах платино-кобальтової шкали або хром-кобальтової шкали.

1000 умовних градусів кольоровості за платино-кобальтовою шкалою відповідає забарвленню розчину, що містить 2,49 г  $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$  і 2,08 г  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в 1  $\text{дм}^3$  води, а за хром-кобальтовою шкалою – забарвленню розчину, що містить 0,175 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  і 4 г  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в 1  $\text{дм}^3$  води.

За кордоном кольоровість виражають у PCU (Platinum CobaltColor Unit):

1 PCU = 1 градус Pt-Co шкали.

При візуальному визначенні кольоровість природної води виражається в мг/дм<sup>3</sup> платини (ДСТУ ISO 7887:2003): 1 мг/дм<sup>3</sup> Pt = 1 градус Pt-Co шкали.

Умови фотометричного визначення кольоровості, зокрема, довжина хвилі, при якій проводиться визначення оптичної густини досліджуваної води, відрізняються залежно від стандартів, які використовуються. Згідно з ДСТУ 3351-74 оптична густина фільтрату досліджуваної проби води вимірюється при довжині хвилі 413 нм відносно дистильованої води. В даному стандарті використовується тільки хром-кобальтова шкала.

В стандарті ДСТУ ISO 7887:2003 і чинному за кордоном міжнародному стандарті ISO 7887:2011 (Метод В) використовується інший підхід до фотоколориметричного визначення істинної кольоровості води. Вимірювання проводять при довжинах хвиль  $\lambda(1)$ ,  $\lambda(2)$  і  $\lambda(3)$ , відповідно, 436, 525 і 620 нм. В даному випадку для кількісної характеристики кольоровості застосовується спектральний коефіцієнт поглинання  $\alpha(\lambda)$  – поглинання на одиницю довжини шляху (товщини поглинаючого шару):

$$\alpha(\lambda) = A \cdot f / l,$$

де  $A$  – оптична густина води при довжині хвилі  $\lambda$ ;

$l$  – довжина оптичного шляху кювети, мм;

$f$  – перевідний множник для отримання спектрального коефіцієнта в м<sup>-1</sup> ( $f = 1000$ ).

В стандарті ISO 7887:2011 не використовується хромкобальтова шкала, а для платино-кобальтової застосовується довжина хвилі 410 нм (метод С).

За величиною кольоровості води діляться на наступні типи (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація вод за кольоровістю

Кольоровість	Градус Pt-Co шкали
Дуже мала	Менше 25
Мала	25-50
Середня	50-80
Висока	80-120
Дуже висока	Більше 120

Для визначення кольоровості питної води і стічних вод використовують фотоколориметри. Сучасні фотоколориметри (рис. 2) використовуються для аналізу чистої води (котельні, бойлерні, тепло- та електростанції, підприємства водопідготовки, напівпровідникова промисловість) і забрудненої води (очисні споруди, водоканали, станції екологічного моніторингу тощо).



Рисунок 2. Сучасний фотоколориметр

**Нормування показників кольоровості питної води.** Порівняльний аналіз допустимих нормативів кольоровості води в Україні, США і ЄС показує, що в різних країнах існують деякі розбіжності за цим показником (табл. 2).

Таблиця 2. Нормативи кольоровості води

Країна /нормативний документ	Норматив кольоровості, градус Pt-Co шкали
Україна, ДСанПін 2.2.4-171-10	20 (35)
ВООЗ	15
США, US EPA	15
ЄС, Директива 98/83/ЄС	20
Швейцарія	Безбарвна (вода вищої якості)

### Хід роботи

#### 1. Визначення кольоровості води фотометричним методом за допомогою біхромат-кобальтової шкали.

Проби води, які досліджують на кольоровість, перед дослідом відфільтровують через фільтр Шотта № 4 (для усунення частинок, які зумовлюють каламутність води). Після цього фільтрат наливають в кювету товщиною  $l = 5$  см і вимірюють оптичну густину ( $A$ ) відносно дистильованої води за допомогою фотоелектроколориметра при довжині хвилі  $\lambda = 400$  нм. Інструкція із користування фотоелектроколориметром наведена у додатку Б.

Значення кольоровості води визначають за допомогою градуювального графіка  $A=f$  (градус Cr-Co шкали), який побудовано з використанням розчинів № 1 (1 дм<sup>3</sup> розчину містить 0,0875 г K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 2,0 г CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O та 1 см<sup>3</sup> концентрованої H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – реактиви змішують і доводять об'єм м дистильованою водою до 1 л) і № 2 (1 дм<sup>3</sup> розчину містить 1 см<sup>3</sup> концентрованої H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) та програми MS Excel. Розчин № 1 відповідає кольоровості 500 градусів. Для побудови градуювального графіка змішують розчини № 1 і № 2 у співвідношенні (табл. 3), яке відповідає певному значенню градусів за хром-кобальтовою шкалою і вимірюють оптичну густину кожного розчину в кюветах з товщиною 5 см при довжині хвилі 400 нм відносно дистильованої води.

Таблиця 3. Шкала стандартних розчинів для побудови градуювального графіка

Об'єм розчину, см <sup>3</sup>	№ 1	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16
	№ 2	100	99	98	96	94	92	90	88	86	84
Градус Cr-Co шкали кольоровості		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80

Градуювальний графік  $A = f$  (градус Cr-Co шкали) є прямою лінією, яка описується рівнянням:

$$A=0,016x - 0,0051,$$

де  $x$  – градус Cr-Co шкали.

#### 2. Визначення кольоровості шляхом порівняння зі шкалою, що імітує забарвлення води.

Готують аналогічні розчини № 1 і № 2, змішують їх у співвідношеннях наведених у табл. 4.

Таблиця 4. Шкала кольоровості

Розчин № 1, мл	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
Розчин № 2, мл	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	86	84
Градуси кольоровості	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80

У циліндр Несслера наливають 100 мл досліджуваної води і, дивлячись зверху на білому фоні, відшуковують ту шкалу, з якою забарвлення досліджуваної води є ідентичним.

Виражають кольоровість в градусах платино-кобальтової шкали. Кольоровість від 1 до

50 градусів визначається з точністю до 2 градусів, від 51 до 100 градусів – до 5 градусів.

### Питання для самоконтролю знань

1. Що таке кольоровість і забарвлення води?
2. Які чинники впливають на кольоровість води?
3. Назвіть типи кольоровості води.
4. Охарактеризуйте методи визначення кольоровості води.
5. Яке значення має кольоровість води для здоров'я людини?

## ТЕМА 5

### ЗАПАХ ТА СМАК ВОДИ. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ

**Мета:** ознайомитися з методами визначення запаху та смаку води.

**Матеріали та обладнання:** широкогорла колба 250 мл, годинникове скло, термометр.

#### Теоретичні відомості

Запах і смак води – ознака вмісту в ній певних речовин (розчинених солей, різних хімічних і органічних сполук), які обумовлюють ці показники. Запах і смак природних вод зумовлені розчиненими солями, газами і органічними сполуками, що утворюються у процесі життєдіяльності водних організмів.

Згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 [6]:

**запах** – показник, що характеризує властивість води подразнювати рецептори слизових оболонок носа та синусних пазух, зумовлюючи відповідне відчуття;

**смак і присмак** – показники, що характеризують здатність наявних у воді хімічних речовин після взаємодії зі слиною подразнювати смакові рецептори язика і зумовлювати відповідне відчуття.

Природна вода набуває запаху і смаку через розчинені в ній мінеральні і органічні сполуки, що потрапляють у воду природним шляхом. Через цвітіння водойм і гниття в них органічних речовин у воду виділяються пахучі сполуки (наприклад, сірководень), до того ж, у воді містяться хлорфеноли, що додають їй поганий запах і сприяє тому, що вона стає непридатною до вживання. Отже, запах викликають леткі пахучі речовини. Запах води характеризується видами запаху (табл. 1) та інтенсивністю запаху (табл. 2).

Таблиця 1. Класифікація запахів природного походження

Позначення запаху	Характер запаху	Приблизний вид запаху
А	Ароматичний	Квітковий, огірковий
Б	Болотний	Мулистий, багnistий
Г	Гнилisний	Фекальний, стічний
Д	Деревинний	Запах мокрих трісок, деревинної кори
З	Землянистий	Прілий, запах свіжої зораної землі, глинистий
Ц	Цвілуватий	Затхлий, застійний
Р	Рибний	Запах риб'ячого жиру, риби
С	Сірководневий	Запах протухлих яєць
Т	Трав'янистий	Запах скошеної трави, сіна
Н	Невизначений	Запахи природного походження, які не підходять під попередні визначення

На запах води впливає вміст розчинених речовин, температура, значення рН і деякі



інші фактори.

За походженням запахів їх розділяють на дві групи:

1) запахи природного походження, причиною яких є живі і відмерлі у воді організми, загниваючі рослинні залишки, специфічні сполуки, що виділяються деякими водоростями і мікроорганізмами (табл. 1);

2) запахи штучного походження, обумовлені деякими домішками промислових стічних вод (фенольний, хлорфенольний, камфорний, бензинний, хлорний тощо).

Основними причинами виникнення запаху і смаку у воді є:

1. Гниючі рослини (водорості та водні рослини) можуть надавати воді рибний, трав'яний, гнилісний запах.

2. Грибки і пліснява викликають виникнення цвілого, землистого або затхлого запаху і присмаку. Тенденція до розмноження цих мікроорганізмів виникає в місцях застою води і там, де вода може нагріватися (наприклад, в системах водопостачання великих будинків з накопичувальними ємностями).

3. Залістисті і сірчисті бактерії виділяють продукти життєдіяльності, які при розкладанні створюють різкий неприємний запах.

4. Продукти корозії заліза, марганцю, міді та цинку надають воді характерний різкий присмак.

5. Натрій хлорид у невеликих концентраціях надає воді певний смак, які багато людей вважають звичайним. Однак зі зростанням концентрації NaCl виникає солонуватий, а потім і різко солоний смак.

6. Промислові відходи, що містяться в стічних водах промислового виробництва, можуть викликати сильний лікарський або хімічний запах води. Зокрема, проблемою є фенольні сполуки, які під час хлорування води перетворюються на хлорфенольні сполуки з характерним запахом.

7. Хлорування води. Всупереч широко поширеній думці, сам хлор при правильному використанні не викликає виникнення помітного запаху або присмаку. Поява ж такого запаху/присмаку свідчить про передозування під час хлорування. Водночас, хлор здатний вступати в хімічні реакції з різними розчиненими у воді речовинами, утворюючи при цьому сполуки, які і надають воді запах і присмак «хлорки».

Смак води визначається розчиненими в ній речовинами органічного та неорганічного походження і розрізняється за характером і інтенсивністю. Розрізняють чотири основних види смаку: солоний, кислий, солодкий, гіркий. Всі інші різновиди смакових відчуттів називаються присмаками (лужний, металевий, терпкий тощо).

Якісну характеристику присмаків виражають описово: хлорний, рибний тощо. Солоний смак води в здебільшого зумовлений розчиненим у ній натрій хлоридом, гіркий – магній сульфатом, кислий – надлишком розчиненої карбонатної кислоти. Чорнильний і залістистий присмаки надають воді розчинені в ній солі заліза і марганцю, лужний – сода і луги, в'язучий – кальцій сульфат. Погіршення смакових якостей води можуть викликати також присутні в ній органічні речовини.

Найчастіше питна вода не має смаку. Води підземних джерел можуть мати солонкуватий або гірко-солонкуватий смак завдяки підвищеному вмісту солей. Поріг смакового сприйняття сольових добавок у воді різний. Так, наприклад, для NaCl – це 165 мг/дм<sup>3</sup>, CaCl<sub>2</sub> – 470 мг/дм<sup>3</sup>; MgSO<sub>4</sub> – 250 мг/дм<sup>3</sup>; FeSO<sub>4</sub> – 1,6 мг/дм<sup>3</sup>.

Хлорфенол відчувається на смак при вмісті 4·10<sup>-6</sup> мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає одній молекулі на 10<sup>12</sup> молекул води. За силою впливу на органи смаку знайдено наступні ряди:

**катиони:** NH<sup>4+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup>; Fe<sup>2+</sup> > Mn<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > Ca<sup>2+</sup>;

**аніони:** OH<sup>-</sup> > NO<sup>3-</sup> > Cl<sup>-</sup> > HCO<sup>3-</sup> > SO<sup>4 2-</sup>.

### **Методи визначення запаху і смаку води. Одиниці вимірювання запаху і смаку [12]**

Інтенсивність запаху води визначають органолептичним шляхом при 20 °C і 60 °C і виражають у балах (табл. 2).

Таблиця 2. Визначення інтенсивності запаху (смаку) води

Інтенсивність запаху (смаку), бал	Характеристика	Описові визначення
0	Ніякого	Відсутність відчутного запаху
1	Дуже слабкий	Запах, який не помічається споживачем, але виявляється в лабораторії досвідченим дослідником
2	Слабкий	Запах, який безпосередньо не привертає уваги споживача, але виявляється ним, якщо звернути увагу на нього
3	Помітний	Запах легко виявляється й викликає незадоволення споживача
4	Виразний	Запах привертає увагу, вода є неприємною для споживання, примушує утримуватися від пиття
5	Дуже сильний	Запах настільки сильний, що робить воду непридатною для споживання

Інтенсивність запаху кількісно може виражатися також пороговою концентрацією при розбавленні водою, яка не має запаху (вода, попередньо пропущена через колонку з активованим вугіллям). В цьому випадку інтенсивність запаху виражають в одиницях TON (Threshold Odor Number):

$$\text{TON} = (A + B) / B,$$

де А – об'єм води, що має запах;

В – об'єм води, вільної від запаху.

Інтенсивність смаку і присмаку визначають органолептичним методом при 20 °С і оцінюють за п'ятибальною шкалою (табл. 2).

Воду джерел, сумнівних у санітарному відношенні, перед випробуванням необхідно прокип'ятити.

Визначення речовин, які обумовлюють запахи і смаки природних вод, можливо здійснювати інструментальними методами. Зокрема, запахи води можна визначати методами газорідної хроматографії, інфрачервоної спектроскопії, ядерномагнітного резонансу, ультрафіолетової спектроскопії. Наприклад, в екстракті культур синьо-зелених водоростей знайдено до 50 видів різноманітних сполук, з них легколетючими є три речовини. З актиноміцетів вилучено та ідентифіковано індивідуальні речовини, які надають воді землястий запах (геосмін) і затхлий запах (муцилон).

**Нормування показників запаху і смаку питної води.** В таблиці 3 наведено нормативи запаху і смаку води в різних країнах. Аналіз наведених даних свідчить про те, що Українське законодавство встановлює найжорсткіші нормативи цих показників.

Таблиця 3. Нормативи запаху та смаку води

Країна /нормативний документ	Норматив запаху (60 °С), бал	Норматив смаку (20 °С), бал
Україна, ДСанПін 2.2.4-171-10	2	2
ВООЗ	Не нормується	
США, US EPA	3 TON	-
ЄС, Директива 98/83/ЄС	Прийнятний для споживачів без аномальних змін	

### Хід роботи

#### 1. Визначення запаху води.

Для визначення запаху досліджуваної води широкогорлу колбу (місткістю 250 см<sup>3</sup>)

заповнюють водою на 2/3, накривають годинниковим склом і струшують обертальними рухами. Після цього знімають годинникове скло і втягують носом повітря з колби.

Дослід проводять при двох температурах: 20 °С і 60 °С. Оцінку результатів при визначенні запахів природного походження проводять якісно (табл. 1) та кількісно (табл. 2). Результати визначення запаху води представляють так: Р3 (рибний запах інтенсивністю 3 бали), А2 (ароматичний запах інтенсивністю 2 бали) тощо.

## **2. Визначення смаку та присмаку води.**

Смак та присмак води визначають органолептично за якістю та інтенсивністю. Визначають лише для природної води!

Визначають у сирій воді при кімнатній температурі. У воді відкритих водойм і джерел, сумнівних у санітарному відношенні, смак встановлюють після її кип'ятіння. Під час дослідження в рот набирають 15-20 см<sup>3</sup> питної води, тримають її декілька секунд у роті, не ковтаючи. Смак води, як і запах, характеризують якісно і кількісно. Інтенсивність смаку та присмаку визначають за 5-ти бальною шкалою так само, як і запах (табл. 2).

### ***Питання для самоконтролю знань***

1. Назвіть причини виникнення запаху та смаку води.
2. Як хлорування впливає на запах та смакові властивості води?
3. Охарактеризуйте методи визначення запаху та смаку води.
4. В яких одиницях вимірюється запах та смак води?
5. Як нормуються запах та смак води?

## **ТЕМА 6**

### **ГУСТИНА ТА ПИТОМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ ВОДИ**

**Мета:** ознайомитися з поняттям та методами визначення густини та питомої електричної провідності води.

**Матеріали та обладнання:** пікнометр, фільтрувальний папір, аналітичні ваги, кондуктометр.

### **Теоретичні відомості**

**Густина води** – важливий показник її якості. Густина природних вод – це фактор, який визначає умови пересування водних організмів на різних глибинах і залежить від температури, тиску та вмісту розчинених та тонкодиспергованих завислих речовин. Максимальне значення густини дистильованої води при атмосферному тиску (1000 кг/м<sup>3</sup>) має місце при 3,98 °С. Густина води збільшується при зростанні концентрації розчинених речовин, зокрема солоності. Так, густина морської води коливається в межах від 1020 до 1033 кг/м<sup>3</sup>. Наприклад, при температурі 25 °С та солоності 35 ‰ густина морської води складає 1024,12 кг/м<sup>3</sup> порівняно з 997,1 кг/м<sup>3</sup> для чистої води. Відомо, що на кожні 10 м глибини водойми тиск зростає на 100 кПа (1 атм). Це зумовлює залежність густини води від тиску. На кожні 1000 м глибини морів та океанів внаслідок впливу стовпа води густина води збільшується на 4,5-4,9 кг/м<sup>3</sup>. На максимальних океанських глибинах (близько 11 км) густина води складає 1076 кг/м<sup>3</sup> при солоності 35 ‰. При дуже великому вмісті тонкодисперсних завислих речовин (до 220 кг/м<sup>3</sup>) річкові каламутні води (наприклад, річка Хуанхе, яка впадає в затоку Жовтого моря) мають густину на 2-2,5 кг/м<sup>3</sup> більшу за морські води.

Густина води змінюється і потребує вимірювання, коли виникає змішування вод з різними концентраціями розчинених речовин, і коли це може впливати на режим течії і витрати реагентів на обладнаннях очищення стічних вод.

Густина води визначають експериментально за допомогою спеціального пристрою – ареометра або ваговим (пікнометричним) методом.

Ареометри (рис. 1) застосовують для швидкого визначення відносної густини рідини. У нижній частині ареометра знаходиться кулька, заповнена баластом (дробом). Шкали ареометрів градууються в одиницях густини, при визначенні концентрації розчинів, у відсотках (за об'ємом або масою).

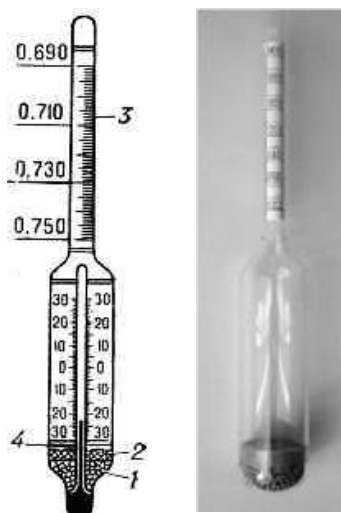


Рисунок 1. Ареометр

- 1 – баласт (дріб);
- 2 – маса, яка зв'язує баласт;
- 3 – шкала густини ареометра;
- 4 – шкала термометра ареометра.

Для визначення відносної густини рідину наливають у широкий циліндр і обережно занурюють у неї ареометр (рис. 2). Ареометр не повинен торкатися стінок циліндра. Чим більша відносна густина рідини, тим менше в неї занурений ареометр. Значення відносної густини показують розподіли на шкалі, проти якого встановлено рівень рідини.

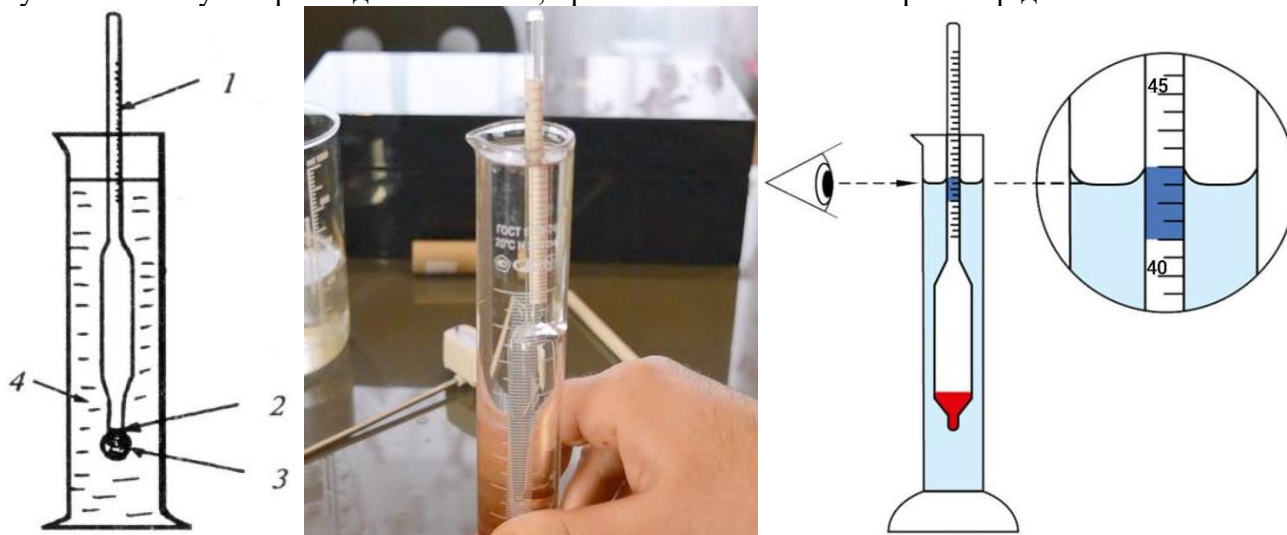


Рисунок 2. Визначення густини речовини за допомогою ареометра:

- 1 – шкала густини ареометра;
- 2 – маса, яка зв'язує баласт;
- 3 – баласт (дріб);
- 4 – циліндр з рідиною, що досліджують.

Густина води визначають за допомогою пікнометра. Пікнометр – скляна посудина невеликої ємності (декілька см<sup>3</sup>) та спеціальної форми для визначення густини газоподібних, рідких або твердих речовин (рис. 3). Вимірювання густини пікнометром базується на

зважуванні речовини, що знаходиться в ньому (зазвичай у рідкому стані), яка заповнює пікнометр до мітки на горловині або до верхнього краю капіляра, що відповідає номінальній місткості пікнометра. Вимірювання об'єму значно спрощується, якщо замість однієї мітки пікнометр має шкалу. Дуже зручний у роботі пікнометр з бічною капілярною трубкою, корком якої служить тіло термометра.

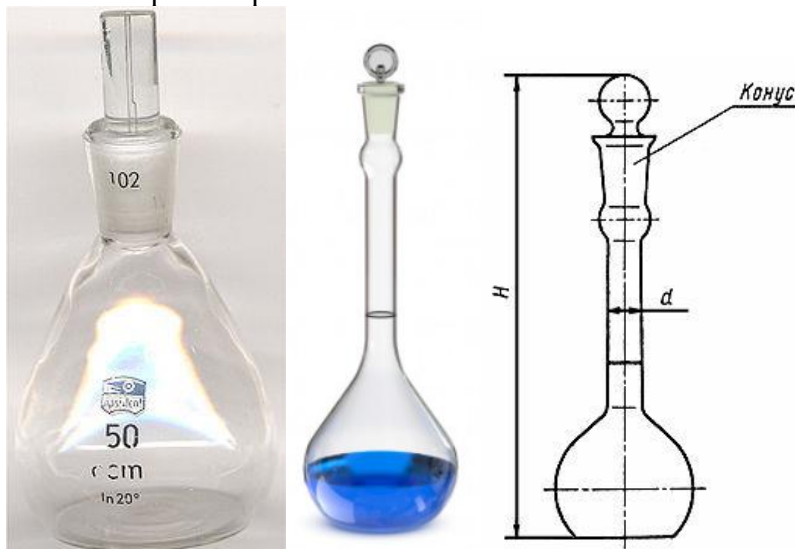


Рисунок 3. Пікнометр

Для визначення густини рідин використовують чистий, сухий пікнометр. Спочатку визначають «водну константу» – маса води в об'ємі пікнометра при температурі 20 °С, яка приведена до маси води при 4 °С (температура при якій вода має максимальну густину).

Роботу проводять у такій послідовності:

а) пікнометр послідовно мийуть ацетоном, спиртом, ефіром; потім висушують у сушильній шафі або продуванням повітря за допомогою гумової груші, на якій закріплена капілярна трубочка;

б) сухий пікнометр зважують на аналітичних терезах (мг);

в) для вилучення розчиненого у воді повітря 30-50 мл дистильованої води кип'ятять у стакані протягом 10-15 хв.;

г) після охолодження до кімнатної температури дистильовану воду за допомогою піпетки і гумової груші наливають у пікнометр на 0,3-0,5 см вище позначки, нанесеної на шийку;

г) пікнометр з дистильованою водою закріплюють у склянці з водою для термостатування за температури 20 °С. Пікнометр занурюють у воду так, щоб рівень води в склянці був вищим за рівень води в пікнометрі. Термостатування у воді проводять протягом 20 хв. Для підтримання необхідної температури додають підігріту воду або шматочки льоду в склянку для термостатування;

д) рівень води в пікнометрі доводять до позначки, не виймаючи його із склянки для термостатування. Надлишок води з пікнометра забирають за допомогою капіляра або шматочків фільтрувального паперу. Потім верхню частину шийки пікнометра і шліф старанно протирають сухими смужечками фільтрувального паперу;

е) пікнометр закривають корком, виймають із склянки для термостатування, старанно витирають його поверхню фільтрувальним папером і залишають біля аналітичних терезів на 20-30 хвилин, потім пікнометр з водою зважують ( $m_2$ );

е) визначають масу води в пікнометрі при температурі 20 °С:

$$m_2 - m_1;$$

ж) визначають масу води в пікнометрі при температурі 4 °С («В») – «водне число» за пропорцією:

$$\begin{aligned} & \text{маса води в пікнометрі (t = 20 °С) / V =} \\ & = \text{густина води в пікнометрі (t = 20 °С) / густина води (t = 4 °С)} \\ & \text{Густина води за температури 20 °С = 0,99823 г/см}^3, \text{ за 4 °С = 0,999997 г/см}^3. \end{aligned}$$

$$V = (m_1 - m_2) \cdot 0,999997 \text{ г/см}^3 / 0,99823$$

Водна константа  $V$  є постійною для даного пікнометра.

Після визначення водної константи пікнометр висушують, заливають рідину, що досліджують і згідно з викладеною методикою визначають масу цієї речовини в пікнометрі ( $m_4 - m_3$ ).

Відносна густина рідини, що досліджують,  $\text{г/см}^3$ :

$$\rho_4^{20} = m_4 - m_3 / V,$$

де:  $m_3$  – маса порожнього пікнометра;

$m_4$  – маса пікнометра з рідиною.

У нормативних документах України та інших країн чисельне значення густини води не нормується.

**Електрична провідність** – це кількісний вираз здатності водних розчинів, зокрема, природних і стічних вод, проводити електричний струм. На практиці використовується поняття питомої електричної провідності, яка позначається буквою  $\kappa$  (каппа) і вимірюється в  $\text{См/м}$  ( $\text{S/m}$ ) – Сіменс на метр,  $\text{мСм/м}$  – міліСіменс на метр,  $\text{мкСм/м}$  – мікроСіменс на метр ( $\text{СІ}$ ),  $\text{Ом}^{-1}/\text{см}$  ( $\text{СГСЕ}$ ). Питома електрична провідність залежить від природи і концентрації розчинених у них електролітів, температури та інших факторів.

Вона є інструментально вимірюваною характеристикою, яка пов'язана з мінералізацією (солевмістом) води. Природні води є складними системами, що містять, зокрема, розчини сумішей сильних і слабких електролітів. Мінеральну частину води складають переважно іони  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Саме цими іонами і зумовлюється електрична провідність природних вод.

Питома електрична провідність води у відкритому водоймищі складає від 300 до 1200  $\text{мкСм/см}$ . Якщо питома електрична провідність нижча за вказаний рівень, спостерігається нестача іонів, що призводить до низького опору зовнішнім факторам і коливанням рівня рН води.

У таблиці 1 наведено приклади питомої електричної провідності деяких видів вод при певній мінералізації.

Таблиця 1. Питома електрична провідність ( $\kappa$ ) зразків води при 20 °С

Зразок води	$\kappa$ , $\text{мкСм/см}$	Загальна мінералізація, $\text{г/дм}^3$
«Поляна квасова»	12300	6,5-12,0
«Моршинська»	576	0,1-0,4
Водопровідна вода	500	0,35
Водопровідна вода (виморожена)	220	0,15
Дистильована вода	<5	-
Атмосферні опади	6-30	Немає даних
Морська вода	154500-540000	100-400

Величина питомої електричної провідності залишається сталою в межах допустимої похибки (10 %) за наявності у воді різних за природою органічних сполук (до  $150 \text{ мг/дм}^3$ ) та завислих речовин (до  $500 \text{ мг/дм}^3$ ).

Для наближеної оцінки солевмісту води ( $\text{TDS}$  – Total Dissolved Solids) необхідно перевести питому електричну провідність ( $\text{мкСм/см}$ ) у  $\text{TDS}$  ( $\text{мг/дм}^3$ ):

$$\text{TDS} = \kappa \cdot K,$$

де  $K$  – коефіцієнт перерахунку (за  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$  або «442»).

Коефіцієнт перерахунку за  $\text{KCl}$  (ця речовина є міжнародним стандартом для калібрування кондуктометрів) лежить в межах 0,50 – 0,57, за  $\text{NaCl}$  – в межах 0,47 – 0,50. Коефіцієнт перерахунку «442» розроблений компанією Murgon L Company шляхом імітації властивостей природної води, що містить 40 %  $\text{NaHCO}_3$ , 40 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  та 20 %  $\text{NaCl}$ . Коефіцієнт перерахунку «442» лежить в межах 0,65 – 0,85. Вибір речовини для коефіцієнта

перерахунку залежить від складу досліджуваної води.

Питома електрична провідність вимірюється за допомогою спеціального приладу – кондуктометра (рис. 4).



Рисунок 4. Типовий кондуктометр

Через зразок води, залитий у кондуктометричну комірку, яка містить платинові чи сталеві електроди, пропускають змінний електричний струм частотою від 50 Гц (якщо вода є маломінералізованою) до 2000 Гц (якщо досліджувана вода солоня).

Значення питомої електричної провідності при температурі дослідження виводиться на дисплей кондуктометра. Для вимірювання питомої електричної провідності води можуть бути використані будь-які кондуктометри з діапазоном від 1 мкСм/см до 100 мСм/см.

Вимірювання електропровідності зазвичай проводять при температурі 20 °С. При підвищенні температури на 10 °С величина питомої електричної провідності збільшується приблизно на 2 %.

Згідно з Директивою ЄС 98/83/ЄС питома електрична провідність питної води не має перевищувати 2500 мкСм/см при 20 °С, а згідно з нормативами ВООЗ – 500-1500 мкСм/см. В Україні та США питома електрична провідність води не нормується; вважають що її величина 2000 мкСм/см приблизно відповідає загальній мінералізації в 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

## Хід роботи

### 1. Визначення густини води.

Густину води визначають ваговим (пікнометричним) методом.

Зважують чистий сухий пікнометр на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г. Потім пікнометр заповнюють дистильованою водою до мітки, висушують його зовнішню поверхню фільтрувальним папером і зважують на аналітичних терезах. Після цього виливають дистильовану воду, заповнюють пікнометр досліджуваною водою і знову зважують на аналітичних терезах.

Густину досліджуваної води  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) розраховують за формулою:

$$\rho = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0},$$

де  $m_0$  – маса порожнього пікнометра, г;

$m_1$  – маса пікнометра з дистильованою водою, г;

$m_2$  – маса пікнометра з досліджуваною водою, г;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  – густина дистильованої води, кг/м<sup>3</sup> (табл. 2).

Таблиця 2. Густина дистильованої води

t, °C	10	15	18	20	22	25	28	30
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ , кг/м <sup>3</sup>	999,73	999,13	998,62	998,23	997,80	997,07	996,26	995,67

## 2. Визначення питомої електричної провідності води.

Питому електричну провідність досліджуваної води вимірюють за допомогою кондуктометра, наявного в лабораторії. Для цього комірку кондуктометра заповнюють досліджуваною водою, записують дані приладу (мСм/см або мкСм/см), переводять одержані результати в См/м.

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Від чого залежить густина води?
2. Яке значення має густина води як показник її якості?
3. Назвіть методи визначення густини води.
4. Що таке електрична провідність водних розчинів і в яких одиницях вимірюється цей показник?
5. Охарактеризуйте методи вимірювання питомої електропровідності води.

## ТЕМА 7

### МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ВОДИ. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ

**Мета:** освоїти принцип визначення кількості завислих речовин, розчинених речовин та прожареного залишку розчинених речовин у воді методом гравіметрії.

**Матеріали та обладнання:** циліндри місткістю 100-1000 см<sup>3</sup>, паперові фільтри «синя стрічка», бюкси, фарфорові тиглі, фарфорова чашка, сушильна шафа, аналітичні ваги, муфельна піч, ексікатор.

### Теоретичні відомості

Вода – універсальний розчинник, у ній завжди є домішки, які згідно з класифікацією за фазово-дисперсним станом поділяють на завислі речовини, колоїдні речовини, молекулярні речовини та електроліти.

Під *завислими речовинами* розуміють частки мінерального і органічного походження розміром 10<sup>-4</sup> мм, які знаходяться у воді.

*Розчинені речовини* – це загальний вміст розчинених у воді мінеральних та частково органічних речовин, температура кипіння яких перевищує 110 °С, нелетких з водяною парою і ті, що не розкладаються при вказаній температурі.

*Прожарений залишок* дає орієнтовне уявлення про мінеральний склад води, а втрата при прожарюванні вказує на кількість органічних сполук у воді.

Переважаюча кількість домішок у воді – мінеральні солі (до 90 % всіх домішок). Показник, що характеризує кількість розчинених речовин, передусім мінеральних солей, в 1 л води – сухий залишок. Тобто значення солемісту приблизно рівне сухому залишку.

*Мінералізація води* – це кількість розчинених у ній мінеральних речовин, яка виражається або загальною мінералізацією, або сухим залишком.

*Загальна мінералізація* є сумою компонентів мінеральних речовин, визначених за допомогою аналізів. *Сухий залишок* отримують при випаровуванні певного об'єму води, висушуванні з подальшим гравіметричним визначенням.

Загальну мінералізацію і сухий залишок виражають для прісних і солонуватих вод у мг/л, г/л, для розсолів – у г/л або г/кг. Одиницею останнього способу виразу концентрації є проміле (від лат. pro mille – за тисячу), 1 ‰ – тисячна частка числа. Також рівень мінералізації може виражатися в частинках на мільйон частинок води — parts per million (ppm). Співвідношення між одиницями вимірювання в мг/л та ppm майже рівне і для простоти можна прийняти, що 1 мг/дм<sup>3</sup> = 1 ppm.

Мінералізація води – один з найважливіших показників хімічного складу природних вод. Мінералізація води зумовлена насамперед природними чинниками (зокрема



геологічними умовами району походження вод та рівнем розчинності мінералів порід, із якими вони контактують).

Найбільший вплив на формування мінералізації води річок, озер, підземних водоносних горизонтів (95-99 %) мають 7 основних іонів (аніонів і катіонів). Аніони:  $\text{HCO}_3^-$  (гідрокарбонати);  $\text{SO}_4^{2-}$  (сульфати);  $\text{Cl}^-$  (хлориди). Катіони:  $\text{Ca}^{2+}$  (кальцій);  $\text{Mg}^{2+}$  (магній);  $\text{Na}^+$  (натрій);  $\text{K}^+$  (калій).

Антропогенний вплив на мінералізацію води у водних об'єктах загалом незначний: скидання шахтних вод з підвищеною мінералізацією (у відповідних регіонах), меншою мірою – скиди промислових та господарсько-побутових стічних вод.

За ступенем мінералізації усі природні води в загальних рисах поділяються на чотири групи:

- прісні, з загальною мінералізацією – до 1 г/дм<sup>3</sup>;
- солонуваті – 1-10 г/дм<sup>3</sup>;
- солоні – 10-50 г/дм<sup>3</sup>;
- ропа – понад 50 г/дм<sup>3</sup>.

У прісних водах мінералізація на 90-95 % формується за рахунок основних іонів: аніонів – гідрокарбонатів, сульфатів, хлоридів; катіонів – кальцію, магнію, натрію, калію. У високомінералізованих водах їхня частка досягає 99 %.

Прісні води (поверхневі, підземні) – важливе джерело господарсько-питного водопостачання населення у всьому світі. Так, прісною вважається вода з мінералізацією менше 1 г/л (=1000 мг/л  $\approx$  1000 ppm). Вода з мінералізацією більше 1 г/л має неприємний смак – солоний або гірко-солоний.

Мінералізація води всіх великих річок України та світу знаходиться в межах до 1 г/дм<sup>3</sup>, тобто вода прісна. Середня солоність Світового океану становить 35 ‰ (35 г/дм<sup>3</sup>).

За мінералізацією підземні води поділяються зазвичай на прісні (менше 1 г/дм<sup>3</sup>), високомінералізовані або солоні (від 1 до 35 г/дм<sup>3</sup>) і розсоли (понад 35 г/дм<sup>3</sup>). Існують й інші градації. Для вод нафтогазових родовищ характерний широкий діапазон зміни мінералізації природних вод (від 5 до 400 г/дм<sup>3</sup> і вище).

У ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» визначено нормативи по сухому залишку (що приблизно відповідає загальній мінералізації) питної води (табл. 1).

Таблиця 1. Нормативи по сухому залишку (мінералізації) питної води

Показник	Водопровідна вода	Вода з колодязів і каптажів джерел	Фасована вода, з пунктів розливу та бюветів
Сухий залишок, не більше, мг/л	1000	1500	1000

Мінералізація питної води не повинна перевищувати 1,0-1,5 г/л (або 1000-1500 мг/л). Нормами не встановлено нижньої межі мінералізації, але це ще не означає, що потрібно пити дистильовану воду. Питання користі або шкідливості вживання дистильованої води на сьогодні відкрите. Вчені так і не прийшли до одного висновку. Проте за фізіологічною повноцінністю мінерального складу питної води згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 норматив з мінералізації (сухому залишку) встановлено в межах 200-500 мг/л.

Норми Європейського стандарту загальної солемісту – до 1000 мг/л.

Визначають мінералізацію води як суму значень компонентів, отриманих при хімічному аналізі конкретної проби води. Для лабораторного застосування звичайно використовують гравіметрію, однак на промислових об'єктах користуються кондуктометричним методом визначення мінералізації.

Виміряти мінералізацію води можна за допомогою солеміра або TDS-метра. Найбільш простими у використанні та економічно вигідними є портативні TDS-метри (рис. 1).



Рисунок 1. Портативні солеміри для визначення мінералізації води

Принцип дії TDS-метра заснований на прямій залежності електропровідності розчину (сили струму і постійному електричному полі, створюваному електродами приладу) від кількості розчинених у воді сполук (частин на мільйон 1 ppm = 1 мг/л).

### Хід роботи

#### 1. Завислі речовини.

Об'єм води, який необхідний для визначення, залежить від припущеного вмісту в ній завислих речовин і може бути знайдений за даними, що представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Необхідний об'єм проби води для визначення завислих речовин

Припущений вміст завислих речовин, мг/л	Менше 10	10-50	50-100	100-500	Більше 500
Об'єм проби, л	1,5-2	1,0	0,5	0,25	0,1

Паперові беззольні фільтри «синя стрічка» розміщують в бюксах з відкритими кришками у сушильній шафі, нагрівають до 105 °С, висушують протягом 2 годин, закривають кришками, охолоджують в ексікаторі і зважують на аналітичних вагах. Доводять у сушильній шафі до постійної маси, проводячи повторне висушування, охолоджуючи та зважуючи.

Для визначення завислих речовин відміряють циліндром об'єм ретельно перемішаної проби. Після перенесення проби на попередньо підготовлений фільтр стінки циліндру промивають невеликою кількістю дистильованої води, а осад на фільтрі промивають дистильованою водою (об'єм 70-80 мл).

Фільтр з осадом висушують на повітрі, потім розміщують в бюксі і у відкритому вигляді висушують 2,5-3,0 години при 105 °С, закривають бюкс, охолоджують в ексікаторі і зважують. Висушування, охолодження і зважування повторюють до досягнення постійної маси (розбіжність у четвертому знаці не повинна перевищувати 5 одиниць).

При проведенні аналізу при дуже високому вмісті завислих речовин у воді визначати завислі речовини можна фільтруванням на воронці Бюхнера.

Вміст завислих речовин (мг/л) розраховують за формулою:

$$X = \frac{(a-b) \cdot 1000}{V},$$

де а – маса бюксу з осадом завислих речовин на фільтрі, мг;

в – маса бюксу з фільтром, мг;

V – об'єм води для аналізу, мл.

## 2. Розчинені речовини.

Для визначення кількості розчинених речовин використовують фільтрат після визначення завислих речовин об'ємом 100-200 мл. Визначення розчинених речовин проводять у фарфоровій чашці ємністю 50 мл. Чашку попередньо треба прожарити в муфельній печі протягом 1 години при температурі 600 °С, охолодити в ексікаторі і зважити. В прокалену і зважену чашку наливають фільтрат після визначення замулених речовин і випарюють на водяній бані, підливають фільтрат в чашку у міру його випаровування.

Після випарювання стакан промивають невеликим об'ємом дистильованої води і зливають в чашку.

Після випарювання чашку з зовнішньої сторони протирають фільтром, який змочений розбавленою соляною кислотою і обмивають соляною кислотою, а потім висушують в сушильній шафі при температурі 105 °С протягом 2 годин, потім охолоджують в ексікаторі і зважують. Масу доводять до постійної.

Розрахунок вмісту розчинених речовин (мг/л) визначають за формулою:

$$X = \frac{(a-v) \cdot 1000}{V},$$

де а – маса чашки з розчиненими речовинами, мг;

в – маса порожньої чашки, мг;

V – об'єм води для аналізу, мл.

## 3. Визначення прокаленого залишку розчинених речовин.

Чашку з розчиненими речовинами розташовують в муфельній печі, спалюють розчинені речовини, потім прожарюють при температурі 600 °С протягом 1 години. Чашку охолоджують до постійної маси.

Перед кожним наступним визначенням чашки потрібно кип'ятити в соляній кислоті, потім ретельно промивати водопровідною водою і промивати дистильованою водою, після чого прожарити в муфельній печі 30-40 хвилин при температурі 600 °С, після охолодження в ексікаторі перевіряти масу.

Вміст (Y) прожареного залишку (мінеральної частини розчинених речовин) у мг/л визначають за формулою:

$$Y = \frac{(c-d) \cdot 1000}{V},$$

де с – маса чашки з залишком, що був прожарений, мг;

d – маса порожньої чашки, мг;

V – об'єм води для аналізу, мл.

Втрати при прожарюванні (органічна частина розчинених речовин):

$$Z = X - Y.$$

У визначеннях усіх показників розбіжність між паралельними пробами не повинна перевищувати 5 %.

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Що таке мінералізація води? Як вона формується?
2. Яка мінералізація природних вод?
3. Як класифікують води за ступенем мінералізації?
4. Як визначають мінералізацію води? В яких одиницях виражають цей показник?
5. Як нормується вміст солей у питній воді?

## ТЕМА 8

### ЖОРСТКІСТЬ ВОДИ. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ

**Мета:** освоїти методи визначення кальцієвої та магнієвої жорсткості води.

**Матеріали та обладнання:** мірні колби місткістю 250, 500, 1000 см<sup>3</sup>, колби місткістю 250 см<sup>3</sup>, піпетки місткістю 100 см<sup>3</sup>, бюретки, беззольний фільтр «синя стрічка», метиловий рожевий, фенолфталеїн, соляна кислота 0,1 М розчин, аміачний буферний розчин, еріохром чорний Т, Трилон Б з концентрацією  $C((1/Z)ТБ)=0,05$  моль/л, оксалат амонію 5 %-ий розчин, спеціальний буферний розчин.

#### Теоретичні відомості

Наявність у воді ряду хімічних речовин надає їй властивість, яку називають жорсткістю.

Згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10, **загальна жорсткість** – показник, що характеризує властивість води, зумовлену наявністю у ній розчинених солей кальцію та магнію (сульфатів, хлоридів, карбонатів, гідрокарбонатів тощо).

Розрізняють карбонатну (тимчасову) та некарбонатну (постійну) жорсткість (рис. 1).



Рисунок 1. Типи жорсткості води

**Карбонатна жорсткість** обумовлена наявністю у воді гідрокарбонатів кальцію та магнію і називається **тимчасовою**, оскільки її можна позбавитися за допомогою кип'ятіння. Розчинність цих солей обернено пропорційно залежить від температури. Це означає, що чим вища температура, тим нижча розчинність. Відповідно, при підвищенні температури рівновага системи зсувається в бік утворення осаду і як наслідок отримуємо вапняний наліт і накип.

**Некарбонатна жорсткість** води обумовлена наявністю кальцієвих та магнієвих солей сірчаної, соляної, азотної, фосфорної та кремнієвої кислот, які при кип'ятінні води залишаються в розчині. Така жорсткість називається **постійною**.

Крім того, розрізняють жорсткість **кальцієву**, пов'язану з присутністю солей кальцію, і **магнієву**, що залежить від вмісту у воді солей магнію.

Основним шляхом надходження іонів кальцію і магнію є натуральні мінерали: доломіт, кальцит, воластоніт тощо. Вода рухається крізь шари, що містять ці породи та вимиває певну кількість мінералів. Тому вся природна вода містить солі жорсткості.

Також бувають антропогенні джерела. Так, аномальну жорсткість мають стоки хімічних виробництв, у результаті видобутку бурштину тощо.

Для числового вираження жорсткості води вказують концентрацію в ній катіонів кальцію та магнію. Рекомендована одиниця СІ для вимірювання концентрації – моль на кубічний метр (моль/м<sup>3</sup>), але на практиці для вимірювання жорсткості частіше використовують мілімоль на літр (ммоль/л), ммоль/дм<sup>3</sup>. Також жорсткість води виражають

кількістю «мілімоль-еквівалентів» розчинених солей кальцію та магнію в 1 літрі води. Раніше жорсткість представляли в «градусах». 1 ммоль-екв жорсткості відповідає 2,8 град.

Вода за жорсткістю має таку класифікацію (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація води за жорсткістю

Клас води	ммоль/дм <sup>3</sup>
Дуже м'яка	0-1,4
М'яка	1,5-4,0
Помірно жорстка	4,0-8,0
Жорстка	8,0-12,0
Дуже жорстка	>12,0

Визначення карбонатної жорсткості води (загальної лужності) ґрунтується на титруванні води соляною кислотою певної концентрації. В тих випадках, коли лужність води по фенолфталеїну дорівнює нулю, можна вважати, що загальна лужність води дорівнює її карбонатній жорсткості.

Комплексометричним методом (рис. 2) здійснюється визначення загальної жорсткості води, що базується на властивості трилону Б зв'язувати іони кальцію та магнію в трилонні комплексні сполуки, оптимальним умовами утворення яких є рН=8-10 (використовується буферний розчин  $\text{NH}_4\text{OH}+\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

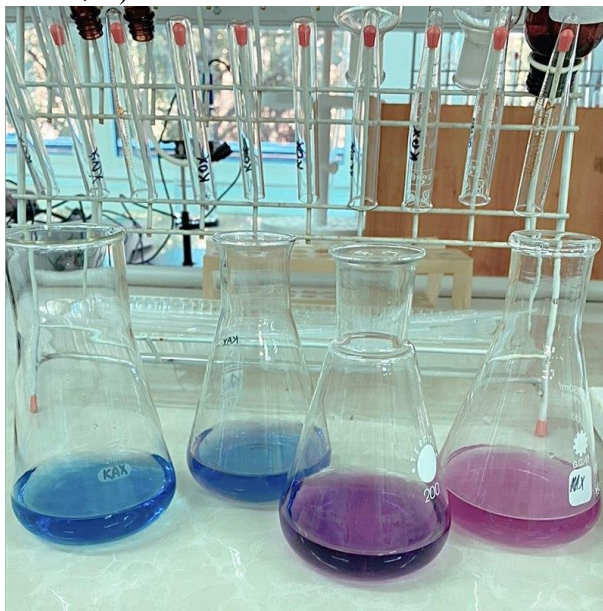


Рисунок 2. Визначення вмісту іонів кальцію та магнію у воді методом комплексометричного титрування

Спочатку визначається загальна жорсткість води. Потім іони кальцію осаджують у вигляді оксалату кальцію, видаляють осад і визначають магнієву жорсткість фільтрату. Кальцієву жорсткість води визначають як різницю між загальною та магнієвою жорсткістю.

Жорсткість природної води коливається в широких межах. Вона неоднакова в різних природних водах, в одному і тому ж водному об'єкті величина її змінюється за порами року.

У поверхневих водах жорсткість сягає найбільших величин наприкінці зими, найменших – у період повені. У поверхневих водах зазвичай переважає карбонатна жорсткість (70-80 % від загальної). Магнієва жорсткість води зрідка перевищує 30 % від загальної, однак у деяких районах (Донбас, Кривий Ріг) сягає 60 % від загальної.

Жорсткість підземних вод, особливо в артезіанських колодязях, менше змінюється протягом року.

Жорсткість річкових вод України, як і мінералізація води, зростає з північного заходу на південний схід. У річкових водах Полісся жорсткість становить 2-3 ммоль/дм<sup>3</sup>, у Дніпрі – 4-5 ммоль/дм<sup>3</sup>, а в малих і середніх річках Приазов'я – 15-30 ммоль/дм<sup>3</sup>, що обмежує

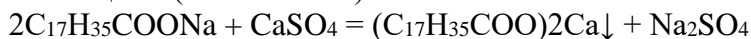
можливості використання місцевих водних ресурсів.

Жорсткість морської води: Чорне море – кальцієва 12,0 ммоль/дм<sup>3</sup>, магнієва 53,5 ммоль/дм<sup>3</sup>, загальна 65,5 ммоль/дм<sup>3</sup>, Каспійське море – кальцієва 36,4 ммоль/дм<sup>3</sup>, магнієва 30 ммоль/дм<sup>3</sup>, загальна 66,4 ммоль/дм<sup>3</sup>; океан – кальцієва 22,5 ммоль/дм<sup>3</sup>, магнієва 108 ммоль/дм<sup>3</sup>, загальна 130,5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

В Україні відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10), затверджених Мінохорони здоров'я України 12.05.2010 р., які загалом регулюють якість питної води, прийнято такі нормативи показників жорсткості питної води:

- вода водопровідна – до 6,5 ммоль/дм<sup>3</sup> (в окремих випадках з дозволу санітарних служб – до 10 ммоль/дм<sup>3</sup>);
- вода колодязів і каптажів джерел – до 10 ммоль/дм<sup>3</sup>;
- вода фасована, з пунктів розливу та з питних бюветів – 7 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Жорсткість — це найбільш поширена проблема якості води. Жорстка вода непридатна майже для всіх галузей виробництва. Наприклад, жорстку воду не можна використовувати для прання білизни, миття шерсті і фарбування тканин, бо в ній мило втрачає свою мийну здатність. Це пояснюється тим, що розчинний у воді стеарат натрію C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COONa, який становить головну складову мила, переходить у нерозчинний стеарат кальцію (або магнію), утворюючи так зване кальцієве (або магнієве) мило:



При цьому мильна піна утворюється тільки після повного осадження іонів кальцію і магнію, на що непродуктивно витрачається багато мила. Крім того, утворюваний осад кальцієвого і магнієвого мила міцно осідає на волокнах тканин і забруднює їх, а при фарбуванні утворює плями.

Жорстка вода непридатна і для цілої низки інших виробництв: паперового, шкіряного, крохмального, спиртового тощо. Вона непридатна і для паросилового господарства, бо під час кип'ятіння води утворюється накип, який погано проводить тепло, внаслідок чого збільшується витрата палива. Накип спричиняє інтенсивне руйнування стінок котлів, що може призвести до аварії.

Для приготування їжі жорстку воду теж не вживають, бо в ній погано розварюються м'ясо і овочі, продукти змінюють свої смакові якості. Для пиття вона теж непридатна.

Варто зазначити, що однаково небезпечні, як нестача, так і надлишок солей жорсткості. Якщо вода низько мінералізована, то організм компенсує недолік з їжі, а якщо ж має підвищену жорсткість, то при тривалому вживанні відбувається перевантаження сечовидільної системи і як наслідок утворення каменів в нирках. Також наслідком є гіпертензія і набряки.

## Хід роботи

### 1. Приготування необхідних реактивів:

#### *Приготування аміачного буферного розчину*

До 20 г хлориду амонію додають 100 мл 20 %-го розчину аміаку і доводять загальний об'єм розчину дистильованою водою до 1 л (бажано перевірити рН приготовленого розчину на рН-метрі і, якщо воно відрізняється від значення 9±0,5, відкорегувати його).

#### *Приготування спиртового розчину індикатора еріохрому чорного Т*

До 0,5 г індикатору додають 10 мл аміачного розчину і доводять загальний об'єм етанолом до 100 мл. Допускається для використання в якості індикатора приготувати суміш еріохром чорного Т і хлориду натрію. Для цього необхідно ретельно здрібнити та перемішати дані солі у співвідношенні відповідно 1:200 (по масі).

#### *Приготування спеціального буферного розчину*

До 67,5 г хлориду амонію додають 570 мл 25 %-го розчину аміаку і доводять загальний об'єм розчину дистильованою водою до 1 л (бажано перевірити рН приготованого розчину на рН-метрі і, якщо воно відрізняється від значення 9±0,5, відкорегувати його).

## 2. Загальна лужність та карбонатна жорсткість води.

До 100 мл води, що досліджується, в конічну колбу на 250 мл додають 2-3 краплі розчину фенолфталеїну. Якщо з'явився колір, воду титрують 0,1М розчином соляної кислоти до знебарвлення (при електрометричному титруванні на рН-метрі титрують до рН=8,3). Потім в ту ж саму колбу додають 2-3 краплі розчину метилового рожевого і продовжують титрування 0,1 М розчином соляної кислоти до зміни забарвлення з жовтого до рожевого (при електрометричному титруванні на рН-метрі титрують до рН=3,6). Записують об'єм 0,1 М розчину соляної кислоти, який пішов на титрування з фенолфталеїном та загальний об'єм 0,1 М розчину соляної кислоти, який пішов на все титрування.

Загальну лужність води ( $L_{\text{заг}}$ ) розраховують за формулою:

$$L_{\text{заг}} = \frac{V \cdot C\left(\frac{1}{Z}HCl\right) \cdot 1000}{V_1}, \text{ ммоль/л}$$

де  $V$  – загальний об'єм розчину соляної кислоти, який пішов на титрування об'єму води, що досліджується, мл;

$C\left(\frac{1}{Z}HCl\right)$  – концентрація розчину соляної кислоти;

$C\left(\frac{1}{Z}HCl\right) = C(HCl)$ , моль/л;

$V_1$  – об'єм води для аналізу, мл.

Якщо лужність води по фенолфталеїну не дорівнює нулю, то її розраховують за формулою:

$$L_{\phi} = \frac{V_2 \cdot C\left(\frac{1}{Z}HCl\right) \cdot 1000}{V_1}, \text{ ммоль/л}$$

де  $V_2$  – об'єм розчину соляної кислоти, який пішов на титрування об'єму води, що досліджується, по фенолфталеїну мл;

## 3. Загальна жорсткість води.

До 100 мл води, що досліджується, в конічну колбу на 250 мл додають 5-10 мл аміачного буферного розчину, додають 6-7 крапель індикатору еріохрому чорного Т, який з іонами кальцію та магнію утворює комплекси червоного кольору. Наявність вказаного кольору розчину, після введення індикатора, говорить про присутність іонів кальцію та магнію. Потім даний розчин титрують розчином трилону Б з концентрацією  $C\left(\frac{1}{Z}T_B\right) = 0,05$  моль/л до переходу забарвлення в синій колір.

Загальна жорсткість води  $T_{\text{заг}}$  (ммоль/л) розраховують за формулою:

$$T_{\text{заг}} = \frac{V_1 \cdot C\left(\frac{1}{Z}T_B\right) \cdot 1000}{V},$$

де  $V_1$  – об'єм розчину трилону Б, який пішов на титрування об'єму досліджуваної води, мл;

$C\left(\frac{1}{Z}T_B\right)$  – концентрація трилону Б, моль/л;

$V$  – об'єм води для аналізу, мл.

## 4. Кальцієва та магнієва жорсткість.

До 100 мл води, що досліджується, в конічну колбу на 250 мл приливають 1 мл спеціального буферного розчину та 10-15 мл 5 %-го розчину оксалату амонію. При цьому випадає осад  $CaC_2O_4$ , який не менше як через 30 хвилин відфільтровують через щільний беззольний фільтр «синя стрічка». Осад на фільтрі промивають 2 рази невеликою кількістю холодної дистильованої води. Промивні води додають до фільтрату і визначають її жорсткість: додають 5-10 мл аміачного буферного розчину, додають 6-7 крапель індикатору еріохром чорного Т і титрують розчином трилону Б з концентрацією  $C\left(\frac{1}{Z}T_B\right) = 0,05$  моль/л до переходу забарвлення в синій колір.

Магнієва жорсткість води  $T_{Mg}$  (ммоль/л) розраховують за формулою:

$$T_{Mg} = \frac{V_1 \cdot C\left(\frac{1}{Z}T_B\right) \cdot 1000}{V},$$

де  $V_1$  – об'єм розчину трилону Б, який пішов на титрування, мл;

$C\left(\frac{1}{Z}T_B\right)$  – концентрація трилону Б, моль/л;

$V$  – об'єм води для аналізу, мл.

Кальцієву жорсткість води визначають як різницю між загальною та магнієвою

жорсткістю.

### Питання для самоконтролю знань

1. Що таке жорсткість води?
2. Які типи жорсткості розрізняють?
3. Як визначають жорсткість води?
4. Яка жорсткість природних вод?
5. Охарактеризуйте господарське значення жорсткості води.

## ТЕМА 9

### КИСЛОТНІСТЬ ВОДИ. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА рН ВОДИ

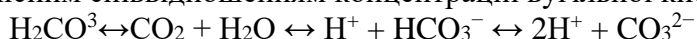
**Мета:** освоїти методи визначення водневого показника рН.

**Матеріали та обладнання:** іономер І-160 М, скляний електрод ЕСЛ-43-07, хлорсрібний електрод ЕВЛ-1М3.1, буферні розчини – стандарт титри, хімічний посуд (склянка) місткістю 100 мл, хлорид калію (х.ч., насичений розчин), кислота хлоридна (0,1 М розчин), фільтрувальний папір, термометр.

#### Теоретичні відомості

Активна реакція води, тобто ступінь її кислотності або лужності, кількісно характеризується концентрацією іонів водню і виражається величиною водневого показника рН. Величина рН води – один з найважливіших показників її якості, від якого залежать хімічні та біологічні процеси у природних водах, розвиток та життєдіяльність водних рослин, агресивна дія води на метали та бетон тощо. Водневий показник рН чисельно дорівнює від'ємному логарифму концентрації водневих іонів у водному розчині:  $pH = -\lg [H^+]$ .

Постійна величина рН забезпечується у природних водах буферною системою, зумовленою розчиною у воді вугільною кислотою і гідрокарбонат-іонами  $HCO_3^-$ . Концентрація іонів водню прямо пропорційна кількості  $H_2CO_3$ , і обернено пропорційна вмісту  $HCO_3^-$ . Отже, водневий показник рН у природних водах визначають в основному кількісним співвідношенням концентрацій вугільної кислоти та її іонів:



Визначення концентрацій водневих іонів здійснюють в межах від 1 до 10-14 мг·екв/дм<sup>3</sup>, що відповідає рН від 0 до 14. При рН = 0-7 вода характеризується як кисле середовище, при рН = 7-14 – як лужне, при рН = 7 – як нейтральне.

Природні води залежно від рН доцільно поділяти на сім груп (табл. 1).

Таблиця 1. Групи природних вод залежно від рН

Група	рН	Примітка
Сильнокислі води	<3	результат гідролізу солей важких металів (шахтні та рудничні води)
Кислі води	3-5	надходження у воду вугільної кислоти, фульвокислот та інших органічних кислот в результаті розкладання органічних речовин
Слабокислі води	5-6,5	присутність гумусових кислот у ґрунті та болотних водах (води лісової зони)
Нейтральні води	6,5-7,5	наявність у водах $Ca(HCO_3)_2$ та $Mg(HCO_3)_2$
Слаболужні води	7,5-8,5	наявність у водах $Ca(HCO_3)_2$ та $Mg(HCO_3)_2$
Лужні води	8,5-9,5	присутність $Na_2CO_3$ або $NaHCO_3$
Сильнолужні води	>9,5	присутність $Na_2CO_3$ або $NaHCO_3$



Кислими є болотні води, які містять гумінові речовини, лужними – підземні води, багаті на карбонати. Значення рН річкової води зазвичай варіює в межах 6,5-8,5; атмосферних опадів – 4,6-6,1; води боліт – 5,5-6,0, морських вод – 7,9-8,3. Підземні води характеризуються більш широким діапазоном значень рН – від 6 до 9. Концентрація іонів водню зазнає сезонних коливань: взимку величина рН для більшості річкових вод становить 6,8-7,4; влітку – 7,4-8,2.

Існує декілька етапів процесу закислення водойм. На першому етапі рН практично не змінюється: іони карбонату встигають повністю нейтралізувати іони  $H^+$ . Так триває доти, доки загальна лужність у водоймі не впаде приблизно у 10 разів до величини менше 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

На другому етапі рН води зазвичай не підіймається вище 5,5 протягом всього року. Про такі водойми говорять як про помірно кислі. На цьому етапі закислення відбуваються значні зміни видового складу живих організмів.

На третьому етапі закислення водойми рН стабілізується на значеннях <5 (зазвичай 4,5), навіть якщо атмосферні опади мають більш високі значення рН. Це пов'язане з присутністю у водоймі та ґрунтовому шарі гумусових речовин і сполук алюмінію.

Для підтримки оптимального рівня кислот та лугів в організмі здоровій людині потрібно пити воду з нейтральним або слаболужним рівнем рН. Згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 рН питної води повинно бути в межах 6,5-8,5.

Вода у басейні повинна відповідати показнику від 7,5 до 8,0 рН. Водневий показник дистильованої води знаходиться в межах рН 5,0-7,0.

Для визначення рН використовують колориметричний і потенціометричний методи [8].

**Колориметричне (візуальне)** визначення проводять за кольором кислотно-лужного індикатора, який додають у пробу у вигляді розчину, або зафіксованого на індикаторному папері. Забарвлення, що виникло, порівнюють із забарвленням стандарту. Для аналізу сильно забрудненої води використовують індикаторні папірці.



Рисунок 1. Визначення кислотності води за допомогою індикаторних папірців (смужок)

Для вимірювання рН використовують аналітичний метод за допомогою спеціального приладу – титратора (рис. 2). Аналіз рН проводять до точки еквівалентності: титрант додається до проби (вручну або автоматично) доти, доки реакція не завершиться. Концентрація аналіту розраховується за витраченою на титрування кількістю титранту на основі співвідношення мас або обсягів реагуючих речовин.



Рисунок 2. Титратор

Результати визначення рН колориметричним методом є наближеними, для більш точного визначення застосовують потенціометричний метод.

**Потенціометричне** визначення рН з скляним електродом ґрунтується на тому, що зміна величини рН на одиницю викликає зміну потенціалу електрода на 58,1 мВ при 20 °С.

Скляний електрод – це трубка з напаяною на конус кулькою із скла. Під час занурювання такого електроду у розчин між поверхнею кульки електроду і розчином відбувається обмін іонами, в результаті якого іони в поверхневих шарах скла замінюються іонами водню, завдяки чому виникає різниця потенціалів, величина якої залежить від активності (концентрації) іонів водню в розчині і його температури.

Скляний іон-селективний електрод виготовляють зі спеціального сорту електропровідного скла у вигляді скляної кульки з порожниною, заповненою розчином НСІ з концентрацією 0,1 моль/л. У цей розчин занурено допоміжний хлорсрібний електрод, що виконує роль зовнішнього виводу скляного електрода для його підключення до однієї з клем приладу, що вимірює значення електричного потенціалу (рис. 3).

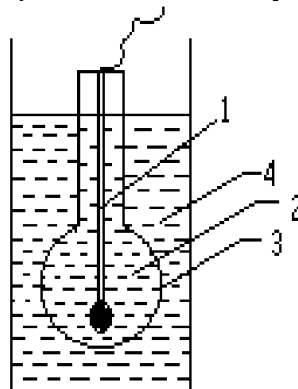


Рисунок 3. Схема скляного електроду

- 1 – внутрішній допоміжний хлорсрібний електрод;
- 2 – 0,1 М розчин НСІ;
- 3 – скляна мембрана (кулька);
- 4 – розчин, що досліджують на вміст іонів Н<sup>+</sup>.

Для перевірки скляного електроду та його калібрування складають гальванічний елемент із скляного та хлорсрібного електродів і експериментально виміряють його електрорушійну силу (Е) в буферних розчинах з відомим значенням рН. Особливість буферних розчинів полягає в тому, що вони здатні залишати сталим рН при їх розведенні або додаванні до них невеликої кількості кислоти або лугу.

Лабораторний рН-метр – електронний прилад, що використовується для вимірювання

активності іонів водню (рівня кислотності або лужності) води і розчинів та вирізняється високою точністю вимірювання (рис. 4).



Рисунок 4. Сучасний рН-метр

Значення рН розчину можна безпосередньо обчислити за величиною потенціалу. По суті, рН-метр складається з вольтметра, який приєднаний до електрода, що реагує на рН, і електрода порівняння (еталонний електрод). Електрод, що реагує на рН, здебільшого виготовлений зі скла, а еталоном зазвичай є срібно-хлористий електрод, хоча іноді використовують електрод з хлориду ртуті. При зануренні двох електродів у розчин, вони діють як акумулятор. Скляний електрод збільшує електричний потенціал (заряд), який безпосередньо пов'язаний з активністю іонів водню в розчині, а вольтметр вимірює різницю потенціалів між скляним та еталонним електродами. рН-метр побудований таким чином, що відображається виміряне значення рН, а не виміряний потенціал. Під час роботи в режимі калібрування деякі моделі лабораторних рН-метрів можуть автоматично розрізняти буферні розчини та самостійно оновлюватись.

Оскільки рН часто змінюється в результаті реакцій, що відбуваються у воді, то рекомендується проводити визначення рН безпосередньо після відбору проби.

Показник кислотності може коливатись, якщо змінюються температурні умови. Електродна система приладу безпосередньо залежить від температури: що більша відмінність температур розчинів, то сильніше це може вплинути на дисоціацію іонів водню. Результати вимірювань будуть неточними. Кислотність буферних систем змінюється також під впливом температурних коливань. Необхідно враховувати цей фактор для того, щоб не було похибок під час проведення вимірювань. Тому при визначенні рН одночасно вимірюють температуру для внесення поправок при значному відхиленні її від 20 °С.

Ручні рН-метри працюють на основі потенціометричного принципу, аналізуючи електрорушійну силу (рис. 5).

У розчин занурюють рН-електрод, який вимірює кислотність. Сьогодні є моделі з точністю рН 0,01 для отримання оптимальних результатів.



Рисунок 5. Ручні рН-метри

### Хід роботи

#### 1. Визначення кислотності води за допомогою індикаторних папірців (смужок).

На упаковці смужок є еталонна шкала порівняння, де кожному значенню величини рН відповідає певне забарвлення – від вишнево-бордового (сильнокисле середовище, рН = 0) до темно-синього (сильнолужне середовище, рН = 14). Щоб визначити кислотність води, треба за допомогою лабораторної піпетки нанести одну краплю на індикаторну смужку. Можна просто занурити кінчик смужки у воду. Після чого швидко порівняйте забарвлення з еталонною шкалою. Смужка не змінить колір тільки в тому випадку, коли рН води близький до нейтрального показника (7,0).

#### 2. Визначення кислотності води потенціометричним методом.

Підготовку електродів до роботи здійснюють згідно з правилами, наведеними в паспортах до електродів.

Буферні розчини – стандарт титри:

- 0,05 м розчин гідрофталату калію ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ), рН= 4,01;
- 0,025 м розчин дигідрофосфату калію та 0,025 м розчин гідрофосфату натрію ( $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), рН=6,86;
- 0,01 м розчин тетраборату натрію ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), рН=9,18.

Готувати буферні розчини необхідно на звільненій від вуглекислоти дистильованій воді. Буферні розчини зберігають у герметичному скляному або поліетиленовому посуді. Термін зберігання фосфатного буферу – 2 місяці, решти – 3 місяці.

Лабораторний іономір І-160 М призначений для прямого і непрямого потенціометричного вимірювання активності іонів водню (рХ), активності й концентрації інших одновалентних і двовалентних аніонів і катіонів (рХ), окисно-відновних потенціалів (Еh) і температури у водних розчинах з поданням результатів у цифровій формі й у вигляді аналогового сигналу напруги постійного струму. За допомогою цього іономіру, використовуючи різні іон-селективні електроди, можна визначати вміст багатьох іонів, наприклад  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  тощо.

При визначенні рН досліджуваної води прямою потенціометрією, за допомогою іономіру І-160 М можна діяти двома способами:

1. Для декількох буферних розчинів з відомими значеннями рН вимірюють Е і будують градувальний графік у координатах Е – рН. Далі вимірюють Е проби води, що аналізують, і за градувальним графіком знаходять рН.

2. При масових визначеннях достатньо надійно відкалібрувати прилад за двома буферними розчинами з відомими значеннями рН і потім одразу визначити рН

досліджуваної води.

Визначення рН води проводять одразу після відбору проби для запобігання хімічних і біохімічних процесів, що можуть привести до суттєвої зміни рН води.

Для визначення рН використовують гальванічний елемент, який складають з індикаторного скляного електрода (ЕСЛ –43–07), потенціал якого є функцією концентрації іонів  $H^+$  у розчині, та електрода порівняння (хлоридсрібний ЕВЛ-1МЗ.1), потенціал якого є сталим і не залежить від концентрації іонів  $H^+$ .

Для налаштування використовують три контрольних буферних розчина з відомими значеннями рН. При цьому доцільно вибирати буферні розчини з рН близьким до рН досліджуваної води.

Перед кожним занурюванням електродів у буферний розчин або пробу води обов'язково необхідно робочі частини електродів промити дистильованою водою, а залишки крапель води обережно видалити (без тертя) фільтрувальним папером.

Пробу необхідно попередньо ретельно перемішати, щоб її склад безпосередньо біля поверхні електрода відповідав її загальному складу. Одночасно з електродами в пробу занурюють термометр для визначення температури і для внесення необхідних поправок. Вимірювану величину потенціалу отримують у мілівольтах або безпосередньо в одиницях рН, що зумовлено типом приладу, який застосовується.

Отриманий результат заокруглюють до 0,05-0,1 одиниці рН залежно від точності приладу, на якому проводилось дослідження.

### ***Питання для самоконтролю знань***

1. Що означає показник рН?
2. Яке значення має показник кислотності для якості вод?
3. Назвіть групи природних вод залежно від рН.
4. Як відбувається закислення водойм?
5. Охарактеризуйте методи визначення рН.

## **ТЕМА 10**

### **ОКИСНО-ВІДНОВНИЙ ПОТЕНЦІАЛУ ВОДИ: БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ**

**Мета:** освоїти поняття окисно-відновного потенціалу води, його значення для якості води, навчитись визначати ОВП та інтерпретувати отримані результати.

**Матеріали та обладнання:** лабораторні склянки, ОВП-метр.

#### **Теоретичні відомості**

Окисно-відновні реакції – це процеси, що забезпечують життєдіяльність будь-якого живого організму. Одні речовини віддають електрони і окислюються, набуваючи при цьому позитивний заряд, інші речовини приймають електрони і заряджаються негативно, тобто відбувається процес відновлення. **Окисно-відновний потенціал (ОВП)** – це і є різниця електричних потенціалів між цими речовинами. Енергія, що виділяється в ході цих реакцій, витрачається на підтримання гомеостазу (стану внутрішньої динамічної рівноваги) і регенерацію клітин організму, тобто на забезпечення процесів життєдіяльності організму відповідно в сьогоденні і майбутньому. Кисень володіє найбільшою окисною здатністю, а водень – відновною.

ОВП питної води особливо важливий для нас показник. Активність електронів в організмі людини набагато вище, ніж активність їх у питній воді.

У природній воді значення  $E_h$  коливається від – 400 до +700 мВ, визначається всією сукупністю у ній окисно-відновних процесів.

Природна вода з від'ємним окисно-відновним потенціалом, яку людина повинна вживати за своєю природою, фізіологією, набутою за багато років, зміцнює захисні сили організму і функції життєво-важливих органів людини. Під час очищення і транспортування питна вода втрачає свої важливі гідробіологічні властивості.

Окисно-відновний потенціал ОВП (RedOx – Reduction/Oxidation) є одним з найважливіших показників якості води. Характеризує здатність води обмінюватися електронами з зовнішнім середовищем. Вода може їх віддавати або приймати.

Позитивний ОВП означає, що вода має підвищену здатність приймати електрони ззовні (окисний потенціал), а негативний – віддавати (відновний потенціал).

Одиниця виміру – мілівольт (мВ). Питна вода, отримана методом електролізу, і одна з її різновидів – жива вода завжди мають негативний ОВП (віддає електрони тип води, донор електронів).

У деяких літературних джерелах норма ОВП для питної води +60 мВ (як показник якості очищення води). Вимірюване значення ОВП для питної води з водогону, бутильованої, тощо сягає – від +100 мВ до +400 мВ.

Значення ОВП живої здорової клітини нашого організму варіює навколо –100 мВ. Бутельована вода або вода з-під крану має позитивні значення ОВП, тобто не є біологічно активною. *Загальновідомі дослідження Прилуцького та Бахіра, коли кількість тих, хто вижив після смертельної дози опромінення мишей зростала від 7 % до 95 %, у випадку, коли їм давали воду з ОВП –450 мВ.*

У нормі ОВП внутрішнього середовища організму людини (вимірюваний на платиновому електроді відносно хлорсрібного електроду порівняння) зазвичай знаходиться в межах від +100 до –200 мілівольт (мВ), тобто внутрішні середовища людського організму знаходяться у відновленому стані. ОВП звичайної питної води (водопровідна вода, питна вода в пляшках тощо), який вимірюється таким же способом, практично завжди більше нуля і зазвичай знаходиться в межах від +200 до +300 мВ. ОВП водних джерел, де поруч мешкає велика кількість довгожителів, від **+100мВ до –200мВ. Це значення показника вищої якості питної води!**

Відмінності ОВП внутрішнього середовища організму людини і питної води означають, що активність електронів у внутрішньому середовищі організму людини набагато вище, ніж активність електронів у питній воді. Якщо надходить в організм питна вода має ОВП близький до значення ОВП внутрішнього середовища організму людини, то електрична енергія клітинних мембран (життєва енергія організму) не витрачається на корекцію активності електронів води і вода одразу ж засвоюється, оскільки володіє біологічною сумісністю за цим параметром.

Активність електронів є найважливішою характеристикою внутрішнього середовища організму, оскільки безпосередньо пов'язана з фундаментальними процесами життєдіяльності. Практично всі біологічно важливі системи, що визначають акумуляцію і споживання енергії, реплікацію і передачу спадкових ознак, всілякі ферментативні системи організму, містять молекулярні структури з розділеними зарядами. Дослідження останніх років дозволили встановити, що саме ці поля значною мірою визначають перенесення зарядів в біологічних системах і обумовлюють селективність і автоконтроль окремих стадій складних біохімічних перетворень, і що ОВП, як показник активності електронів, значно впливає на функціональні властивості електроактивних компонентів біологічних систем. Розбалансування механізмів регуляції окисно-відновних процесів, що відбуваються в людському організмі, нині розглядається як найважливіша причина виникнення багатьох хвороб людини.

Для того, щоб організм оптимальним чином використовував в обмінних процесах питну воду, її ОВП повинен відповідати значенню ОВП внутрішнього середовища організму. Необхідна зміна ОВП води в організмі відбувається за рахунок витрати електричної енергії клітинних мембран, тобто енергії найвищого рівня, енергії, яка фактично є кінцевим продуктом біохімічного ланцюга трансформації поживних речовин. Кількість енергії, що витрачається організмом на досягнення біосумісності води, пропорційно її кількості й різниці ОВП води та внутрішнього середовища організму.

Якщо надходить в організм питна вода має ОВП близький до значення ОВП внутрішнього середовища організму людини, то електрична енергія клітинних мембран (життєва енергія організму) не витрачається на корекцію активності електронів води і вода одразу ж засвоюється, оскільки володіє біологічною сумісністю за цим параметром. Якщо питна вода має ОВП більш негативний, ніж ОВП внутрішнього середовища організму то вона підживлює його цією енергією, яка використовується клітинами як енергетичний резерв антиоксидантного захисту організму від несприятливого впливу зовнішнього середовища, тобто має лікувальні властивості.

Протягом життя людина піддається впливу різних шкідливих зовнішніх факторів – погана якість довкілля, неправильне і часто неякісне харчування, вживання неякісної питної води, стресові ситуації, куріння, зловживання алкоголем, вживання лікарських препаратів, хвороби і багато іншого. Всі ці фактори сприяють руйнуванню окисно-відновної системи регуляції організму, в результаті чого процеси окислення починають переважати над процесами відновлення, захисні сили організму і функції життєво важливих органів людини починають слабшати і вже не в змозі самостійно протистояти різного роду захворювань. Уповільнити переважання окисних процесів над відновними процесами можливо за допомогою антиокислювачів (антиоксидантів). Нормалізувати баланс окисно-відновної системи регуляції (з тим, щоб зміцнити захисні сили організму і функції життєво важливих органів людини і дозволити організму самостійно протистояти різного роду захворювань) можливо за допомогою антиоксидантів. Чим сильніше антиоксидант, тим більш відчутний його протидії окисний ефект.

Жива вода або вода з негативним ОВП за рахунок своїх відновлювальних властивостей нормалізує окисно-відновний баланс в організмі і тим самим:

- нормалізує мікрофлору шлунково-кишкового тракту шляхом стимулювання зростання власної нормальної мікрофлори (біфідобактерій і лактобацил) і придушення патогенної і умовно-патогенної мікрофлори;
- пригнічує кандидоз (молочницю) у шлунково-кишковому тракті і слизових;
- відновлює та активізує імунну систему у людей з ослабленим імунітетом;
- відновлює детоксикаційні функції печінки;
- має гепатопротекторні, ранозагоювальні та протизапальні властивості;
- володіє високими противірусними та віруліцидними властивостями.

За даними іноземних наукових публікацій, крім перерахованих вище властивостей, вода з негативним окисно-відновним потенціалом стимулює процеси росту, фізіологічної та репаративної регенерації; нормалізує обмін речовин; є загальнозміцнюючим засобом при перевтомі, астеничних станах і для ослаблених хворих; має низку інших корисних для людини властивостей.

Сучасним інструментом для визначення окисно-відновного потенціалу у воді, слабких розчинах солей, кислот і лугів є ОВП-метр (рис. 1).



Рисунок 1. Сучасні ОВП-метри

ОВП-метри – це прилади, спеціально створені для вимірювання окисно-відновного потенціалу рідин: кислот і лугів, слабких водних розчинів солей і води.

Принцип дії приладів заснований на вимірюванні електричного потенціалу речовин на платиновому електроді відносно хлорсрібного електрода порівняння, зміна якого відбувається в ході окислювально-відновних реакцій.

ОВП-метри застосовуються для того, щоб провести вимірювання якості води. Сьогодні у всьому світі ці прилади незамінні для визначення придатності питної води, зокрема в акваріумах і басейнах.

Сучасні ОВП-метри підходять не тільки для професійного, але і домашнього використання. На сьогодні є модифікації, що поєднують відразу кілька функцій різних приладів: рН-метра та ОВП-метра, а завдяки тому, що електрод є змінним, його легко замінити у разі потреби. Дані виводяться на зручний цифровий дисплей із підсвічуванням. При акуратному використанні сучасні ОВП-метри можуть служити багато років. Як правило, такі прилади мають вологостійкий корпус, що захищає електроніку від пошкоджень.

Показник ОВП, який є якісним показником води, не враховується у нормативних документах і відсутній у нормативних стандартах, зокрема і у американських стандартах, де, на відміну від інших, є показники саме якості, а не тільки безпечності води.

### Хід роботи

#### Визначення окисно-відновного потенціалу набору рідин.

Студенти попередньо готують різні варіанти рідин для визначення їх ОВП. Пропонується підготувати зразки: вода водопровідна, дистильована, тала, дощова, вода з автомату продажу питної води, вода з криниці або джерела, мінеральна вода («Моршинська», «Поляна квасова» тощо), чай зелений, морквяний сік. Рідини налити у лабораторні склянки та пронумерувати.

Ознайомитись з інструкцією до наявного в лабораторії ОВП-метра, пересвідчитись у його справності (наявність елементів живлення та рівень їх заряду).

За допомогою лабораторного ОВП-метра необхідно визначити окисно-відновний потенціал рідин, зробити висновки про їх якість та корисність споживання. Результати дослідження відобразити в таблиці за зразком (табл. 1).

Таблиця 1. Зведена таблиця результатів вимірювання окисно-відновного потенціалу

Номер зразка	Тип рідини	Показник ОВП, мВ	ОВП питної води вищої якості, мВ	Порівняльний аналіз, висновок про якість та корисність споживання
1	Водопровідна вода		+100...-200	
2	Вода з автомату продажу питної води			
3	Дистильована вода			



4	Тала вода			
5	Дощова вода			
6	Вода з криниці (джерела)			
7	Вода з озера Кунігунда (м. Солотвино)			
8	Мінеральна вода «Морщинська»			
9	Мінеральна вода «Поляна квасова»			
10	Зелений чай			
11	Морквяний сік			

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Поясніть значення окисно-відновних реакцій для живого світу.
2. Що таке окисно-відновний потенціал води?
3. Як відрізняється ОВП різних природних вод?
4. Обґрунтуйте значення ОВП води для її якості.
5. Який принцип та методика визначення ОВП води?

## ТЕМА 11

### КИСЕНЬ У ВОДІ. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ РОЗЧИНЕНОГО КИСНЮ У ВОДІ

**Мета:** ознайомлення із принципами, методами визначення концентрації розчиненого кисню і оволодіння методикою йодометричного визначення за Вінклером.

**Матеріали та обладнання:** склянки з притертими корками ємністю 100-300 см<sup>3</sup>; термостат, встановлений на 20±1 °С; сушильна шафа; рН-метр; сифон; піпетки з одною поділкою місткістю 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup>; циліндри місткістю 50 см<sup>3</sup>; колби 100, 250 та 1000 см<sup>3</sup>; розчин марганцю (II) сірчаноокислого; хлорид марганцю; соляна кислота; розчин гідроксиду калію; розчини гідроксиду натрію; розчин калію двохромовоокислого 0,01 н; 15 % розчин йодиду калію; крохмаль; 0,5 % індикаторний розчин; розчин тіосульфату натрію 0,01 н.

### Теоретичні відомості

Завдяки своїм фізичним і хімічним властивостям вода здатна бути сильним розчинником. У ній можуть розчинятися органічні й неорганічні солі, а також більшість газів. В одному літрі води при 20 °С може розчинитися 31 мл кисню. Чим вища температура, тим нижча розчинність кисню у воді, і навпаки. З цієї причини вода після кип'ятіння практично позбавлена будь-яких розчинених газоподібних речовин.

У літрі звичайної водопровідної води міститься 2,5-3,5 мл кисню, в чистих річках його вміст може досягати 20 мл, а в забруднених стоках водоймах кисень може бути й відсутнім.

Кисень є одним з найважливіших розчинених газів, які постійно присутні у поверхневих водах. Концентрація розчиненого у воді кисню слугує своєрідним індикатором екологічного стану будь-якої водойми, оскільки достатня його кількість чи дефіцит істотно впливає на життєдіяльність багатьох груп гідробіонтів, а також на інтенсивність та спрямованість процесів окиснення-відновлення.

Вміст кисню у воді зменшується внаслідок його використання на процеси окиснення органічних речовин (дихання організмів, витрати кисню при розкладанні органічних речовин, окиснення  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $NO_2^-$  та  $NH_4^+$ ). Його вміст впливає на якість води завдяки інтенсифікації процесів самоочищення, фізико-хімічної трансформації й гідробіологічного колообігу речовин.

При нормальній насиченості води киснем у водоймі домінують процеси окиснення та переважає самоочищення водного середовища від забруднюючих речовин. Інтенсивність самоочищення зменшується, коли вміст кисню у воді не перевищує 7,0-8,0 мг/дм<sup>3</sup>, а за концентрації розчиненого кисню менше ніж 5,0 мг/дм<sup>3</sup> відбувається значне уповільнення бактеріальної деструкції органічних речовин. Крім того, розчинений кисень може витрачатись на окиснення надлишку забруднюючих речовин, які надходять зі стоками, що посилює дефіцит кисню.

Дефіцит кисню найчастіше спостерігається у водних об'єктах з високими концентраціями забруднюючих речовин та в евтрофікованих водоймах, які містять значну кількість біогенних та гумусових речовин.

Відносний вміст кисню у воді, виражений у відсотках його нормального вмісту (розчинності), називають *ступенем насичення киснем*.

Розчинений у воді кисень знаходиться у вигляді гідратованих молекул  $O_2$ . Його вміст залежить від температури, атмосферного тиску, ступеня турбулізації води, кількості опадів, мінералізації води тощо. При кожному значенні температури існує рівноважна концентрація кисню, яку можна визначити за спеціальними довідковими таблицями, складеними для нормального атмосферного тиску. Ступінь насичення води киснем, відповідна рівноважної концентрації, приймається рівною 100%. Розчинність кисню зростає зі зменшенням температури і мінералізації і зі збільшенням атмосферного тиску.

Показник розчиненого кисню для питної води не нормується ніде у світі, оскільки, по-перше, він не впливає на її якість, а, по-друге, не несе важливої непрямої інформації.

Що стосується природних водойм, в такому разі вміст розчиненого кисню у воді відіграє важливу роль, фактично являє собою оцінку життєздатності флори й фауни водойми.

Вода насичується киснем, контактуючи з атмосферою і наповнюючись природними опадами, які завжди містять більше газів, а також в процесі фотосинтезу водоростей (продуцентів) всередині водойми. Знижується ж рівень кисню в процесах гниття, розкладання органічних продуктів, розмноження водоростей (заростання водойм).

У свердловинних водах, незалежно від горизонту, кисню практично немає, відповідно немає й аеробних мікроорганізмів. Зате є розчинне двовалентне залізо, яке при потраплянні на повітря схильне досить швидко окиснюватися до нерозчинного тривалентного.

У питній воді живих бактерій бути не повинно, інших живих організмів теж. Тому визначення кисню у воді для пиття не несе будь-якої змістової навантаженості.

Розчинений кисень є дуже нестійким компонентом хімічного складу вод. При його визначенні особливо ретельно необхідно проводити відбір проб: уникати контакту води з повітрям до фіксації кисню (зв'язування його в нерозчинні сполуки).

Контроль вмісту кисню у воді – надзвичайно важлива проблема, у вирішенні якої зацікавлені практично всі галузі народного господарства, включаючи чорну та кольорову металургію, хімічну промисловість, сільське господарство, медицину, біологію, харчову промисловість, служби охорони навколишнього середовища. Його вміст визначають як в незабруднених природних водах, так і у стічних водах після очищення. Процеси очищення стічних вод завжди супроводжуються контролем вмісту кисню. Визначення розчиненого кисню є частиною аналізу при визначенні іншого важливого показника якості води –

біохімічного споживання кисню (БСК).

Особливо важливий контроль вмісту кисню у воді для суб'єктів рибогосподарського промислу, тому що розчинений кисень – один з найважливіших показників якості води. Знижене насичення води киснем (наприклад, взимку коли поверхня водоймища покрита льодом, а в присадибних ставках – при недостатній аерації) згубно позначається на здоров'ї і поведінці риб. Знижена концентрація кисню також може вказувати на те, що у воді активно протікають гнильні процеси.

В ідеалі насичення повинне складати 70-100 % (до 8 мл/л). При значеннях менше 60-70 % більшість видів риб починають задихатися. Можливі випадки, коли насичення кисню досягає 200 %, що приводить до інтоксикації риб. Причиною цього може стати надмірна аерація, активний вступ у водоймище свіжої води (наприклад, зі зливою) або бурхливе зростання водоростей.

Підтримка постійного рівня розчиненого кисню має вирішальне значення для процвітання водних організмів. Наприклад, якщо рівень розчиненого кисню занадто високий, риба, що живе у водоймі, може страждати від «газопухирцевої хвороби», при якій крихітні бульбашки утворюються в зябрах, очах і плавниках тварин. Тривале зараження цією хворобою може пошкодити тканини риби настільки, що призведе до летального результату. З іншого боку, якщо рівень розчиненого кисню падає занадто низько, утворюються «мертві зони», де водні рослини та тварини більше не можуть вижити. Виконання аналізів на вміст розчиненого кисню може допомогти скласти план дій для створення здорового водного середовища.

Є три основні методи, які використовуються для проведення аналізу на вміст розчиненого кисню, і можуть бути виконані в польових умовах або в лабораторії.

**Сенсорний (електроаналітичний) метод** є найпопулярнішим методом вимірювання розчиненого кисню, що передбачає використання вимірювачів і датчиків розчиненого кисню. Деякі датчики мають аналоговий вихід для швидкої реєстрації даних для подальшого аналізу, а інші можуть бути призначені для перебування у воді, щоб записувати дані протягом тривалого періоду часу. Двома основними типами датчиків розчиненого кисню є оптичні датчики (використовують світло та люмінесцентні барвники для вимірювання рівнів розчиненого кисню) та електрохімічні датчики (використовують електроди та розчин електроліту для вимірювання рівня кисню у воді).

Найпростішим є використання спеціальних приладів киснемірів (оксиметрів).

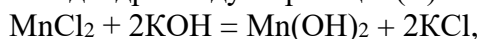


Рисунок 1. Портативні прилади для визначення концентрації розчиненого кисню у воді (оксиметри)

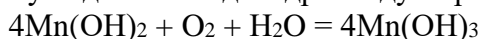
Вимірювання концентрації розчиненого кисню у воді відбувається наступним чином. Конструкція електрода – це електролітичний елемент, корпус якого заповнений електролітом, в який опускають два електроди – анод і катод. Область, яка наповнена електролітом, обмежена від дослідного середовища поліетиленовою або тefлоновою мембраною, яка пропускає тільки молекули кисню, що в свою чергу фіксується і виводиться на дисплей оксиметра у вигляді електричного вихідного сигналу.

**Колориметрія** – це швидкий, простий і недорогий спосіб попереднього визначення вмісту розчиненого кисню. Для вимірювання розчиненого кисню використовуються хімічні речовини та рівень забарвлення, який утворюється. Аналіз проводять за допомогою методу індигокарміну або родазину D. Однак додаткові елементи у воді та зовнішні фактори, такі як температура, тиск і каламутність, можуть вплинути на точність результату. Крім того, колориметрія чутлива до часу: результати аналізуються протягом 30 секунд після змішування реагенту.

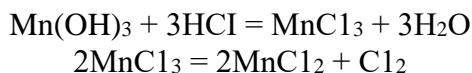
Найвідоміший **титриметричний метод** для визначення розчиненого кисню – **йодометричний метод за Вінклером**. Визначення вмісту у воді кисню ґрунтується на реакції розчиненого кисню з гідроксидом марганцю (II) та йодометричному визначенні утворених вищих за ступенем окиснення сполук. До досліджуваної води додають хлорид марганцю і луг, щоб отримати осад гідроксиду марганцю (II):



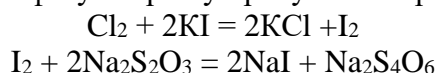
який окислюється розчиненим у воді киснем до гідроксиду марганцю (III):



Кількість гідроксиду, що утворилася, залежить від концентрації розчиненого у воді кисню. Потім гідроксид марганцю (III) переводять у еквівалентну кількість йоду, який легко і з достатньою точністю визначають титруванням. Для цього осад  $4\text{Mn(OH)}_3$  розчиняють у соляній кислоті з утворенням хлориду марганцю (III), який легко розкладається на хлорид марганцю (II) і хлор:



Кількість хлору, що утворилася, еквівалентна кількості гідроксиду марганцю (III) і, відповідно, кількості розчиненого у воді кисню. Кількість хлору визначають йодометрією: до досліджуваного розчину додають йодид калію; хлор витісняє із йодиду калію йод, який відтитрують розчином тіосульфату натрію у присутності крохмалю:



## Хід роботи

### 1. Приготування реактивів:

- **розчин гідроксиду натрію з концентрацією 1 моль/дм<sup>3</sup>**. Розчиняють 40 г гідроксиду натрію в 1 дм<sup>3</sup> дистильованої води;

- **15 % розчин йодиду калію**. Розчиняють 15 г KI ч.д.а. у дистильованій воді, додають 1 см<sup>3</sup> NaOH з концентрацією 1 моль/дм<sup>3</sup> і доводять дистильованою водою до 100 см<sup>3</sup>;

- **розчин дихромату калію 0,01 н**. Розчиняють 2,45 г K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> у дистильованій воді та доводять об'єм до 1 дм<sup>3</sup>;

- **крохмаль, 0,5 % індикаторний розчин**. Змішують 5 г крохмалю з 50 см<sup>3</sup> дистильованої води і вливають у 950 см<sup>3</sup> дистильованої води, що кипить.

- **концентрована соляна кислота**;

- **розчин гідроксиду калію та йодиду калію**. Розчиняють 700 г KOH і 150 г KI у 700 см<sup>3</sup> дистильованої води, доводять об'єм до 1 дм<sup>3</sup> дистильованою водою;

- **розчин гідроксиду калію**. Розчиняють 700 г KOH в 700 см<sup>3</sup> дистильованої води, доводять до 1 дм<sup>3</sup> дистильованою водою;

- **розчин марганцю (II) сірчаноокислого**. Розчиняють 400 г MnSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (або 480 г

MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O чи 364 г MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) в дистильованій воді, фільтрують через паперовий фільтр і доводять об'єм до 1 дм<sup>3</sup> дистильованою водою;

- **хлорид марганцю.** 425 г MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм до 1 дм<sup>3</sup>;

- **розчин тіосульфату натрію 0,01н.** Розчиняють 2,5 г тіосульфату натрію Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O ч.д.а. у кип'яченій і охолодженій воді, додають 0,2 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ч.д.а. і доводять об'єм до 1 дм<sup>3</sup>.

Для точного встановлення концентрації у колбу об'ємом 250 см<sup>3</sup> вливають 100 см<sup>3</sup> дистильованої води, додають 10 см<sup>3</sup> 15 %-го розчину KI, 5 см<sup>3</sup> розбавленої (1:4) сірчаної кислоти і 10 см<sup>3</sup> 0,01н розчину дихромату калію. Після перемішування розчин відстоюють 5 хвилин у темряві і потім титрують розчином тіосульфату натрію до світло-жовтого забарвлення, додають 1-2 см<sup>3</sup> розчину крохмалю (як індикатор) і продовжують титрувати до зникнення синього забарвлення.

Розраховують коефіцієнт реальної полярності тіосульфату натрію по відношенню до 0,01н за формулою:

$$k = a/10,$$

де а – об'єм розчину тіосульфату натрію, витрачений на титрування, см<sup>3</sup>.

## 2. Визначення концентрації розчиненого кисню за Вінклером.

У кисневу склянку, заповнену доверху досліджуваною водою, вводять піпеткою 2 см<sup>3</sup> розчину марганцю сірчаноокислого: занурюють наповнену розчином піпетку до дна кисневої склянки, відтуляють верхній кінець і піпетку повільно виймають. Другою піпеткою додають 2 см<sup>3</sup> лужного розчину йодиду калію, виливаючи його під рівень води. Потім склянку обережно закривають пробкою так, щоб у склянці не лишилось повітря. Закриту пробкою склянку 40 разів перевертають догори дном для ретельного перемішування. Тоді відстоюють 10-15 хвилин до утворення пластівцевого осаду на дні склянки, відкривають склянку і додають 1 см<sup>3</sup> концентрованої соляної кислоти. Кисневу склянку знов закривають і перемішують її вміст, перевертаючи кілька разів догори дном. Якщо був використаний розчин гідроксиду калію без йодиду калію, додають 2 см<sup>3</sup> розчину калію йодистого та ополіскують кисневу склянку дистильованою водою.

Після розчинення осаду, воду із склянки переливають у циліндр місткістю 100 см<sup>3</sup>, а потім у колбу для титрування. Через 5 хвилин йод титрують розчином тіосульфату натрію до світло-жовтого забарвлення. Додають 1 см<sup>3</sup> розчину крохмалю і продовжують титрування до знебарвлення.

Вміст розчиненого кисню C(O<sub>2</sub>), мг/дм<sup>3</sup>, обчислюють за формулою:

$$C(O_2) = \frac{a \cdot k \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V},$$

де а – об'єм розчину тіосульфату натрію, витраченого на титрування, см<sup>3</sup>;

V – об'єм проби води, см<sup>3</sup>;

k – коефіцієнт поправки до нормальності титрованого розчину тіосульфату натрію для досягнення 0,01 н;

N – концентрація (нормальність) розчину тіосульфату;

8 – еквівалент кисню.

Насичення розчиненим киснем обчислюють за формулою (%):

$$O_2 = (a \cdot 100 \cdot 760) / (N p),$$

де а – кількість кисню у мг/дм<sup>3</sup>, визначена за аналізом;

N – нормальна концентрація кисню за даної температури, мінералізації й тиску 760 мм рт. ст. (табл. 1);

p – тиск атмосфери даної місцевості.

Таблиця 1. Рівноважні концентрації розчиненого кисню у воді при атмосферному тиску 760 мм рт. ст.

Т °С	Концентрації розчиненого кисню (мг/дм <sup>3</sup> ) при зміні температури									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2	13,86	13,82	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17
4	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,52	12,59	12,56	12,53	12,49
6	12,46	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12,21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11,96	11,93	11,90	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,30
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	11,82	10,80	10,77
12	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13	10,50	10,48	10,45	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,08	10,06
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,40	9,38	9,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	9,90	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,11	8,08	8,07	8,05	8,04
26	8,02	8,01	7,99	7,98	7,96	7,95	7,93	7,92	7,90	7,89
27	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,80	7,78	7,77	7,75	7,74
28	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7,51	7,49	7,48	7,47	7,45
30	7,44	7,42	7,41	7,40	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31

**Питання для самоконтролю знань**

1. Яка роль кисню у поверхневих водах?
2. Що таке ступінь насичення води киснем?
3. Яке господарське значення розчиненого у воді кисню?
4. Розкрийте особливості визначення вмісту кисню у воді.
5. Які прилади використовують для визначення вмісту кисню у воді?

## БІОХІМІЧНЕ СПОЖИВАННЯ КИСНЮ. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ

**Мета:** оволодіти методикою визначення біохімічного споживання кисню, принципами оцінки якості води та ступеня її забрудненості.

**Матеріали та обладнання:** ті самі, що й для визначення вмісту розчиненого кисню у воді – склянки з притертою пробкою, ємністю 100-300 см<sup>3</sup>, термостат, встановлений на 20±1°C, сушильна шафа, рН-метр, сифон, піпетки з одною поділкою місткістю 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup>, циліндри місткістю 50 см<sup>3</sup>, колби 100, 250 та 1000 см<sup>3</sup>, розчин марганцю (II) сірчаноокислого, хлорид марганцю, соляна кислота, розчин гідроксиду калію та йодиду калію, розчини гідроксиду калію, натрію, розчин калію двохромовокислого 0,01 н, 15 % розчин йодиду калію, крохмаль, 0,5 % індикаторний розчин, розчин тіосульфату натрію 0,01 н.

## Теоретичні відомості

Кількість кисню у міліграмах, витрачена за певний проміжок часу на аеробне біохімічне розкладення органічних речовин, що містяться в 1 дм<sup>3</sup> досліджуваної води, називається *біохімічним споживанням кисню* (БСК). Це основний показник ступеня забрудненості води органічними речовинами.

Органічні речовини у водоймі піддаються біологічному розпаду (мінералізації), що супроводжується споживанням розчиненого кисню і може призвести до повного його зникнення і виникнення анаеробних умов. Цей процес, який призводить до мінералізації органіки, зумовлений діяльністю бактерій, що містяться і в стічній воді, і у воді водойми.

Разом з органічними речовинами побутових стічних вод у водойму надходить велика кількість сапрофітних і патогенних бактерій, тому концентрація органічних речовин посередньо вказує на бактеріальне забруднення водойм і цим характеризується санітарне значення показника БСК.

Кисень використовується водними організмами для кисневого розкладання органічних речовин, що надходять у воду, для свого росту, розмноження і створення біомаси. Величина біохімічного споживання кисню залежить від наявності і водоймі великої кількості органічних забруднювачів. Основними джерелами забруднення поверхневих вод органічними речовинами є поверхневий стік часточок ґрунту із сільськогосподарських угідь внаслідок ерозійного змиву, стоки органічних відходів тваринницьких комплексів, промислові стічні води переробної галузі, комунальне господарство населених пунктів. Зростання показника БСК призводить до дефіциту розчиненого кисню.

*Повним біохімічним споживанням кисню* (БСК<sub>повн</sub>) вважають його кількість, потрібну для окиснення органічних домішок до початку процесу нітрифікації. Для побутових стічних вод визначають БСК<sub>20</sub>, вважаючи цю величину близькою до БСК<sub>повн</sub>. Необхідно зазначити, що для деяких органічних речовин біохімічне окиснення може тривати значно довше за 20 діб.

БСК стічної води – це функція, що залежить від часу. Цей показник визначають після *n* днів інкубації (БСК<sub>n</sub>) до появи нітритів у кількості 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Тобто індекс внизу позначки «БСК» вказує на тривалість інкубації. Наприклад, БСК<sub>5</sub> – кількість кисню, спожита за 5 діб інкубації; БСК<sub>20</sub> – те ж, за 20 діб.

У лабораторних умовах поряд з БСК<sub>повн</sub> визначають БСК<sub>5</sub> – *біохімічну потребу у кисні за 5 діб*. У поверхневих водах величини БСК<sub>5</sub> змінюються зазвичай у межах від 0,5 до 4 мг/л і зазнають сезонних та добових коливань.

Сезонні коливання залежать в основному від зміни температури та вихідної концентрації розчиненого кисню. Від температури залежить швидкість процесу споживання кисню, яка збільшується у 2-3 рази при підвищенні температури на 10 °С.

Добові коливання величини БСК<sub>5</sub> також залежать від вихідної концентрації розчиненого кисню, яка може змінюватися протягом доби на 2,5 мг/дм<sup>3</sup> залежно від співвідношення процесів його споживання та продукування.

Для водних об'єктів, забруднених переважно господарсько-побутовими стічними водами, БСК<sub>5</sub> зазвичай становить близько 70 % БСК<sub>повн</sub>.

Визначення БСК<sub>5</sub> у поверхневих водах здійснюють з метою оцінки вмісту біохімічно окиснюваних органічних речовин, умов існування гідробіонтів та як інтегральний показник забрудненості вод. Величину БСК<sub>5</sub> також використовують при контролі ефективності роботи очисних споруд.

Визначення БСК<sub>n</sub> проводиться не пізніше, ніж через 24 години після відбору проби. При неможливості швидкого визначення, зберігають при температурі 3-4 °С в холодильнику. Проби на визначення БСК<sub>n</sub> не консервують.

Визначення показника БСК проводиться за різницею між вмістом кисню до і після інкубації. Концентрація кисню визначається методом об'ємного йодометричного титрування.

Визначення БСК при аналізі поверхневих і стічних вод проводять стандартним методом розбавлення (рис. 1). Діапазон вимірювання БСК<sub>n</sub> без розбавлення становить 3-6 мг/дм<sup>3</sup>. При аналізі проб без розбавлення, залишкова концентрація кисню після п'яти днів інкубації має бути не менше 3 мг/дм<sup>3</sup>. Для більших значень воду розбавляють.



Рисунок 1. Визначення БСК

У дуже забруднених стічних водах на кінець інкубації кисень може зникнути повністю. У таких випадках стічну воду треба розбавити «розбавляючою» водою, взятою у такій кількості, щоб розчиненого кисню в ній з надлишком вистачало для повного окиснення органічних речовин, що містяться у воді. Для розбавлення проб беруть спеціально приготовану воду, яка містить неорганічні поживні речовини в кількості, необхідній для нормального протікання аеробних біохімічних процесів. Розбавлення проби виконують на підставі очікуваної величини БСК<sub>5</sub> відповідно до таблиці 1.

Таблиця 1. Рекомендоване розбавлення проб досліджуваної води при визначенні БСК<sub>5</sub>

Розбавлення R	Об'єм проби в 1 дм <sup>3</sup> суміші, см <sup>3</sup>	Діапазон БСК <sub>5</sub> , що визначається, мг/дм <sup>3</sup>
1	Нерозбавлена проба	0-6
0,5	500	4-12
0,2	200	10-30
од	100	20-60
0,05	50	40-120
0,02	20	100-300
0,01	10	200-600
0,005	5	400-1200
0,002	2	1000-3000
0,001	1	2000-6000



Пробу перед початком визначення насичують киснем повітря до 8-9 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> і інкубують впродовж певного періоду (*n* днів) при температурі 20±1 °С без доступу повітря та світла у повністю заповненій та закоркованій склянці (рис. 2). Під час інкубаційного періоду концентрація кисню може знизитись на 2 мг/дм<sup>3</sup> або більше, але при цьому залишкова концентрація O<sub>2</sub> після всього інкубаційного періоду має бути не менше 3 мг/дм<sup>3</sup>.



Рисунок 2. Кисневі склянки для визначення БСК

Киснева склянка призначена для інкубації проб води при визначенні біохімічного споживання кисню. Це посудина з двома шліфами: внутрішнім – під скляний корок та зовнішнім – під пришліфований скляний ковпак. Принцип дії – теплообмін двох потоків. Усередині посудини пари рідини охолоджуються та конденсуються.

Респірометрична вимірювальна система, основою якої є манометричний датчик, призначена для визначення БСК з нерозбавленими зразками (рис. 3). Можливі діапазони вимірювання БСК – до 4000 мг/л.



Рисунок 3. Манометрична система визначення БСК

Зразок досліджуваної води наливають в скляну пляшку з магнітом на дні. На верхню частину скляної ємності надягають гумове ущільнення з кошиком для луку, після чого закривають склянку кришкою з манометричним датчиком. Склянку ставлять на магнітну мішалку і переносять в термостат. Датчик автоматично почне вимірювання, коли його температура досягне 20 °С. Показники фіксуються щодня упродовж п'яти днів. Вбудована пам'ять зберігає результати 5-денних вимірювань і, як наслідок, немає необхідності проводити заміри щодень. Є модифікації, в яких для запуску вимірювань використовується бездротовий контролер. Результати вимірювань передаються від датчиків на контролер за допомогою інфрачервоного випромінювання. Такі системи вирізняються максимальною простотою, мобільні, забезпечують точність і відтворюваність показників, характеризуються надійною схемою перемішування, що не потребує додаткового обслуговування.

Пробу стічної води та поживного буфера наливають в кожну з шести пляшок, під'єднують флакони до датчиків тиску приладу, вибирають діапазон виміру та інкубують. Постійне перемішування в пляшках забезпечує надходження додаткового кисню до зразка і

збільшує контакт бактерій з їжею. Відповідно, пришвидшується дихання і споживання кисню. Кожна пробовідбірна пляшка підключена до датчика тиску в замкнутій системі. Оскільки бактерії споживають кисень в зразку, тиск у вільному просторі пляшки падає. Ця зміна тиску безпосередньо пов'язано з БСК.

На результат дослідження може впливати наявність різних сполук. Токсичні для мікроорганізмів речовини, наприклад бактерициди, токсичні метали або вільний хлор будуть заважати біохімічному окисленню. Водорості або нітрифікуючі мікроорганізми можуть призвести до штучного завищення результатів.

## Хід роботи

### 1. Приготування необхідних реактивів:

- **вода для розбавлення.** Додають до 1 дм<sup>3</sup> дистильованої води, насиченої при 20 °С киснем повітря, 1 см<sup>3</sup> фосфатного буферного розчину, 1 см<sup>3</sup> розчину сульфату магнію, 1 см<sup>3</sup> розчину хлориду кальцію і 1 см<sup>3</sup> розчину хлориду заліза (III). Воду для розбавлення готують у день її використання.

Чистоту води для розбавлення перевіряють таким чином. Чотири кисневі склянки наповнюють водою для розбавлення: в двох із них визначають кисень в день використання проби («нульовий» день), а в двох інших, які поміщають у термостат разом з досліджуваними пробами, визначають вміст кисню після *n* днів інкубації. Різниця між середньою концентрацією кисню в «нульовій» пробі і в пробі, взятій після *n* днів, не повинна перевищувати 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. При визначенні БСК<sub>*n*</sub> проб, розбавлених водою, величину цього холостого дослідження не віднімають;

- **дистильована вода.** Воду, яка використовується для приготування всіх наведених далі розчинів та води для розбавлення, одержують перегонкою у скляному перегінному апараті. Дистильована вода не повинна містити речовини, які впливають на визначення БСК (особливо мідь), в кількості, більшій 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, цинк – в кількості, що перевищує 1 мг/дм<sup>3</sup>, хлор, хлорамін і органічні речовини. Дистильовану воду, призначену для приготування води для розбавлення, насичують киснем повітря (аерують тривалий час) і зберігають, ретельно захищаючи від будь-якого забруднення. Посуд для цієї води не можна використовувати для інших цілей (навіть для приготування води для розбавлення). Враховуючи робочі умови, доцільно, щоб дистильована вода мала температуру 20 °С;

- **фосфатний буферний розчин, рН 7,2.** Розчин для приготування води для розбавлення: 8,5 г КН<sub>2</sub>РO<sub>4</sub>, 21,75 г К<sub>2</sub>НРO<sub>4</sub>, 33,4 г Na<sub>2</sub>НРO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O і 1,7 г NH<sub>4</sub>Cl розчиняють у дистильованій воді і доводять до 1 дм<sup>3</sup>, (реактиви ч.д.а.);

- **сульфат магнію.** Розчиняють 22,5 г MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O ч.д.а. в дистильованій воді і доводять об'єм до 1 дм<sup>3</sup>;

- **хлорид кальцію.** Розчиняють 27,5 г CaCl<sub>2</sub> безводного ч.д.а. в дистильованій воді і доводять до 1 дм<sup>3</sup>;

- **хлорид заліза (III).** Розчин для приготування води для розбавлення. Розчиняють 0,25 г FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O ч.д.а. в дистильованій воді і доводять до 1 дм<sup>3</sup>.

### 2. Визначення біохімічного споживання кисню.

Підготовлену (розбавлену чи без розбавлення) пробу наливають у посудину. Встановлюють температуру води 20 °С її нагріванням або охолодженням і потім аерують. Наповнюють сифоном 3 кисневі склянки.

Кожну кисневу склянку обполіскують приблизно 30 см<sup>3</sup> підготовленої проби, після цього наповнюють до самого краю так, щоб не з'явилися пухирці. Наповнену кисневу склянку закривають корком так, щоб в середині не залишилося пухирців повітря.

В одній із трьох кисневих склянок відразу визначають кисень C<sub>0</sub>(O<sub>2</sub>). Інші дві кисневі склянки поміщають у термостат і зберігають при 20 °С в темряві протягом *n* днів, після чого визначають в них вміст розчиненого кисню, що залишився C<sub>*n*</sub>(O<sub>2</sub>).

Визначення показника БСК<sub>n</sub> в мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> нерозбавлених проб проводиться за різницею між вмістом кисню до (C<sub>0</sub>(O<sub>2</sub>)) і після *n* діб (C<sub>n</sub>(O<sub>2</sub>)) інкубації:

$$\text{БСК}_n = C_0(\text{O}_2) - C_n(\text{O}_2)$$

Для розбавлених проб БСК<sub>n</sub> обчислюється з врахуванням розбавлення R, тобто об'єму проби в 1 дм<sup>3</sup> суміші проби і води для розбавлення, за формулою:

$$\text{БСК}_n = \frac{C_0(\text{O}_2) - C_n(\text{O}_2)}{R}$$

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Що таке біохімічне споживання кисню? Що показує цей показник?
2. З якою метою визначають показник БСК?
3. Що таке повне біохімічне споживання кисню?
4. Які фактори визначають зміни показника БСК?
5. Охарактеризуйте принципи визначення БСК?

## ТЕМА 13

### ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ АМОНІЙ-ІОНІВ У ВОДІ

**Мета:** вивчити принципи оцінки якості води за співвідношенням концентрацій азотомістких сполук, освоїти методику визначення амоній-іонів у воді.

**Матеріали та обладнання:** фотоелектроколориметр; кювети з товщиною шару 1 і 5 см; терези лабораторні загального призначення з похибкою зважування 0,0002; сушильна шафа; рН-метр; апарат для звичайної перегонки або з водяною парою (апарат Парнаса-Вагнера); центрифуга лабораторна; термостат, встановлений на 20±1 °С; колби мірні місткістю 80, 100, 500, 1000 см<sup>3</sup>; піпетки з поділками на 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup> та піпетки з однією міткою на 5, 10, 25, 50 см<sup>3</sup>; циліндри мірні на 10 см<sup>3</sup>; колби плоскодонні місткістю 500 см<sup>3</sup>; лійки скляні для фільтрування.

### Теоретичні відомості

Азот – це один з найважливіших біогенних (необхідних для життя) елементів. Сполуки азоту знаходяться у поверхневих водах у розчиненому, колоїдному та завислому стані і під впливом багатьох фізико-хімічних і біохімічних процесів можуть переходити з одного стану в інший.

Під загальним азотом розуміють суму мінерального та органічного азоту у природних водах. Сума мінерального азоту – це сума амонійного, нітратного і нітритного азоту.

За наявністю у воді тієї чи іншої сполуки, яка містить азот, можна аналізувати момент забруднення води: наявність у воді аміаку і відсутність нітритів свідчать про недавнє забруднення; наявність у воді аміаку і нітритів – про те, що з моменту забруднення пройшов деякий проміжок часу; відсутність аміаку за наявності нітритів і, особливо, нітратів – що забруднення води відбулося давно, і за цей час вода самоочистилася.

Аміак міститься у воді у вигляді амонійних солей. У поверхневих водах амонійний азот утворюється на першій стадії мінералізації азотовмісних амонійних речовин.

Вміст іонів амонію у природних водах варіює в інтервалі від 0,01 до 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (у перерахунку на азот). Іони амонію з'являються у природних водах головним чином в результаті розкладання білкових сполук, які потрапляють з побутовими стічними водами, а також відходами виробництва. Тому наявність його у воді завжди викликає підозру про її

забруднення побутовими стічними водами.

Основними джерелами надходження іонів амонію у водні об'єкти є тваринницькі ферми, господарсько-побутові стічні води, поверхневий стік із сільгоспугідь у разі застосування амонійних добрив, а також стічні води підприємств харчової, коксохімічної, лісохімічної і хімічної промисловості.

У стоках промислових підприємств міститься до 1 мг/дм<sup>3</sup> амонію, в побутових стоках – 2-7 мг/дм<sup>3</sup>. З господарсько-побутовими стічними водами в каналізаційні системи щодобово надходить до 10 г амонійного азоту на 1 мешканця.

Присутність амонію в концентраціях порядку 1 мг/дм<sup>3</sup> знижує здатність гемоглобіну риб зв'язувати кисень. Ознаками інтоксикації є збудження, судоми, метушіння і вистрибування риби на поверхню. Токсичність амонію зростає із збільшенням рН середовища.

Підвищена концентрація іонів амонію може бути використана як індикаторний показник погіршення санітарного стану водного об'єкта та забруднення поверхневих і підземних вод, насамперед, побутовими та сільськогосподарськими стоками.

Якщо поява у воді азотмістких сполук спричинена розпадом білкових речовин, то така вода є небезпечною у санітарному відношенні, і непридатна до споживання. Наявність аміачного азоту альбуміноїдного походження вказує на забруднення води нечистотами. Іноді у воді є іони амонію неорганічного походження, які з'являються в результаті відновлення нітритів і нітратів. Аміачний азот сольового походження або з гумінових речовин не має санітарного значення. У такому разі вода безпечна в санітарному відношенні.

Постійне вживання води з надмірною концентрацією амонію (аміаку) призводить до цілого ряду захворювань у людини: серйозних порушень в репродуктивній системі; порушень нервової системи; хвороб печінки, нирок і легень; підвищення артеріального тиску; порушень кислотно-лужного балансу.

Згідно з вітчизняними і європейськими стандартами якості, концентрація аміаку і амонію в питній воді не повинна перевищувати: 0,5 мг/л – Україна (ДСанПіН 2.2.4.-171-10, див. додаток А); 0,2 мг/л – ЄС.

Якісною реакцією за допомогою реактиву Неслера можна приблизно визначити вміст аміаку. Для цього в пробірку наливають 10 мл досліджуваної води і додають 5 крапель реактиву. Поява жовтуватого забарвлення свідчить про присутність аміаку. Використовуючи таблицю 1, можна визначити приблизний вміст аміаку у досліджуваній пробі воді (мг/л).

Таблиця 1. Приблизне визначення аміаку у воді

Забарвлення у разі спостереження збоку	Забарвлення у разі спостереження зверху	Вміст NH <sub>3</sub> , мг/л
немає	немає	менше 0,05
немає	дуже слабке	0,1
ледь помітне жовтувате	слабко жовтувате	0,2
слабко жовтувате	жовтувате	0,4
помітно жовтувате	світло-жовтувате	0,8
світло-жовтувате	жовте	2,0
жовте	інтенсивно бурувато-жовте	4,0

На сьогодні можливим є використання тестових наборів для експрес-методів визначення наявності амонійних іонів у воді (рис. 1).

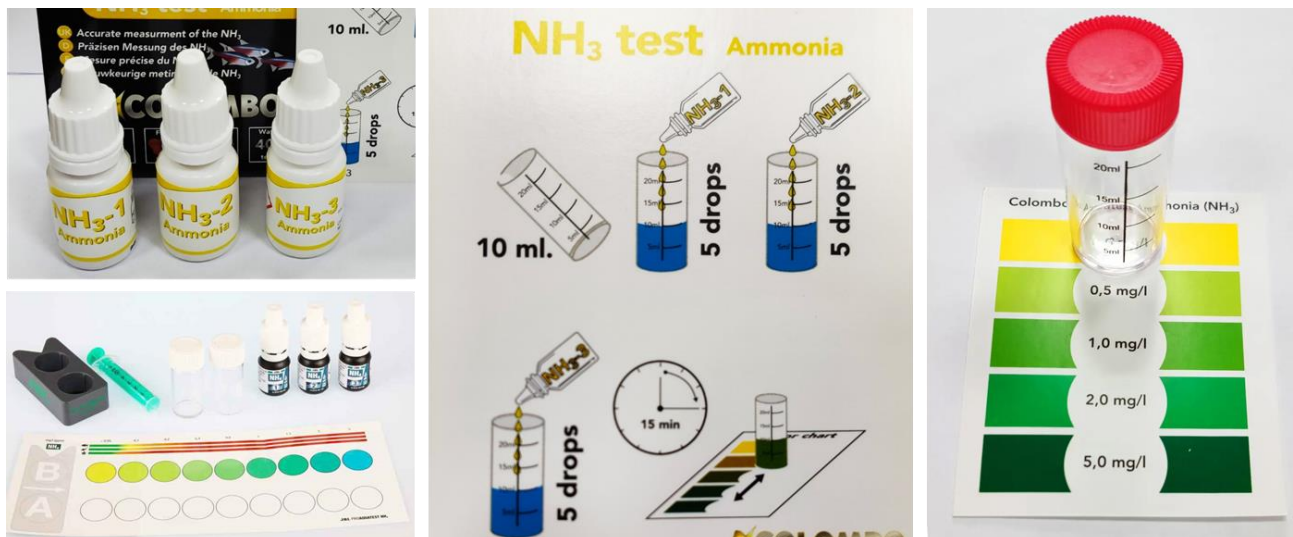


Рисунок 1. Набір для експрес-визначення вмісту амонію у воді

Тестові набори призначені для колориметричного вимірювання та поточного контролю вмісту амонію/аміаку в прісній і морській воді в діапазоні від 0,05 до 5,0 мг/л. Лабораторна комп'ютерна система враховує забарвлення води: скляні кювети наповнюють пробами води, додають реагенти в одну з них, розташовують кювети в комп'ютерному блоці та визначають значення за кольоровою шкалою.

У лабораторних умовах концентрацію у воді амонійного азоту визначають на фотоелектроколориметрі, порівнюючи інтенсивність забарвлення досліджуваної проби води з інтенсивністю забарвлення, досліджуваної проби води з інтенсивністю забарвлення стандартного розчину з відомою концентрацією азоту [17].

**Метод визначення іонів амонію** ґрунтується на взаємодії іонів амонію з тетраїодомеркуроатом калію у лужному середовищі (реагент Несслера  $K_2HgI_4 + KOH$ ) з утворенням коричневої, нерозчинної у воді йодистої солі основи Міллона  $(Hg_2N)I_2 \cdot O$ , яка переходить у колоїдний стан при малому вмісті іонів амонію, та вимірюванні світлопоглинання при  $\lambda = 425$  нм (або з фіолетовим світлофільтром).

Методика дозволяє визначити концентрації амоній-іонів у діапазоні 0,15-5,0 мг/дм<sup>3</sup>. Аналіз виконують в день відбору проб, або пробу консервують додаванням 1 см<sup>3</sup> концентрованої сірчаної кислоти або 2-4 см<sup>3</sup> хлороформу на 1 дм<sup>3</sup>. Консервовану пробу можна зберігати дві доби.

### Хід роботи

#### 1. Приготування необхідних реактивів:

- **бідистилят безаміачний:** дистильовану воду пропускають через катіоніт марок СБС, або КУ-2. Потім повторно переганяють після попереднього підкислення сірчаною кислотою до додавання марганцевокислого калію до інтенсивного малинового забарвлення;

- **реагент Несслера:** розчиняють 100 г  $HgI_2$  ч.д.а. в невеликій кількості бідистиляту і змішують з розчином їдкого натру, приготовленим розчиненням 160 г  $NaOH$  ч.д.а. в 500 см<sup>3</sup> дистильованої води. Суміш доводять бідистилятом до 1 дм<sup>3</sup>. Використовують прозорий розчин після відстоювання протягом не менш 4 годин;

- **сегнетова сіль:** розчиняють 50 г  $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$  ч.д.а. в бідистиляті, розбавляють до 100 см<sup>3</sup> бідистилятом і додають 0,2-0,5 см<sup>3</sup> реактиву Несслера. Розчин можна використовувати після прояснення;

- **трилон Б:** розчиняють 10 г  $NaOH$  ч.д.а. в 60 см<sup>3</sup> бідистиляту і в одержаному розчині розчиняють 50 г комплексу III. Суміш доводять бідистилятом до 100 см<sup>3</sup>;

- **їдкий натр,** ч.д.а., 15 %-ий розчин у бідистиляті;

- **стандартний розчин амонію хлористого:** розчиняють в безаміачній воді 3,819 г

амонію хлористого, висушеного при 105 °С, і доводять об'єм розчину до 1 дм<sup>3</sup>. В 1 см<sup>3</sup> розчину міститься 1 мг амоній-іонів;

- **робочий розчин амонію хлористого:** до 10 см<sup>3</sup> основного розчину додають 990 см<sup>3</sup> бідистилянт безаміачний. В 1 см<sup>3</sup> робочого розчину міститься 0,01 мг амоній-іонів.

**Побудова градувального графіка.** У мірні колби місткістю 100 см<sup>3</sup> вносять 0,0, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, ...10 см<sup>3</sup> робочого стандартного розчину амонію хлористого. Отримані розчини містять відповідно 0,0, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, ...0,1 мг іонів амонію. Потім додають 0,5-1,0 см<sup>3</sup> розчину сегнетової солі або трилону Б, і 1 см<sup>3</sup> реактиву Несслера та безаміачною водою доводять до мітки.

Суміш перемішують і через 10 хвилин вимірюють світлопоглинання проб (згідно з інструкцією користування ФЕК). Для розчинів з вмістом 0,005-0,05 мг іонів використовують кювети з товщиною шару 50 мм, для розчинів 0,03-0,2 мг – кювети з товщиною шару 10 мм. Градувальний графік будують в координатах: світлопоглинання (вісь ординат) - вміст іонів амонію, мг (вісь абсцис). Враховують поправки на холосту пробу.

**2. Визначення концентрації амоній-іонів.** У мірну колбу об'ємом 100 см<sup>3</sup> наливають на половину об'єму вихідну воду. Додають 0,5-1,0 см<sup>3</sup> розчину сегнетової солі або трилону Б, і 1 см<sup>3</sup> реактиву Несслера та вихідною водою доводять до мітки. Суміш перемішують і через 10 хвилин вимірюють світлопоглинання і за калібрувальною кривою знаходять вміст іонів амонію  $C_{гр}$ , мг. Якщо  $C_{гр}$  перевищує концентрації стандартних розчинів, тоді проводять розбавлення вихідної води із бідистилятом безаміачним.

Вміст іонів NH<sup>+</sup> в мг/дм<sup>3</sup> обчислюють за формулою:

$$C(NH_4^+) = \frac{C_{гр} \cdot 1000}{V},$$

де  $C_{гр}$  – знайдена концентрація NH<sup>+</sup> за графіком, мг;  
 $V$  – об'єм вихідної води, см<sup>3</sup>.

### Питання для самоконтролю знань

1. У якій формі представлений азот у природних водах?
2. Як оцінюють забруднення води за наявністю різних форм азотовмісних сполук?
3. Назвіть джерела надходження іонів амонію у водні об'єкти.
4. Які можливі наслідки для екосистеми через забруднення води амонієм?
5. Поясніть принцип визначення вмісту іонів амонію у воді.

## ТЕМА 14

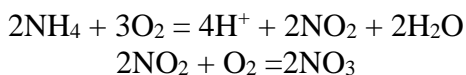
### АЗОТ У ВОДІ. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ НІТРИТ-ІОНІВ У ВОДІ

**Мета:** оволодіти методикою визначення концентрації нітрит-іонів у воді, освоїти принцип оцінки якості води за їх вмістом.

**Матеріали та обладнання:** фотоелектроколориметр; кювети з товщиною шару 1 і 5 см; терези лабораторні загального призначення з похибкою зважування 0,0002; сушильна шафа; термостат, встановлений на 20±1 °С; колби мірні місткістю 80, 100, 500, 1000 см<sup>3</sup>; піпетки з поділками на 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup> та піпетки з однією міткою на 5, 10, 25, 50 см<sup>3</sup>; циліндри мірні на 10 см<sup>3</sup>; колби плоскодонні місткістю 500 см<sup>3</sup>; лійки скляні для фільтрування.

### Теоретичні відомості

Нітрити (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) є проміжним ступенем у ланцюгу бактеріальних процесів окиснення амонію (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) до нітратів (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Цей процес називається *нітрифікацією*, яка відбувається тільки в аеробних умовах:



Відповідно відновлення нітратів до азоту та аміаку називають *денітрифікацією*, що протікає за умови нестачі кисню. Подібні окисно-відновні реакції характерні для станцій аерації, систем водопостачання і самих природних вод.

Підвищений вміст нітритів свідчить про посилення процесів розкладання органічних речовин в умовах більш повільного окиснення  $\text{NO}_2$  в  $\text{NO}_3$ , що вказує на забруднення водного об'єкта, тобто є важливим санітарним показником.

Солі азотної кислоти (нітрити) – результат розкладання органічних сполук, що містять азот. Їх кількість у воді залежить від того, наскільки ефективно корисні бактерії справляються з переробкою забруднюючих речовин.

Концентрації нітритів у поверхневих водах становлять  $10^{-2}$ , інколи навіть  $10^{-3}$  мг/дм<sup>3</sup>, у підземних водах концентрація нітритів зазвичай вища, особливо у верхніх водоносних горизонтах ( $10^{-2}$ - $10^{-1}$  мг/дм<sup>3</sup>).

Сезонні коливання вмісту нітритів характеризуються відсутністю їх взимку і появою навесні при розкладанні мертвої органічної речовини. Найбільшу концентрацію нітритів спостерігають наприкінці літа, їхню присутність пов'язують з активністю фітопланктону (встановлена здатність діатомових і зелених водоростей відновлювати нітрати до нітритів). Восени вміст нітритів зменшується.

У поверхневих водах нітрати знаходяться в розчиненій формі. Концентрація нітратів у поверхневих водах зазнає помітних сезонних коливань: мінімальна у вегетаційний період, вона збільшується восени і досягає максимуму взимку, коли при мінімальному споживанні азоту відбувається розкладання органічних речовин і перехід азоту з органічних форм у мінеральні.

Присутність нітратних іонів у природних водах пов'язана з: процесами нітрифікації амонійних іонів у присутності кисню під дією нітрифікуючих бактерій у водоймі; атмосферними опадами, які поглинають оксиди азоту, що утворюються при атмосферних електричних розрядах (концентрація нітратів в атмосферних опадах досягає 0,9-1 мг/дм<sup>3</sup>), промисловими і господарсько-побутовими стічними водами, стоком із сільськогосподарських угідь та скидними водами із зрошуваних полів, на яких застосовують мінеральні добрива.

Головними процесами, спрямованими на зменшення концентрації нітратів, є споживання їх фітопланктоном і денітрифікуючими бактеріями, які при нестачі розчиненого кисню використовують кисень нітратів на окиснення органічних речовин.

Діяльність людини значно впливає на концентрацію нітритів у воді. Забруднення поверхневих вод солями азотної кислоти відбувається через застосування в сільському господарстві азотних добрив, при неякісному очищенні стічних вод тваринницьких ферм і промислових підприємств.

У незабруднених поверхневих водах концентрація нітрат-іонів не перевищує величини порядку  $10^{-2}$  мг/дм<sup>3</sup> (у перерахунку на азот). У незабруднених підземних водах вміст нітратних іонів зазвичай виражають величинами порядку  $10^{-2}$ - $10^{-1}$ , рідше –  $10^0$  мг/дм<sup>3</sup>. Проте в ґрунтових водах, у межах населених пунктів, тваринницьких ферм та в інших місцях, де ґрунти зазнають тривалого й інтенсивного забруднення органічними відходами, або ж рясно удобрюються азотмісткими сполуками, вміст нітратів може збільшуватися до  $10^1$ - $10^2$  мг/дм<sup>3</sup>.

Наявність нітритів органічного походження у воді не допускається. Показником того, що у воді знаходяться нітрити органічного походження, може бути виявлення їх у великій кількості, а також присутність у воді аміаку, нітратів, хлоридів.

Нітрити можуть стати причиною у людини цілого ряду захворювань: алергічних реакцій та подразнень; проблем з щитовидною залозою; порушень в роботі нервової системи; захворювань шлунково-кишкового тракту; погіршення обміну речовин. Солі азотної кислоти, вступаючи в реакцію з гемоглобіном, що постачає організму кисень, перетворюють його в метгемоглобін.

Нормування вмісту нітрит-іонів у воді зазвичай визначається відповідно до встановлених стандартів та нормативів, які забезпечують безпеку води для споживання та

охорону довкілля. Вітчизняними і європейськими стандартами висуваються чіткі вимоги до наявності у воді солі азотної кислоти: Україна – 0,5 мг/л [6], ЄС – 0,5 мг/л [34].

Якісна проба на наявність нітрит-іонів здійснюється за допомогою реактиву Гріса. У пробірку наливають 10 мл досліджуваної води і 0,5 мл реактиву Гріса. Вміст пробірки перемішують і підігрівають (в долоні, теплій воді), і через декілька хвилин за ступенем рожевого забарвлення визначають вміст нітритів (табл. 1).

Таблиця 1. Приблизне визначення нітритів у воді

Забарвлення у разі спостереження збоку	Забарвлення у разі спостереження зверху	Азот нітритів, мг/л
немає	немає	менше 0,002
немає	ледь помітно рожеве	0,003
дуже слаборожеве	слаборожеве	0,022
слаборожеве	слаборожеве	0,04
світло-рожеве	рожеве	0,07
дуже рожеве	малинове	0,20
малинове	яскраво-малинове	0,40

Набір тестів може забезпечити уявлення про хімічну якість води для моніторингу параметрів води щодо вмісту нітрит-іонів (рис. 1).



Рисунок 1. Тестові набори для експрес-визначення вмісту нітрит-іонів у воді

Лабораторне визначення азотмістких речовин ґрунтується на колориметричному методі аналізу. Колориметрія – це визначення концентрації розчиненої речовини порівнянням інтенсивності забарвлення розчину, який досліджують, із забарвленням стандартного розчину, концентрація якого відома.

Визначення нітритів у воді здійснюють згідно з ДСТУ ISO 6777-2003, ДСТУ EN ISO 10304-1:2022 [13, 16]. Кількісний **метод визначення іонів нітритів** ґрунтується на діазотуванні сульфанілової кислоти нітритами, присутніми у пробі, і реакції одержаної солі з  $\alpha$ -нафтиламіном з утворенням розчину малинового кольору, та вимірюванні світлопоглинання при  $\lambda = 520$  нм (або із зеленим світлофільтром). Інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації нітритів. Перебіг реакції значною мірою залежить від рН середовища.

Внаслідок нестійкості нітритів їх потрібно визначати відразу ж після відбору проби. Якщо це неможливо, пробу консервують додаванням 1 см<sup>3</sup> концентрованої сірчаної кислоти або 2-4 см<sup>3</sup> хлороформу на 1 дм<sup>3</sup>. Можна також охолоджувати пробу до 3-4 °С.



## Хід роботи

### 1. Приготування необхідних реактивів:

- **реактив Грісса, 3 %-ий розчин:** розчиняють 3 г ч.д.а. реактиву Грісса у дистильованій воді, додають 15 см<sup>3</sup> оцтової «льодяної» кислоти і доводять до 100 см<sup>3</sup> дистильованою водою;

- **сульфанілова кислота, 0,6 %-ий розчин:** розчиняють 6,0 г сульфанілової кислоти (NH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>3</sub>H) ч.д.а. в 750 см<sup>3</sup> гарячої дистильованої води. До одержаного розчину додають 250 см<sup>3</sup> «льодяної» оцтової кислоти;

- **α-нафтиламін, 0,6 %-ий розчин:** розчиняють 1,2 г нафтиламіну (NH<sub>2</sub>C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>) ч.д.а. в дистильованій воді, додають 50 см<sup>3</sup> льодяної оцтової кислоти і доводять дистильованою водою до 200 см<sup>3</sup>. Якщо розчин мутний, його фільтрують через бавовняну тканину, промиту дистильованою водою. Розчин зберігається 2-3 місяці;

- **стандартний розчин нітриту натрію:** розчиняють 0,1497 г х.ч. NaNO<sub>2</sub>, висушеного при 105 °С, в 1 дм<sup>3</sup> дистильованої води. Розчин консервують додаючи 1 см<sup>3</sup> хлороформу і зберігають у холодному місці. Він стійкий протягом місяця. У 1 см<sup>3</sup> цього розчину міститься 0,1 мг іонів нітритів;

- **робочий розчин нітриту натрію:** розбавляють 2 см<sup>3</sup> стандартного розчину дистильованою водою до 100 см<sup>3</sup>. Розчин повинен бути свіжоприготовлений. В 1 см<sup>3</sup> цього розчину міститься 0,002 мг іонів нітритів.

**Побудова градуйованого графіку.** У мірні колби місткістю 100 см<sup>3</sup> додають 0,0, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, ... 10 см<sup>3</sup> робочого стандартного розчину нітриту натрію. Отримані розчини містять 0,0, 0,002, 0,004, 0,006, 0,008, 0,01, ... 0,02 мг іонів нітритів відповідно. Потім додають 2 см<sup>3</sup> реактиву Грісса (або 1 см<sup>3</sup> розчину сульфанілової кислоти і 1 см<sup>3</sup> розчину α-нафтиламіну) і дистильованою водою доводять до мітки.

Суміш ретельно перемішують і колби ставлять у термостат при температурі 20 °С і через 20 хвилин вимірюють світлопоглинання проб (згідно з інструкцією користування ФЕК). Для розчинів з вмістом 0,005-0,05 мг іонів використовують кювети з товщиною шару 50 мм, для розчинів 0,03-0,2 мг – кювети з товщиною шару 10 мм. Градуйований графік будують у координатах: світлопоглинання (вісь ординат) – вміст іонів нітритів (вісь абсцис), мг. Враховують поправки на холосту пробу.

**2. Визначення концентрації нітритів-іонів.** В мірну колбу об'ємом 100 см<sup>3</sup> наливають на половину об'єму вихідну воду. Додають 2 см<sup>3</sup> реактиву Грісса (або 1 см<sup>3</sup> розчину сульфанілової кислоти і 1 см<sup>3</sup> розчину α-нафтиламіну) та вихідною водою доводять до мітки. Суміш ретельно перемішують і колбу ставлять в термостат при температурі 20 °С і через 20 хвилин вимірюють світлопоглинання і за калібрувальною кривою знаходять вміст іонів нітритів  $C_{гр}$ , мг. Якщо  $C_{гр}$  перевищує концентрації стандартних розчинів, тоді проводять розбавлення вихідної води із дистильованою водою.

Вміст іонів NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, в мг/дм<sup>3</sup>, обчислюють за формулою:

$$C(NO_2^-) = \frac{C_{гр} \cdot 1000}{V},$$

де  $C_{гр}$  – знайдена концентрація NO<sub>2</sub><sup>-</sup> за графіком, мг;

$V$  – об'єм вихідної води, см<sup>3</sup>.

### Питання для самоконтролю знань

1. Що таке нітрифікація? Як цей процес впливає на наявність азотовмісних сполук у воді?
2. Який вміст нітритів у природних водах?
3. Назвіть джерела надходження нітритів у воду.
4. Яке значення нітритів у водних екосистемах?
5. Охарактеризуйте принципи визначення вмісту нітрит-іонів у воді.

## ТЕМА 15

### ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ХЛОРИДІВ У ВОДІ

**Мета:** ознайомитися з методикою визначення хлоридів у воді.

**Матеріали та обладнання:** фотоелектроколориметр;  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .

#### Теоретичні відомості

Концентрація хлоридів завжди є в розгорнутих аналізах води. Хлориди – це солі чи аніони соляної кислоти  $\text{HCl}$ . Вони є комплексом з катіона (металевого або органічного) і аніона  $\text{Cl}^-$ . Найбільш типовим хлоридом є кухонна сіль  $\text{NaCl}$ .

Важливо не плутати аніон у складі солей із хлором, що використовується для знезараження води. Перший досить інертний і у водному середовищі практично не вступає в окисно-відновні реакції. Другий активно окиснює різноманітні органічні домішки, мікроорганізми, продукти їх життєдіяльності, і в процесі утворює нові речовини, у тому числі хлориди.

Згідно як зі світовими, так і з українськими санітарними нормами, максимальний вміст хлоридів у питній має бути не більше:

- 250 мг/л для водопровідної та бутельованої води;

- 350 мг/л для води зі свердловин, каптажів, колодязів, також може встановлюватися для водопровідної в окремих областях.

Для мінеральних вод цей показник може бути вищим у зв'язку з високим вмістом мінералів.

Солоний присмак води може відчуватися вже при досягненні 200 мг/л хлориду натрію і калію.

Хлорид-іони є типовим мінеральним компонентом природних вод. Вони є як у поверхневих, так і підземних водах. У поверхневих водах хлориди містяться у вигляді добре розчинних сполук, тому вони мають високу міграційну здатність.

Основним джерелом надходження у воду мінеральних солей, зокрема й хлоридів, незалежно від її джерела є розчинення природних мінеральних солей. Типовими є хлориди натрію, калію та кальцію, які вимиваються з різноманітних мінералів, наприклад, силвініту.

Концентрація хлоридів у прісних природних водах зазвичай тримається в межах нормативних значень. Концентрація хлорид-іонів у воді річок та озер коливається від десятої частки міліграма до десятків і сотень міліграмів на  $1 \text{ дм}^3$ . Вона змінюється за сезонами відповідно до зміни загальної мінералізації води. Виключенням є підземні води прибережних морських зон, для яких характерна висока солоність. У цьому випадку вода зазвичай є настільки солоною, що не може використовуватися для пиття.

Значне надходження хлоридів геологічного походження – це рідкісне явище, тому збільшення їх концентрації є ознакою забруднення води побутовими і промисловими стічними водами. Крім того, значні кількості хлоридів надходять у воду внаслідок обміну з океаном через атмосферу, взаємодії атмосферних опадів з ґрунтами, особливо засоленими, у результаті вулканічних вивержень.

Антропогенні чинники можуть змінювати концентрацію хлоридів. До таких чинників можна віднести ряд дій:

- Застосування солі для посипання доріг та тротуарів. Взимку на дороги висипаються десятки тонн солі, які в процесі танення снігу зі зливовими водами надходять у річки, що може викликати підвищення рівня хлоридів у зимово-весняний період.

- Застосування неорганічних добрив, наприклад, хлориду калію, які дощами змиваються з полів у ґрунтові води та викликають підвищення показника, як у колодязях, так і в річках.

- Комунальні стічні води.

- Промислові, особливо шахтні води мають дуже високу солоність внаслідок активної взаємодії з мінеральними породами. Практично в усіх точках після зливу стоків промислових

вузлів спостерігається підвищений вміст хлоридів у поверхневих водах.

- Фільтрат полігонів ТПВ є концентратом небезпечних солей, що може забруднювати воду у колодязях неподалік.

Найменшу роль відіграють стоки приватних септиків, корми для тварин, дренаж систем зрошення тощо.

Ще одним джерелом внесення хлоридів є водоканали, а саме процеси хлорування води, де відбувається відновлення активного хлору до аніона, та її освітлення за допомогою коагулянтів – хлоридів заліза та алюмінію.

Підвищений вміст хлоридів у воді викликає зміни видової різноманітності, насамперед серед рослин, які призводять до зникнення або появи інших видів риб. Підвищення рівня мінералів у низькозасолених водах є критичним для біологічної рівноваги.

Хлорид-іон не є прямим токсикантом миттєвої або пролонгованої дії, як, наприклад, важкі метали або хлорорганічні речовини. Показник застосовують для комплексної оцінки води. Проте високий вміст хлоридів свідчить про високий вміст натрію, калію та кальцію, які вже мають системний вплив на системи та органи людського організму.

Добова норма хлоридів для дорослої людини рекомендована Всесвітньою Організацією Охорони Здоров'я становить 9 мг/кг. Це приблизно 0,5 г при вазі 60 кг. Максимальна денна норма солі для дорослої людини становить 5 г, відповідно, це майже 2 г натрію і 3 г хлору у формі СГ. Добова норма води для дорослої людини – близько 2 літрів. Споживаючи за день 2 літри води з максимальною гранично допустимою концентрацією хлоридів – 250 мг/л, можна отримати з неї приблизно 500 мг або 0,5 г хлоридів, що відповідає повній добовій нормі споживання хлоридів та 1/10 споживання солі.

Важливим аспектом є електрохімічні властивості хлорид-іона. Оскільки цей іон збільшує електропровідність води, він збільшує її корозійну активність. У разі подачі води металевими трубами, хлориди та інші аніони можуть реагувати з металами та формувати розчинні солі, які забруднюватимуть питну воду.

Найпоширеніші методи зниження концентрації хлоридів у воді: зворотний осмос – це універсальна технологія як для побутових умов, так і для промисловості; методи дистиляції, електродеіонізації застосовують переважно в промисловості.

Вміст хлоридів можна визначити за допомогою експрес-аналізу відразу на місці відбору проби або в лабораторії з використанням стандартних методик.

Комплект для експрес-аналізу води – це набір рідких реагентів з мірної колбою і кольоровою шкалою (рис. 1). Відібравши пробу води, необхідно додати вказану кількість крапель реагенту з пляшечки в пробу. Порівнюючи колір проби з кольоровою шкалою, визначається чисельне значення вмісту хлоридів.

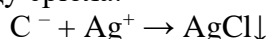


Рисунок 1. Сучасні експрес-методи визначення концентрації хлоридів у воді

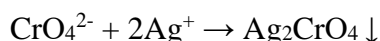
Сучасні тестові смужки для визначення хлоридів у воді мають широкий діапазон вимірювань від 0 до 500 ppm (мг/л). В ємність набирають зразок води (250 мл), занурюють у воду тест-смужку на 10 секунд, плавно рухаючи нею у воді вперед-назад, виймають тест-смужку, видаляють з неї зайву воду струшуванням. Через 30 секунд за співпадаючим кольором на колірній шкалі визначають рівень концентрації хлоридів у воді.

Необхідно пам'ятати, що завдяки експрес-методам отримують досить приблизні дані, а лабораторні аналізи дозволяють отримати більш точні показники концентрації хлоридів у воді [13, 23].

**Титриметричне визначення вмісту хлоридів аргентометричним методом Мора** ґрунтується на утворенні в нейтральному або слабколужному середовищі (рН 7-10) малорозчинного білого осаду хлориду срібла:



Для встановлення моменту закінчення титрування (точки еквівалентності) як індикатор використовують хромат калію, який з іонами срібла утворює червоно-коричневий осад хромату срібла:



Для чіткого фіксування точки еквівалентності концентрація розчину  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  у розчині, якій титрують, має становити близько 0,006 моль/дм<sup>3</sup>. Метод Мора застосовують для визначення вмісту хлоридів, коли їх концентрації не менші за 10 мг/дм<sup>3</sup>. Проби води з концентрацією хлорид-іонів до 400 мг/дм<sup>3</sup> можна титрувати без додаткового їх розбавлення.

## Хід роботи

### 1. Приготування необхідних реактивів:

- **нітрат аргентуму**, 0,05 моль/дм<sup>3</sup>: 8,494 г  $\text{AgNO}_3$  розчиняють у дистильованій воді й доводять об'єм розчину до 1 дм<sup>3</sup> у мірній колбі. Розчин зберігають у склянці з темного скла. Точну концентрацію розчину встановлюють титруванням за стандартним розчином  $\text{NaCl}$ ;

- **стандартний розчин хлориду натрію**, 0,05 моль/дм<sup>3</sup>: 2,922 г  $\text{NaCl}$  розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм розчину у мірній колбі до 1 дм<sup>3</sup>;

- **хромат калію** ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), індикатор, розчин 100 г/дм<sup>3</sup>: 10 г  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  розчиняють у воді і доводять об'єм дистильованою водою у мірній колбі до 100 мл. Для видалення хлоридів додають розчин  $\text{AgNO}_3$  до моменту появи червоно-бурого осаду. Через 1-2 дні його фільтрують і доводять об'єм фільтрату дистильованою водою до 1 дм<sup>3</sup>.

### 2. Визначення концентрації хлоридів.

У колбу місткістю 200 мл вносять необхідний об'єм досліджуваної води, додають 1 мл розчину  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  і титрують розчином  $\text{AgNO}_3$ , постійно помішуючи пробу. При невеликій концентрації хлорид-іонів титрування проводять повільно, додаючи розчин  $\text{AgNO}_3$  по одній краплині. При значному вмісті хлоридів спочатку випадає білий осад  $\text{AgCl}$ , далі з'являється забарвлення від жовтого до насиченого оранжевого забарвлення. Одночасно визначають холосту пробу титруванням дистильованої води (100 мл). Для встановлення кінцевої точки титрування (точки еквівалентності) доцільно використати «свідок» – недотитровану пробу досліджуваної води, яка має лимонно-жовте забарвлення внаслідок додавання до неї розчину хромату калію.

Концентрацію хлорид-іонів  $C_x$  (ммоль-екв/дм<sup>3</sup>) або  $C_y$  (мг/дм<sup>3</sup>) обчислюють за формулами:

$$C_x = \frac{(V_i - V_0) \cdot C \cdot 1000}{V},$$
$$C_y = \frac{(V_i - V_0) \cdot C \cdot 1000 \cdot 35,45}{V},$$

де  $V_i$ ,  $V_0$  – об'єми стандартного розчину  $\text{AgNO}_3$ , які витрачені на титрування відповідно проби та «холостого» розчину, мл;

$C$  – концентрація стандартного розчину  $\text{AgNO}_3$ , моль-екв/дм<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм проби води, мл;

35,45 – молярна маса еквівалента хлорид-іонів.

Визначення концентрації розчину  $\text{AgNO}_3$ . У конічну колбу піпеткою вносять 15,0 мл стандартного розчину  $\text{NaCl}$  концентрацією  $0,05$  моль-екв/дм<sup>3</sup> і доливають дистильовану воду до об'єму 50 мл. Додають 0,5 мл розчину  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  і титрують розчином  $\text{AgNO}_3$ , як у методиці визначення.

Концентрацію розчину  $\text{AgNO}_3$   $C_x$  (моль-екв/дм<sup>3</sup>) обчислюють за формулою:

$$C = \frac{V_1 \cdot C}{V - V_0} = \frac{15,0 \cdot 0,05}{V - V_0} = \frac{0,75}{V - V_0},$$

де  $V_1$  – об'єм взятого стандартного розчину  $\text{NaCl}$ , мл;

$C$  – концентрація стандартного розчину  $\text{NaCl}$ , моль-екв/дм<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм розчину  $\text{AgNO}_3$ , витрачений на титрування, мл;

$V_0$  – об'єм розчину  $\text{AgNO}_3$ , витрачений на титрування «холостої» проби (дистильованої води), мл.

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Які джерела надходження хлоридів у природні води?
2. На чому ґрунтується аргентометричне визначення хлоридів?
3. Які нормативні показники вмісту хлоридів у водах різного призначення?
4. Яке значення надлишкового вмісту хлоридів у воді?
5. Назвіть методи очищення води від хлоридів.

## ТЕМА 16

### СПОЛУКИ ФОСФОРУ У ВОДІ. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ФОСФАТІВ

**Мета:** ознайомитися з методикою визначення фосфатів у воді.

**Матеріали та обладнання:** фотоелектроколориметр, кювети товщиною шару 5 см, молібденова суміш, аскорбінова кислота, фосфат калію, робочий та стандартний розчин.

#### Теоретичні відомості

Фосфати – це солі фосфорної кислоти, тобто сполуки фосфорної кислоти з певними, частіше лужними металами. Їх класифікують на ортофосфати, конденсовані фосфати (піро-, мета- та інші поліфосфати), а також органічно зв'язані фосфати.

Фосфор є важливим біогенним елементом, що необхідний для повноцінного функціонування всіх живих організмів. У воді фосфор знаходиться у вигляді неорганічних, органічних, і органомінеральних сполук, а також входить до складу клітин гідробіонтів. Максимальною біодоступністю володіють неорганічні сполуки. Фосфор потрапляє в ґрунти та воду з мінералів. Ці процеси залежать від регіону. Там де є поклади фосфоритів і апатитів, будуть спостерігатися природні процеси посиленого надходження фосфатів у воду.

Підвищений вміст фосфатів у воді є наслідком її забруднення. Природні незабруднені водойми мають концентрацію фосфатів менше  $0,1$  мг/л, а іноді навіть менше  $0,03$  мг/л. Концентрація фосфатів у воді понад  $0,3$  мг/л вказує на явну забрудненість.

Сьогодні фосфати в морській і прісній воді створюють велику екологічну проблему. Надлишок фосфору в воді призводить до розвитку процесів евтрофікації. При концентрації фосфору у водоймі менш  $0,001$  мг/дм<sup>3</sup> евтрофікація не спостерігається,  $10$  мг фосфатів в  $1$  м<sup>3</sup> призводять до заростання водойми фітопланктоном.

В останні роки одними з найнебезпечніших забруднювачів води стали сполуки фосфору, які потрапляють у водні екосистеми зі стічними водами міст, промислових виробництв та добривами.

Мийні засоби є важливою складовою антропогенного впливу на водні ресурси. До складу пральних порошків, засобів для миття посуду та інших детергентів фосфати

вводяться в першу чергу як комплексоутворювачі, оскільки вони розчиняючись у воді здатні зв'язувати іони кальцію і магнію в комплексні сполуки, тим самим запобігаючи утворенню накипу та покращуючи дію дорожчих поверхнево-активних речовин. У рецептурах мийних засобів може бути до 35 % тріполіфосфату натрію, тобто до 20 % в перерахунку на  $P_2O_5$  і 2,8 % фосфору. Також в мийних засобах іноді використовуються нерозчинні фосфати лужних і лужноземельних металів як абразиви. У більшості країн Європи застосування мийних засобів з фосфатами заборонено або скорочено до критично мінімальних значень. У зубних пастах застосовується натрій монофторфосфат, він розпадається з виділенням фторидів для захисту емалі.

Фосфати широко використовуються в харчовій промисловості, зокрема в м'ясній продукції для забезпечення зниження маси продукту та консервувальних властивостей.

Фосфати додають в котлову воду для того, щоб мінімізувати утворення накипу.

Гній і мінеральні добрива є одними з основних джерел біогенних форм фосфору. Коли рослини не здатні переробити всі внесені речовини, вони залишаються в ґрунті та під час дощу або танення снігу змиваються в довколишні водоймища, що призводить до їх евтрофікації. У сільському господарстві широко використовуються такі фосфорні добрива, як фосфоритне борошно, суперфосфат, преципітат натрію.

Об'єми забруднень вод фосфатами перевищують природні можливості водойми до самоочищення. Сучасні технології видалення фосфору зі стічних вод передбачають застосування хімічних, фізико-хімічних (очищення магнітним полем, електрокоагуляція, кристалізація) та біологічних методів. За останніх 20 років концентрація фосфатів у воді, яка подається на каналізаційні очисні станції в Україні, виросла в 5 разів. Системи очищення води не завжди здатні справлятися з обсягом забруднень. Традиційна аеробна технологія очищення стічних вод не забезпечує повноцінного видалення фосфатів, і вони потрапляють у водойми, з яких ведеться водозабір питної води.

З огляду на високу гігієнічну та екологічну небезпеку фосфатів, світове співтовариство встановило дуже жорсткі вимоги до їх вмісту в стічних водах, питній воді і продуктах харчування. Так, Директиви ЄС 98/83/ЄС та 75/440/ЄС встановлюють гранично допустиму концентрацію (ГДК) фосфатів у водах, призначених для питних потреб, на рівні 0,7 мг/л, в той час як чинним в Україні ДСанПіН 2.2.4-171-10 передбачено гранично допустиме значення 3,5 мг/л. Згідно з Директивою 76/160/ЄС, вміст фосфатів у поверхневих водах культурно-господарського і рекреаційного призначення не повинно перевищувати 0,2 мг/л, а в Україні гранично допустима концентрація фосфатів у водах аналогічного призначення – до 3,5 мг/л.

Вміст фосфатів у воді можна визначити в лабораторії з використанням стандартних методик або за допомогою експрес-аналізу відразу на місці відбору проби (рис. 1).

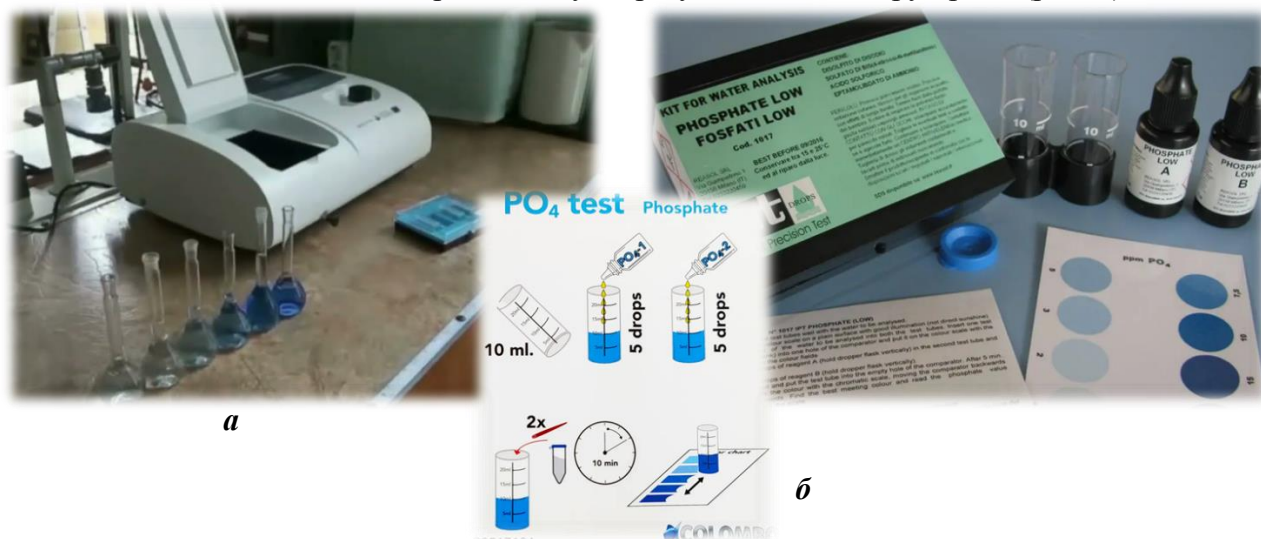


Рисунок 1. Лабораторний (а) та експрес-метод (б) визначення концентрації фосфатів у воді

Для визначення фосфатів широкого застосування набув фотометричний метод з молібдатом амонію  $((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4)$ . Внаслідок взаємодії ортофосфатів з молібдатом амонію у кислому середовищі ( $\text{pH} = 0,80-0,95$ ) у присутності аскорбінової кислоти утворюється забарвлена у синій колір сполука. Ця реакція відбувається при нагріванні. При введенні в розчин солі стибію (III) утворюється більш складна забарвлена сполука, до складу якої входить стибій у співвідношенні  $\text{Sb:P} = 1:1$ . У цьому випадку реакція відбувається швидко за кімнатної температури. Чутливість визначення становить  $0,02 \text{ мг PO}_4^{3-}/\text{дм}^3$ .

Відео-інструкцію з визначення концентрації фосфатів у воді можна знайти за покликанням: <http://surl.li/otbki>

## Хід роботи

### 1. Приготування необхідних реактивів:

- **молібденова суміш:** до 300 мл дистильованої води додають при перемішуванні 144 мл концентрованої  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Після охолодження при перемішуванні послідовно доливають розчини 10 г сульфанілової кислоти в 100 мл води, 12,5 г молібдату амонію у 200 мл дистильованої води, 0,235 г хлориду стибію та 0,6 г винної кислоти (або 0,345 г антимонілтартрату калію) в 100 мл води і одержану суміш розбавляють до  $1 \text{ дм}^3$ . Реактив зберігають у склянці з темного скла;

- **10 %-ний розчин аскорбінової кислоти:** 10 г аскорбінової кислоти розчиняють у 90 мл дистильованої води;

- **фосфат калію, стандартний розчин;**

- **основний розчин:** у дистильованій воді розчиняють 0,7165 г  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  кваліфікації ч.д.а., попередньо висушеного протягом 2 годин при температурі  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ . Додають 2 мл хлороформу, об'єм доводять дистильованою водою до  $1 \text{ дм}^3$ . В 1 мл розчину міститься  $0,50 \text{ мг PO}_4^{3-}$ ;

- **робочий розчин:** 20 мл основного розчину розбавляють дистильованою водою до  $1 \text{ дм}^3$ . Розчин готують кожного разу свіжий. В 1 мл розчину міститься  $0,01 \text{ мг PO}_4^{3-}$ .

**Побудова градуувального графіка.** У мірні колби місткістю 50 мл вносять 0,0; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; ... 25,0 мл стандартного розчину ( $0,01 \text{ мг PO}_4^{3-}/\text{мл}$ ) і доводять об'єм водою до позначки. В одержаних розчинах концентрація фосфатів у перерахунку на досліджувану пробу води дорівнює 0, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0 і 5,0  $\text{мг PO}_4^{3-}/\text{дм}^3$ . Далі додають 2 мл розчину молібденової суміші і через кілька хвилин 0,5 мл 10 %-ного розчину аскорбінової кислоти. Суміш перемішують. Через 15 хвилин проводять вимірювання за допомогою фотоелектроколориметра.

Градуувальний графік будують у координатах: світлопоглинання (вісь ординат) - вміст фосфатів,  $\text{мг}$  (вісь абсцис). Враховують поправки на холосту пробу.

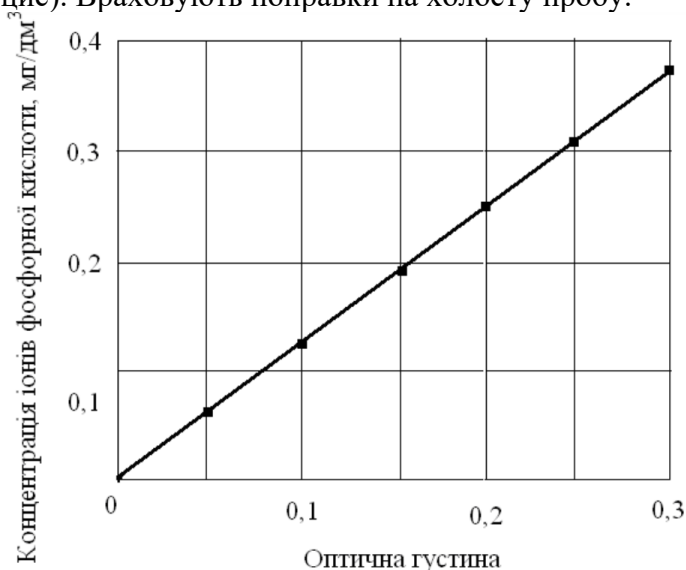


Рисунок 1. Залежність оптичної густини від концентрації іонів фосфатної кислоти

## 2. Визначення концентрації фосфатів.

До 50 мл профільтрованої води додають 2 мл розчину молібденової суміші і через кілька хвилин 0,5 мл 10 %-ного розчину аскорбінової кислоти. Суміш перемішують. Через 15 хвилин вимірюють оптичну густину розчину при  $\lambda = 690$  нм. За калібрувальною кривою знаходять вміст фосфатів.

Вміст  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $C_x$ ) у мг/дм<sup>3</sup> знаходять за формулою:

$$C_x = \frac{C \cdot V_1}{V},$$

де  $C$  – концентрація фосфат-іонів, визначена за градувальним графіком, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм проби, взятий для аналізу, мл;

$V_1$  – об'єм, до якого при необхідності розбавлено відібрану пробу.

### Питання для самоконтролю знань

1. Назвіть основні шляхи надходження фосфатів у водойми.
2. Що лежить в основі визначення концентрації фосфатів?
3. Які нормативні показники вмісту фосфатів у водах різного призначення?
4. Розкрийте особливості побудови градувального графіка для визначення вмісту фосфатів у воді.
5. Яке значення надлишкового вмісту фосфатів у воді для людини?

## ТЕМА 17

### БІОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЗА САНІТАРНИМ СТАНОМ ВОДОЙМИ МЕТОДОМ САПРОБНОСТІ

**Мета:** опрацювати методику визначення сапробності водойми на конкретному прикладі.

**Матеріали та обладнання:** мікроскоп, акваріуми, предметні і покривні скельця, пінцет.

### Теоретичні відомості

Під *сапробністю* прийнято розуміти ступінь розпаду органічних речовин в забруднених водоймах. На рис. 1 наведені основні характеристики зон сапробності.

*Сапробіонти* або сапробні організми можуть слугувати індикаторами забруднення або різного ступеню розкладу органічних речовин у водоймі. Розпад органіки у водоймі призводить до дефіциту кисню і накопичення токсичних продуктів. Здатність організмів існувати в умовах різного ступеню сапробності пояснюється необхідністю в органічному харчуванні, стійкістю до нестачі кисню і стійкістю до шкідливих речовин, що утворюються в результаті розкладу органічних речовин.

Принцип *методу сапробних організмів* заснований на взаємозв'язку організмів із середовищем існування. Значення сапробності з одного боку наближається до значення евтрофікації, так як включає трофічну характеристику, а з іншого – сапробність близька до токсичності або забруднення, тому що характеризує дію в середовищі несприятливих факторів (дефіцит або відсутність кисню, продукти розкладу органіки тощо). Таким чином сапробність набуває поняття характеристики якості води [5, 32].



полісапробна р	мезосапробні		олігосапробна о
	$\alpha$ -т	$\beta$ -т	
↓			
продукти розкладання органіки в воді			
CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
продукти розкладання органіки в мулі			
FeS, чорний колір	FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , сірий колір	Fe <sup>3+</sup> , жовтий колір	–
супутні явища			
ацидифікація	загнивання застійної води	цвітіння	–
фотосинтез			
пригнічений	слабкий	активний	активний
бактеріологічні показники			
ЗМЧ 10 <sup>6</sup> ... 10 <sup>7</sup> од/мл Coli 10 <sup>5</sup> ... 10 <sup>6</sup> од/л	ЗМЧ 10 <sup>5</sup> ... 10 <sup>6</sup> од/мл Coli 10 <sup>4</sup> ... 10 <sup>5</sup> од/л	ЗМЧ 10 <sup>4</sup> ... 10 <sup>5</sup> од/мл Coli 10 <sup>3</sup> ... 10 <sup>4</sup> од/л	ЗМЧ 10 <sup>4</sup> ... 10 <sup>2</sup> од/мл Coli 10 <sup>2</sup> ... 10 <sup>3</sup> од/л
видове розмаїття/біомаса/домінанти			
~36 видів/біомаса значна/наявні	~158 видів/біомаса розвинена/наявні	~319 видів/біомаса незначна/відсутні	~362 видів/біомаса незначна/відсутні
характер змін у біоценозі			
катастрофічний	катастрофічний	поступовий	вкрай повільний
вигляд зовнішніх обростань			
слизові пластівці	слизові пластівці	землисто-повстяні, зелені, буро-червоні	зелені, буро-червоні
домінуючі види			
Сапрофіти, гетеротрофи: Нитчасті бактерії Сіркобактерії Зооглеї Інфузорії Безбарвні джгутикові Олігохети (трубковики)	Ціанобактерії Гриби, Зооглеї Клостридії, Евіглена Хламідомонада Сисні інфузорії Актиноміцети Коловертки Джгутикові, Олігохети Личинки хірономід	Нітрифікуючі бактерії Діатомові водорості Кушир, Амеби Інфузорії, Хробаки Молюски Мохуватки Личинки хірономід Ракоподібні Риби	Водорості Гідри Квіткові рослини Коловертки Ракоподібні Молюски Мохуватки Риби

Рисунок 1. Основні характеристики зон сапробності

Організми водойми відносяться до бентосу і планктону, ряд з них складає перифітон. У планктон включають ті форми організмів тварин і рослин, які проводять все своє життя в завислому стані в товщі водойми. До фітопланктону належать мікрowodорості, до зоопланктону – найпростіші організми.

Найбільш показовими для оцінки забруднення водойми є бентос і перифітон. До складу біоценозів бентоса входять всі форми рослин і тварин, які своїм життям тісно пов'язані з

дном водойми. Організми обростання прикріплюються до каменів, днищ судів, залізної та бетонної арматури мостів.

У польових умовах для оцінки сапробності проводять попереднє обстеження водойми. Необхідно зазначити, що водойма реагує на забруднення цілим комплексом взаємозв'язків біотичного та абіотичного середовища. Тому при біологічному дослідженні вивчають водойму в цілому – воду, дно, береги, а не тільки організми, які населяють водойми.

Перш ніж приступити до обстеження, необхідно мати відомості про гідрологічний режим водойми: витрати води, характер водозбірної площі, розташуванні, кількості і якості випусків стічних вод, наявності забруднених територій вздовж берега водойми. У момент огляду водойми в польовому журналі зазначають температуру води, її прозорість (за диском Секкі), наявність або відсутність плівок на поверхні, запах і особливості кольору води, наявність водної рослинності, забруднення берегів, замуленість дна і характер мулу, плівки нафтопродуктів на дні і поверхні водойми.

Зони сапробності виділяють за різним ступенем розкладу органічної речовини. Від чистої водойми до забрудненої збільшується індекс сапробності водойми: ксеносапробна - 0-0,05 → олігосапробна - 0,51-1,50 → бета-мезосапробна - 1,51-2,50 → альфа-мезосапробна - 2,51-3,50 → полісапробна - 3,51-4,0. Індекси позначаються грецькими буквами  $\kappa$  —  $\omicron$  —  $\beta$  —  $\alpha$  —  $\rho$  [4].

Перелік деяких видів-індикаторів із зазначенням належності їх до зон сапробності представлений у табл. 1.

Таблиця 1. Організми-індикатори сапробності

Організми	Зона сапробності (S)	Організми	Зона сапробності (S)
Нитчасті бактерії		Інфузорії	
<i>Beggiatoa sp.</i>	$\rho$	<i>Colpidium campylum</i>	$\rho$
<i>Thoithrix sp.</i>	$\rho$	<i>Colpidium colpoda</i>	$\rho$
Гриби		<i>Euplotes charon</i>	$\beta$
		<i>Opercularia coaretata</i>	$\alpha$
<i>Leptomitus lacteus</i>	$\alpha$	<i>Paramecium caudatum</i>	$\alpha$
<i>Mucor racemosus</i>	$\alpha$	<i>Spirostomus ambiguus</i>	$\alpha$
<i>Fusarium aquaeductum</i>	$\rho$	<i>Stentor coeruleus</i>	$\alpha$
Водорості: синьозелені		<i>Vorticella convallaria</i>	$\alpha$
		<i>Vorticella microstoma</i>	$\rho$
<i>Anabaena flos aquae</i>	$\beta$	<i>Podophrya fixa</i>	$\alpha$
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	$\beta$	Коловертки	
<i>Oscillatoria tenuis</i>	$\alpha$	<i>Keratella cochlearis</i>	$\beta$
Діатомові		<i>Keratella quadrata</i>	$\beta$
<i>Cymbella cesati</i>	$\omicron$	<i>Rotaria rotatoria (syn. Rotifer vulgaris)</i>	$\alpha$
<i>Melosira granulata</i>	$\beta$	Олігохети	
<i>Navicula apiculata</i>	$\alpha$	<i>Tubifex tubifex</i>	$\rho$
Євгленові		<i>Stylaria lacustris</i>	$\beta$
<i>Euglena viridis</i>	$\rho$	Ракоподібні	
<i>Euglena deses</i>	$\alpha$	<i>Daphnia magna</i>	$\alpha$
Зелені і протококові		<i>Leptodora Kindtii</i>	$\omicron$
<i>Vohox globator</i>	$\omicron$ - $\beta$	<i>Astacus fluviatilis</i>	$\omicron$
<i>Ulothrix zonata</i>	$\omicron$	Комахи	
Тварини: амеби		<i>Caenis macrura</i>	$\omicron$
<i>Pelomyxa palustris</i>	$\rho$	<i>Heptagenia coeruleana</i>	$\beta$
		<i>Chironomus Plumosus</i>	$\beta$

При остаточному обстеженні водойми проводять відбір і обробку проб. Проби відбирають нижче джерела забруднення, за можливості, вздовж всієї зони забруднення водойми, а також для порівняння – в чистому пункті вище скидання. Для повної біологічної діагностики водойми повинні бути враховані всі спільноти: перифітон, бентос, планктон, плейстон, нектон, макрофіти. Але практично при одиничному обстеженні можна обмежитися розглядом найбільш типових спільнот: наприклад, в малих водостоках досліджують перифітон, в річках – планктон, бентос і перифітон, в ставках – зарості макрофітів.

Перифітон збирають скребком, переносять в лабораторію в термосі, щоб зберегти пробу для мікроскопування в живому вигляді. Згодом фіксують формальдегідом, довівши його концентрацію в пробі до 2-4 %, і потім остаточно визначають види. Враховують сапробність і частоту зустрічальності організмів.

Для кількісного обліку переглядають 50 полів зору не менше ніж на трьох препаратах - склі обростання. Число організмів оцінюють за шкалою частот після перерахунку на 100 полів зору відповідно категорії крупності (табл. 2):

1-а категорія – організми розміром до 50 мкм;

2-а категорія – 50- 200 мкм;

3-а категорія – 200 тисяч мкм.

Частоту народження враховують за загальноприйнятою в біоіндикаційних дослідженнях дев'ятибальною шестиступінчастою шкалою з такими позначеннями: 1 – дуже рідко; 2 – рідко; 3 – нерідко; 5 – часто; 7 – дуже часто; 9 – масово.

**Таблиця 2. Шкала для перерахунку організмів-сапробіонтов в 100 полях зору мікроскопа на частоту зустрічання**

<b>Частота зустрічання в балах</b>	<b>Сапробіонти</b>
<b><i>1-а категорія крупності</i></b>	
1	Не більше 1 в кожному 2-у полі зору
2	Не більше 2 в полі зору
3	Не більше 10 в полі зору
5	Не більше 30 в полі зору
7	Не більше 60 в полі зору
9	Більше 60 в полі зору
<b><i>2-а категорія крупності</i></b>	
1	Не більше 1 в кожному 20-у полі зору
2	Не більше 1 в кожному 5-у полі зору
3	Не більше 1 в полі зору
5	Не більше 3 в полі зору
7	Не більше 6 в полі зору
9	Більше 6 в полі зору
<b><i>3-а категорія крупності</i></b>	
1	1 в 100 полях зору
2	1 в 50-х полях зору
3	Не більше 1 в 10-х полях зору
5	Не більше 1 в 4-х в полях зору
7	Не більше 1 в 2-х в полях зору
9	Приблизно 1 в полі зору

Для однаковості кількісного обліку і вираження даних в шкалі сапробності можна результати щодо прорахунку планктону і мікробентосу виразити в значеннях частоти народження.

Найбільш поширений спосіб визначення сапробності водойми за методом Пантле і Бука. Даний метод дозволяє порівняти стан водойми в різних пунктах, наприклад по повздовжньому профілю річки, і представити результати в цифровому і графічному вигляді (табл. 3).

Таблиця 3. Шкала оцінки якості води по системі сапробності

Клас якості водойми	Характеристика води	Індекс сапробності за Пантле і Буком
1	Дуже чиста	<1,00
2	Чиста	1,00-1,50
3	Помірно (слабо) забруднена	1,51-2,50
4	Забруднена	2,51-3,50
5	Брудна	3,51-4,00
6	Дуже брудна	>4,00

Зонам сапробності надається цифрове значення від 0 до 4 в порядку зростання забруднення. Визначається частота народження  $A$  організмів у співтоваристві. Обидві величини входять у формулу для визначення індексу сапробності:

$$\text{Ind } S = \sum(\text{Sh}) / \sum h,$$

де  $h$  – рясність кожного виду,

$S$  – сапробність цього виду за 4-бальною шкалою (див. Додаток В).

Велика кількість  $h$  може оцінюватися по-різному, часто використовують чисельність кожного виду; за відсутності точних даних щодо чисельності рясність оцінюють у балах (наприклад: поодинокі знахідки – 1 бал, часті випадки зустрічей – 3 бали, масовий розвиток – 5 балів). За наявності в пробі 10 і більше індикаторних видів метод оцінки  $h$  зазвичай не відіграє суттєвої ролі.

Сапробність таксона  $S$  показує, у водах якого ступеня забрудненості він зазвичай зустрічається.

#### Приклад обчислення сапробності

Проба: річка, забір води нижче міста. Дата      Спільнота: перифітон

Організми	S	h	Sh
<i>Euglena viridis</i>	4	3	12
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	2	1	2
<i>Spirogyra sygmoidae</i>	2	3	6
<i>Closterium acerosum</i>	3	2	6
<i>Closterium moniliferum</i>	2	1	2
<i>Cyclotella menengiana</i>	3	3	9
<i>Cymbella vesiculosa</i>	2	2	4
<i>Diatoma vulgare</i>	2	3	6
<i>Melosira varians</i>	2	5	10
<i>Navicula viridua</i>	3	2	6
<i>Navicula cryptocephala</i>	3	2	6
<i>Nitzschia acicularis</i>	2	3	6
<i>Nitzschia palea</i>	2	2	6
<i>Surirella ovata</i>	2	2	4
<i>Chilidonella cuculata</i>	3	2	6
<i>Colpoda cuculus</i>	3	2	6

$$\sum h = 41; \sum(\text{Sh}) = 103;$$

$$\sum h_p = 3; \sum h_\alpha = 15; \sum h_\beta = 23.$$

$$\text{Ind } S = \sum(\text{Sh}) / \sum h = 103 / 41 = 2,51.$$

## Хід роботи

1. Отримати у викладача «скельця обростання» з різним часом експозиції в акваріумі (від тижня до півтора-двох місяців).
2. Розглянути під мікроскопом препарати з об'єктивом х40.
3. Використовуючи ключ для визначення основних груп водних безхребетних тварин і визначники водоростей, скласти таблицю видового різноманіття. Оцінити сапробність виявлених організмів за таблицею 1 та користуючись додатком 2.
4. Провести облік організмів по частоті згідно з таблицею 2.
5. Визначити сапробність водойми за методом Пантле і Бука, користуючись прикладом. Визначити клас якості води за допомогою таблиці 3.
6. У звіті навести всі відомості з етапів виконаної роботи, у тому числі схематичні рисунки-зображення виявлених видів.

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Дати визначення поняттю «сапробність».
2. Охарактеризувати водойму за показниками сапробності гідробіонтів, що її населяють.
3. Яким чином здійснюється підрахунок планктону та перифітону?
4. Які зони сапробності виділяють?
5. Назвіть види-індикатори полісапробної зони.

## ТЕМА 18

### БІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ АКТИВНОГО МУЛУ

**Мета:** вивчити принцип біологічного очищення стічних вод, освоїти біологічний метод аналізу активного мулу.

**Матеріали та обладнання:** мікроскоп, предметні і покривні скельця, піпетка на 1 мл, активний мул (або настій сіна 5-, 15-, 20-, 25-, 30-, 35-денної витримки в склянках на 250 мл), формалін 40 %-й, вата, спирт.

### Теоретичні відомості

Органічні забруднення стічних вод є середовищем, сприятливим для розвитку численних мікроорганізмів, які є бактеріальним забрудненням і які створюють епідемічну небезпеку.

Ступінь забрудненості стічних вод визначають за рядом показників санітарно-хімічного аналізу, основними з яких є БСК, ХСК, вміст завислих речовин, біогенних елементів (азоту і фосфору), рН, температура тощо.

Якщо для стічних вод характерне співвідношення БСК/ХСК > 0,5, то стічні води можна направляти на споруди біологічного очищення. В іншому випадку їх потрібно обробляти фізико-хімічними методами.

Для нормального перебігу процесу біологічного очищення необхідна присутність у стічних водах біогенних елементів – азоту і фосфору, у оптимальному співвідношенні БСК:N:P = 100:5:1.

Для біологічного очищення стічних вод використовують технологію з аеротенками, наведену на рис. 1.

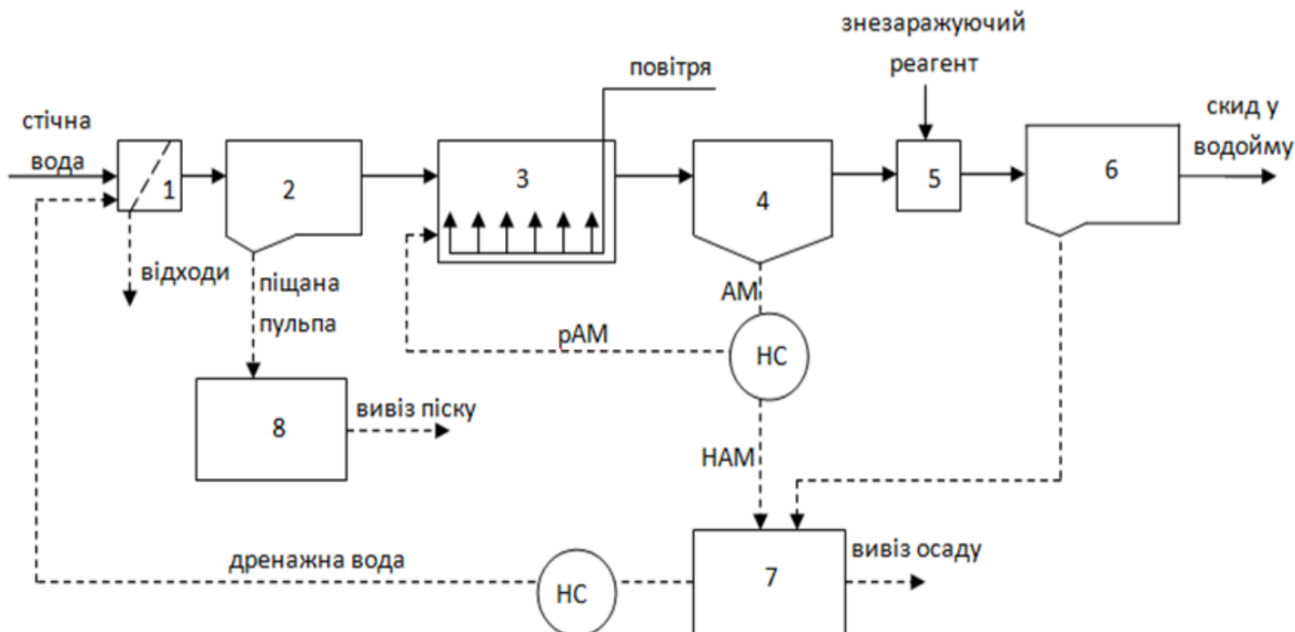


Рисунок 1. Схема технології очищення стічних вод в аеротенках:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – аеротенк продовженої аерації (ЦОК); 4 – вторинний відстійник; 5 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 6 – контактний резервуар; 7 – мулові майданчики; 8 – піскові майданчики; АМ – активний мул; НАМ – надлишковий активний мул; РАМ – рециркуляційний активний мул; НС – насосна станція.

У такій технології повне біологічне очищення здійснюють для попередньо неосвітлених стічних вод. Біологічне очищення здійснюють в аеротенках продовженої аерації. Часто використовують споруди – циркуляційні окиснювальні канали (ЦОК).

**Аеротенк** – споруда для біологічного очищення стічних вод за допомогою активного мулу і продування повітрям (аерації) (рис. 2).



Рисунок 2. Фото діючого аеротенка

Процес перетворення органічних стоків здійснюється за рахунок активного мулу (конгломератів бактерій-нітрифікаторів), який перебуває у завислому стані завдяки інтенсивному перемішуванню води. Задля підтримання швидкості нітрифікації на заданому рівні частина активного мулу, яка виноситься з очищеною водою, відокремлюється та знову спрямовується в аеротенк.

Аеротенком є бетонний проточний басейн глибиною 3-5 м, шириною 3-12 м і довжиною до 150 м. Повітря, що подається через закладені в дні аеротенка пористі пластинки (фільтроси), перемішує попередньо відстояну суміш стічної рідини і активного мулу, постачаючи кисень, потрібний для життєдіяльності бактерій, та окислюючи органічні забруднення. У аеробних умовах органічно зв'язаний азот перетворюється на амоній, який бактерії *Nitrosomonas* та *Nitrobacter* переводять відповідно у нітрити та солі нітратної (азотної) кислоти. Із зони аерації суміш оборотної води з активним мулом надходить до вбудованого відстійника з наступним осадженням мулу, фільтрацією води через завислий шар та денітрифікацією. Активний мул випадає у вторинних відстійниках, звідки знову перекачується в аеротенк, а його приріст (завислі речовини) скидається для обробки (бродіння) з осадом первинних відстійників. Час перебування стічної рідини в аеротенку 6-12 годин.

**Активний мул** – це екосистема, що складається з різних організмів з різним рівнем розвитку і місцем в трофічному ланцюжку, які беруть участь в очищенні стоків. Даний вид обробки винайшли на початку ХХ століття у Великобританії. За допомогою цього методу вдається ефективно видаляти різні речовини, включаючи фосфор і азот.

Суша речовина активного мулу містить 70-90 % органічних і 10-30 % неорганічних речовин. Субстрат, якого в активному мулі може бути до 40 %, – це суміш відмерлих водоростей і різних твердих залишків. До нього прикріплюються організми активного мулу.

Активний мул складається з живих організмів і твердого субстрату. Живі організми представлені скупченнями бактерій і поодинокими бактеріями, найпростішими червами, пліснявими грибами, дріжджами, актиноміцетами і зрідка – личинками комах, рачків, а також водоростями тощо. Угрупування всіх живих організмів, що населяють мул, називають біоценозом. Біоценоз активного мулу в основному представлений дванадцятьма видами мікроорганізмів і найпростіших. У спорудах аеробного очищення господарсько-побутових стічних вод найчастіше зустрічаються представники таких родів: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Bacterium*, *Flavobacterium* та ін.

Скупчення бактерій в активному мулі оточені слизовим шаром (капсулами). Такі скупчення називаються **зооглеями**. Вони сприяють покращенню структури мулу, його осадження і ущільнення. Часто в мулах спостерігають зооглейні скупчення бактерій *Zoogloea ramigera*. Слизові речовини містять антибіотики, здатні пригнічувати нитчасті бактерії. Бактерії, позбавлені слизового шару, з меншою швидкістю окислюють забруднення.

Активний мул є амфотерною колоїдною системою, при рН = 4-9 має негативний заряд. Незважаючи на істотні відмінності стічних вод, елементний хімічний склад активних мулів досить близький.

В активних мулах зустрічаються представники чотирьох видів найпростіших: саркодові, джгутикові, війчасті і сисні інфузорії. Найпростіші організми не беруть безпосередньої участі в руйнуванні органічних забруднень, але поглинають велику кількість бактерій (одна інфузорія пропускає через свій організм від 20 до 40 тисяч бактерій), підтримуючи їх оптимальний вміст в мулі. Вони сприяють осадженню мулу і освітленню стічних вод. Коловертки (мікроскопічні організми довжиною 0,01-2,5 мм) існують тільки при наявності в стічній воді кисню. Вони харчуються бактеріями і найпростішими.

В активному мулі в певних співвідношеннях містяться названі групи бактерій, але в залежності від складу стічних вод переважає одна з груп. Тільки основна група бактерій бере участь у процесі очищення стічних вод, а супутні групи мікробів готують середовище для існування мікроорганізмів основної групи, забезпечуючи її поживними і ростовими речовинами, утилізуючи продукти окислення. Біомаса основної фізіологічної групи бактерій, які здійснюють процес окислення, становить у мулі 80-90 %, а решта – біомаса супутніх

бактерій та інших організмів.

Середній вік мулу для нормальної роботи аеротенка та забезпечення достатньої метаболічної активності мулу становить 2-5 діб.

При утворенні активного мулу спочатку з'являються бактерії, потім найпростіші. Бактерії виділяють речовини, що стимулюють розмноження найпростіших. Вони володіють склеюючою здатністю, тому активний мул представляє собою буро-жовті грудочки і пластівці розміром 3-150 мкм. Пластівці мають поверхнею близько 1200 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> мулу (100 м<sup>2</sup> на 1 г сухої речовини). У 1 м<sup>3</sup> активного мулу міститься 21014 бактерій.

Важливим показником якості активного мулу є його здатність до осідання. Оцінюється ця властивість величиною мулового індексу, який являє собою об'єм активного мулу в дм<sup>3</sup> після 30-хвилинного відстоювання 100 дм<sup>3</sup> мулової суміші, віднесений до 1 г сухої речовини мулу. Чим краще мул відстоюється, тим менше його муловий індекс. Нормальний муловий індекс становить 70-100 дм<sup>3</sup>/г.

Для забезпечення процесу потрібні:

- стоки з нормальним співвідношенням вуглецю, фосфору, азоту, сірки, марганцю, заліза, кобальту, інших хімічних елементів;
- контроль за кількістю небезпечних речовин: їх відсоток не повинен перевищувати граничні норми;
- достатній відсоток кисню;
- нормальна температура;
- інтенсивна аерація.

Крім перерахованого потрібно правильно обчислювати навантаження на мул, тобто яка кількість небезпечних компонентів буде оптимальною для ефективності процесу. Також береться до уваги час взаємодії стічних вод з мулом. Враховуються особливості схем біоочищення, обладнання, що застосовуються для роботи.

Як правило, 1 г мулу (за беззольною речовиною) зберігає свою нормальну активність за добового навантаження на нього 150-500 мг БСК<sub>повн</sub>. При більших навантаженнях – понад 500 мг/(г·добу), аеротенк є високонавантаженим і працює на неповне очищення, а активний мул варто регенерувати. За менших навантажень – 65-150 мг БСК<sub>повн</sub> на 1 г беззольної речовини мулу за добу, має місце так звана «продовжена аерація», за якої відбувається самоокиснення клітинної речовини активного мулу.

Якість мулових відкладів визначається бактеріями. Які вони і яка їх кількість дозволяє дізнатися аналіз донних відкладів. Він ґрунтується на мікроскопуванні. При цьому визначають: біоценоз мулу; його особливості; умови проживання; забезпечення мікроорганізмів; виявляються бактерії, що реагують на властивості, склад стоків, які зазнають очищення. Чисельність одного з організмів може стати показником ефективності і стабільності процесу очищення стоків. За допомогою даного методу вдається визначати відхилення, зміни біоскладу від норми, прогнозувати терміни змін стічних рідин.

Біологічний аналіз активного мулу має велике значення для оперативного контролю стану процесу біологічної очистки стічних вод. Найпростіші індикаторні організми добре реагують на зміни умов існування: навантаження на мул, забезпеченість киснем, наявність токсинів, ступінь регенерації активного мулу тощо. Загальна кількість найпростіших і різноманітність видів змінюються, крім того, за сезонами року. У зимовий період (температура води 12-13 °С) спостерігається найбільша кількість найпростіших при порівняно невеликій їх різноманітності (9-11 видів). Улітку (температура води 23-25 °С) різноманітність видів найбільша (понад 15 видів) при незначній загальній кількості найпростіших.

У зв'язку зі своєю екологічною ситуацією в аеротенках всі організми активного мулу можна розглядати як показники умов середовища існування, тобто складу стічних вод і технологічного режиму їх очищення.

Причини численних відхилень від оптимального режиму біологічного очищення можна розділити на дві великі групи. Перша група – надходять стічні води несприятливі для біологічної очистки: можуть бути токсичними, незбалансованими за елементами живлення (перевантаження або недовантаження, як по зваженим речовинам, так і по витраті стічних



вод), нерівномірно потрапляють на аераційні споруди.

Друга група – порушення експлуатації очисних споруд. До них відносяться: несвоєчасне вивантаження осілого мулу в аеротенк, недостатня аерація активного мулу в аераційних спорудах. Відхилення в режимі експлуатації міських очисних споруд або у складі стічних вод позначаються на чисельності біологічних індикаторів активного мулу (табл. 1).

При погіршенні циркуляції мулу сума всіх вільноживучих війчастих інфузорій перевищує суму прикріплених війчастих інфузорій, знайдених в активному мулі. На напруженість у процесах циркуляції мулу вказує рівність між сумою прикріплених і вільноплаваючих інфузорій. Збільшення чисельності дрібних джгутикових і дрібних голих амеб свідчить про погіршення режиму аерації. Сума всіх видів коловерток – показник інтенсивності процесу нітрифікації: при відсутності нітрифікації коловертки в активному мулі не виявляються.

Таблиця 1. Використання індикаторних організмів активного мулу для технологічного контролю роботи міських очисних споруд

Зміни в технологічному режимі	Індикаторні організми та ознаки
Токсичні стоки	<i>Actinophrye</i> <i>Gromia neglesta</i> (чисельність перевищує 2 млн. на 1 г сухого мулу) <i>Zooglea ramigera</i> Цисти найпростіших Нитчасті водорості, гриби
Порушення циркуляції мулу в системі	Позитивні ознаки: наявність прикріплених інфузорій Негативні ознаки: наявність вільноплаваючих інфузорій
Порушення аерації	Дрібні джгутикові Дрібні амеби
Зміни малих навантажень на мул	Зміна суми бентосних ракоподібних амеб
Продуктивність процесу нітрифікації	Зміна суми коловерток

Принцип запропонованого в лабораторній роботі методу – облік кількості та стану організмів-індикаторів за результатами мікроскопування активного мулу. На підставі цих характеристик роблять висновок про стан активного мулу і його здатність до переробки забруднень. Біологічний аналіз доповнює технологічний контроль якості очищення та роботи комплексу споруд біологічної очистки.

Проби для аналізу беруть окремо з кожної споруди: аеротенка, регенератора, вторинного відстійника, біофільтра.

Рідку пробу, відібрану ковшем, переливають в широкогорлу банку, заповнюють її на половину обсягу і закривають пробкою. Негайно переносять у лабораторію і приступають до аналізу не пізніше ніж через 20-30 хвилин з моменту взяття проби (протягом 1-2 год пробу, не закрити пробкою, можна зберігати в холодильнику).

Для відбору проб з дна споруди з вторинного відстійника або з резервуару може бути застосований батометр. Якщо його немає, використовують склянку з пробкою, відкриваючи її на заданій глибині за допомогою троса, прикріпленого до пробки.

Проби з біофільтрів відбирають скребком на різних глибинах завантаження. У лабораторії беруть зіскрібки плівки з твердого субстрату і розглядають під мікроскопом.

Негайно після доставки проб з аераційних споруд у лабораторію відливають з кожної проби 100 мл у циліндр для визначення обсягу мулу через 30 хвилин відстоювання та дози мулу.

Зазвичай для фіксації препаратів використовують 40 %-й формалін. За можливості для фіксації застосовують рідину Утермеле: у 20 мл дистильованої води з 5 г двічі сублимованого йоду розчиняють 10 г KI, додають 50 мл дистильованої води і 5 г оцтовокислого натрію. Розчин зберігають не більше 1 місяця в склянці з темного скла з притертим корком.

Для мікроскопування джгутикових придатний йод, 0,3 %-й водний розчин; для наркозу

коловерток – сульфат нікелю, 1 %-й водний розчин. Нейтральрот, водний розчин (1:800) застосовують для мікроскопування найпростіших; гліцерин – для мікроскопування черв'яків і виготовлення тимчасових препаратів. Спирт етиловий 96 %-й є універсальним засобом для фіксації організмів.

Основним методом аналізу організмів активного мулу (найпростіших, коловерток тощо) є мікроскопування в живому стані. В очищеній воді для згущення проби застосовують центрифугування, відстоювання або фільтрування через мембранний фільтр № 6 (розмір пор 2-5 мкм). Краплю свіжого мулу наносять на скло, покривають покривним склом і розглядають під мікроскопом. Рекомендується переглядати до 10-15 крапель. Крім визначення видів організмів відзначають фізіологічний стан організмів, структуру мулу, наявність зооглеї, включення мінеральних або органічних частинок, сміття тощо.

При визначенні видів організмів треба детально розглянути їх внутрішню будову, тому їх роблять нерухомими, застосовуючи фіксацію або наркоз. Звичайні фіксатори (етиловий спирт та формалін) сильно деформують найпростіших, тому застосовують швидкодіючий фіксатор – пари осмієвої кислоти. Щоб зафіксувати препарат, на предметне скло наносять краплю рідини з найпростішими, скло швидко перевертають краплею всередину склянки з розчином осмієвої кислоти і витримують протягом декількох секунд щільно притиснутими до шийки склянки. Потім розглядають препарат під покривним склом при великому збільшенні.

При якісному перегляді проб наявність організмів можна оцінювати за п'ятибальною шкалою. Найбільш прийнятна шкала шестиступінчаста – дев'ятибальна (1, 2, 3, 5, 7, 9). Однак якісна оцінка суб'єктивна, а також недостатньо точна, тому застосовують кількісний облік у лічильних камерах.

Якщо неможливо підрахувати кожний вид організмів окремо, то кількісний облік організмів проводять за наступними рахунковими групами: нитчасті бактерії, губки, зооглеї, джгутикові, амеби, вільноплаваючі і сидячі інфузорії, коловертки, черв'яки, личинки комах, рачків тощо. При взятті проби піпеткою слід ретельно перемішувати рідину.

Кількість організмів виражають в примірниках або об'ємних одиницях біомаси на 1 мл мулової суміші активного мулу, а також на 1 г сухої речовини активного мулу. При порівнянні активного мулу з різних споруд – аеротенка і регенератора або двох аеротенків з різними дозами мулу, краще виражати вміст організмів на 1 г сухої речовини мулу. Для цього одночасно з мікроскопіюванням з тієї ж проби визначають дозу мулу і потім ділять число організмів на дозу мулу в грамах.

Оскільки організми сильно відрізняються між собою за розмірами, правильніше виражати вміст організмів не в числі, а в їх біомасі. Для цього обчислюють об'єм організмів, виходячи з вимірів їх розмірів за допомогою окуляра-мікрометра і прирівнюючи форму кожного організму до простого геометричного тіла. Щільність організмів приймають рівною одиниці, отримують біомасу в грамах.

## Хід роботи

1. Отримати у викладача зразки активного мулу або його «макет». Зручним макетом є сінний настій різного терміну витримки з індикаторними видами, що розвиваються в ньому. Техніка приготування сінного настою: сухе сіно (або суху траву; 2 г на 100 мл води) подрібнюють ножицями. Подрібнене сіно кладуть у будь-який посуд, що витримує кип'ятіння, заливають водою та кип'ятять 10-15 хвилин на слабкому вогні. Після охолодження проварене сіно разом із відваром переливають до скляної банки місткістю 0,5-0,7 літра й витримують кілька діб у теплом місці до утворення на поверхні тонкої плівки бактерій (отвір банки кришкою не закривати!).

2. Використовувати мікроскоп з малим збільшенням. На предметне скло нанести піпеткою краплю попередньо добре перемішаної мулової суміші і накрити покривним склом. Негайно приступити до мікроскопіювання. Замальовувати виявлені у всіх полях зору види в робочий зошит.

3. На наступному етапі на предметне скло нанести довільну кількість осілого мулу і

затиснути між двома предметними скельцями. Тут слід зосередити увагу на стані організмів, величині, формі і щільності пластівців мулу, наявності сторонніх домішок.

4. Дати можливу характеристику активного мулу за наявності індикаторних видів.

5. У звіті представити малюнки наявних груп організмів – індикаторів, відомості про їх кількісний облік, оцінку ступеня очищення мулу.

### **Питання для самоконтролю знань**

1. Дати визначення поняттю «активний мул».
2. Як здійснюється відбір проб для аналізу зі споруд біологічного очищення?
3. Яким чином здійснюється визначення видового складу активного мулу?
4. Як визначається об'єм організмів, що знаходяться у досліджуваних пробах?
5. Якими фіксаторами користуються при дослідженні активного мулу?

## **ТЕМА 19**

### **РАДІОЄМНІСТЬ ВОДОЙМ. ГРАНИЧНО ДОПУСТИМІ СКИДИ РАДІОАКТИВНИХ РЕЧОВИН У ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ**

**Мета:** ознайомитися з методами визначення вмісту і розподілу радіонуклідів у водних екосистемах.

**Матеріали та обладнання:** таблиці коефіцієнту швидкості переходу елементів із води до донних відкладів, періоду напіврозпаду радіонуклідів, гранично допустимі концентрації радіонуклідів у питній воді для населення.

### **Теоретичні відомості**

Розрізняють природні і антропогенні джерела радіонуклідного забруднення водойм. До *природних джерел* відносять космічне випромінювання, природні радіоактивні ізотопи, або радіонукліди, що містяться у земній корі, атмосфері та біоті. Внаслідок процесів вилуговування, вивітрювання та ерозії гірських порід, випаровування та випадіння опадів, відмирання та розкладання живих організмів відбувається безперервна міграція природних радіонуклідів, чим обумовлюється природний радіаційний фон.

Основні процеси, які зумовлюють появу та вміст радіоактивних елементів у воді, – це розчинення сполук, які перебувають у твердому стані і містять радіоактивні ізотопи; виділення радіоактивних ізотопів із водного розчину у вигляді осадів; поглинання або виділення із води радіоактивних газів.

У водойми радіонукліди потрапляють різними шляхами – повітряним (атмосферне перенесення), водним (поверхневі змиви, ґрунтові води) і біологічним (передача трофічними ланцюгами). Потрапивши у водне середовище, вони включаються у процеси міграції та розподілу в абіотичних (вода, зависі, донні відклади) і біотичних (гідробіоти різних трофічних рівнів) компонентах водних екосистем.

Кількісна і просторова міграція радіонуклідів визначається, в основному, їхньою здатністю розчинятися у воді, утворювати колоїди і псевдоколоїди, абсорбуватися на завислих частинках. Найбільша міграційна активність і розсіювання у природних водах спостерігається для  $^{238}\text{U}$  і  $^{40}\text{K}$ , менша – для  $^{226}\text{Ra}$ , ще менша – для  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  і  $^{210}\text{Po}$ . Річки виступають основним шляхом транспортування радіонуклідів. Зі збільшенням водності ріки зростає і виніс радіонуклідів. У розподілі та накопиченні радіоактивних ізотопів величезну роль відіграють донні відклади. Їхня накопичувальна здатність залежить від фізико-хімічних властивостей, ступеня замуленості, окисно-відновних умов, рН і заселення бентосними організмами. Особливо високою здатністю накопичувати радіонукліди відрізняються глина та мул. Донні відклади виступають основним депо для ізотопів цезію і мало розчинних форм

інших радіонуклідів.

Для оцінки вмісту і розподілу радіонуклідів у водній екосистемі було запропоновано використовувати поняття радіємність водойми.

**Радіємність** – це рівень навантаження радіонуклідами, за якого водна екосистема втрачає свою стійкість внаслідок радіаційного ураження.

Коефіцієнт розподілу і-радіонукліда у системі «вода-донні відклади» ( $Kd_i$ ) визначається за формулою:

$$Kd_i = k_i \cdot t_{pi} \cdot \rho,$$

де  $k_i$  – коефіцієнт, який відображає швидкість переходу  $i$ -хімічного елемента із води до донних відкладів (табл. 1);

$t_{pi}$  – тривалість забруднення водойми і-радіонуклідом, с;

$\rho$  – поверхнева щільність донних відкладів  $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 1. Швидкість переходу речовини з води до донних відкладів,  $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}$

Клас речовин	Хімічний елемент	Значення $k_i$
A – речовини, які швидко взаємодіють з донними відкладами	Mn, Co, Zr, Ru, Cs, Eu, Ce, Pu, Am, Cr, Cm	$5 \cdot 10^{-8}$
B – речовини, які повільно взаємодіють з донними відкладами	Sr, Y, C, Zn	$3 \cdot 10^{-9}$
C – речовини, які дуже слабо взаємодіють з донними відкладами	Te, Tc, Nb, Ag, Sb, I	$4 \cdot 10^{-10}$

Постійна радіоактивного розпаду ( $\lambda_i$ ) – визначає вірогідність розпаду ядра і-радіонукліда за одиницю часу і розраховується наступним чином:

$$\lambda_i = \frac{\ln 2}{T_{1/2i}},$$

де  $\lambda_i$  – постійна радіоактивного розпаду і-радіонукліда,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\ln 2 = 0,693$ ;

$T_{1/2i}$  – період напіврозпаду і-радіонукліда, с.

Таблиця 2. Період напіврозпаду радіонуклідів

Радіонуклід	Період напіврозпаду радіонукліда, $T_{1/2i}$		Постійна радіоактивного розпаду, $\lambda_i$
	роки	секунди	
Цезій, $^{137}\text{Cs}$	30,1671		
Стронцій, $^{90}\text{Sr}$	28,90		
Кобальт, $^{60}\text{Co}$	5,2713		

Радіємність води встановлюється за формулою:

$$FW_i = \left(1 + \frac{Kd_i \cdot S \cdot h_i}{V}\right) \cdot (31,536 \cdot 10^6 \cdot \lambda_i \cdot V + r),$$

де  $FW_i$  – радіаційна ємність водойми для і-радіонукліда,  $\text{м}^3/\text{рік}$ ;

$S$  – площа дзеркала водойми,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – обсяг водойми,  $\text{м}^3$ ;

$\lambda_i$  – постійна радіоактивного розпаду і-радіонукліда,  $\text{с}^{-1}$ ;

$h_i$  – ефективний шар ґрунтів дна водойми для і-радіонукліда, м;

$Kd_i$  – коефіцієнт розподілу і-радіонукліда в системі «вода-донні відклади» (специфічний для кожного типу радіонукліда);

$r$  – сумарні втрати забрудненої води різними шляхами (в даному випадку – забір води на водоспоживання, який становить  $5,38 \cdot 10^7 \text{ м}^3/\text{рік}$ );

$31,536 \cdot 10^6$  – коефіцієнт поправки, який враховує вірогідність розпаду і-радіонукліда протягом року (за  $31,536 \cdot 10^6$  с).

Ефективний шар ґрунтів дна водойми ( $h_i$ ) – це шар донних відкладів, в якому

відбувається акумуляція шкідливих речовин, які надходять до водойми зі стічними водами. Величини ефективного шару ґрунтів дна водойми наведені у таблиці 3.

Таблиця 3. Ефективний шар ґрунтів водойми

Для і-хімічних елементів та їх радіоактивних ізотопів	Ефективний шар ґрунту ( $h_i$ ), м
Cs, Po, Co, Zn, Cd, I	$h_i = 0,1$ м
Sr, Ru, Zr, Nb та ін.:	
- на глинистих ґрунтах:	$h_i = 0,3$ м
- на ділянках з піщаним дном:	$h_i = 1,5$ м

Значення гранично допустимого скиду ( $ГДС_i$ ) і-радіоактивної речовини в водойму розраховується за формулою:

$$ГДС_i = ГДК_i \cdot Fw_i,$$

де  $ГДС_i$  – гранично допустимий скид і-радіонукліда у водойму;

$ГДК_i$  – гранично допустима концентрація і-радіонукліда у воді (залежить від типу радіонукліда та характеру водоспоживання з даної водойми), Бк/м<sup>3</sup>;

$Fw_i$  – радіємність водойми для і-радіонукліда, м<sup>3</sup>/рік.

Таблиця 4. Гранично допустимі концентрації радіонуклідів у питній воді для населення (НРБУ-97)

Радіонуклід	ГДК, Бк/м <sup>3</sup>	Радіонуклід	ГДК, Бк/м <sup>3</sup>	Радіонуклід	ГДК, Бк/м <sup>3</sup>
Тритій, <sup>3</sup> H	$3 \cdot 10^7$	Кобальт, <sup>60</sup> Co	$8 \cdot 10^4$	Йод, <sup>129</sup> I	$7 \cdot 10^3$
Вуглець, <sup>11</sup> C	$2 \cdot 10^7$	Цинк, <sup>65</sup> Zn	$1 \cdot 10^5$	Йод, <sup>131</sup> I	$2 \cdot 10^4$
Вуглець, <sup>14</sup> C	$2 \cdot 10^6$	Рубідій, <sup>86</sup> Rb	$1 \cdot 10^5$	Цезій, <sup>134</sup> Cs	$7 \cdot 10^4$
Натрій, <sup>22</sup> Na	$2 \cdot 10^5$	Стронцій, <sup>90</sup> Sr	$1 \cdot 10^4$	Цезій, <sup>137</sup> Cs	$1 \cdot 10^5$
Натрій, <sup>24</sup> Na	$1 \cdot 10^6$	Цирконій, <sup>96</sup> Zr	$5 \cdot 10^5$	Свинець, <sup>210</sup> Pb	$5 \cdot 10^2$
Марганець, <sup>54</sup> Mn	$8 \cdot 10^5$	Ніобій, <sup>95</sup> Nb	$5 \cdot 10^5$	Полоній, <sup>210</sup> Po	$2 \cdot 10^2$
Марганець, <sup>56</sup> Mn	$2 \cdot 10^6$	Технецій, <sup>90</sup> Tc	$5 \cdot 10^5$	Радій, <sup>226</sup> Ra	$1 \cdot 10^3$
Залізо, <sup>60</sup> Fe	$1 \cdot 10^5$	Рутеній, <sup>106</sup> Ru	$5 \cdot 10^4$	Торій, <sup>232</sup> Th	$7 \cdot 10^2$
Кобальт, <sup>57</sup> Co	$2 \cdot 10^6$	Срібло, <sup>108</sup> Ag	$5 \cdot 10^5$	Уран, <sup>235</sup> U	$1 \cdot 10^4$

Розрахунок перевищення гранично-допустимого скиду радіоактивних речовин розраховується за формулою:

$$\frac{Q_{Cs}}{ГДС_{Cs}} + \frac{Q_{Sr}}{ГДС_{Sr}} + \frac{Q_{Co}}{ГДС_{Co}}.$$

Якщо у водойму скидається декілька різних радіонуклідів, тоді:

$$\frac{Q_i}{ГДС_i} + \frac{Q_n}{ГДС_n} + \dots \leq 1,$$

де  $Q_i, Q_n$  – фактичний скид радіонуклідів  $i, n$  підприємством;

$ГДС_i, ГДС_n$  – граничнодопустимий скид радіоактивних речовин  $i, n$ .

## Хід роботи

### 1. Виконайте ситуаційне завдання.

Відомо, що з АЕС до водойми скидаються стічні води, які містять радіоактивний цезій <sup>137</sup>Cs у кількості  $Q_{Cs} = 4,31 \cdot 10^{13}$  Бк/рік, радіоактивний стронцій <sup>90</sup>Sr у кількості  $Q_{Sr} = 5,32 \cdot 10^{10}$  Бк/рік та радіоактивний кобальт <sup>60</sup>Co у кількості  $Q_{Co} = 3,57 \cdot 10^8$  Бк/рік. Обсяг водойми становить  $V = 9,83 \cdot 10^8$  м<sup>3</sup>, площа дзеркала водойми  $S = 9 \cdot 10^8$  м<sup>2</sup>, ґрунти водойми глинисті, водойма використовується АЕС протягом 12 років (1 рік =  $31,536 \cdot 10^6$  с). Встановіть чи придатна вода у даній водоймі для питного водоспоживання.

## 2. Розрахуйте:

- значення  $Kd$  для кожного з радіонуклідів;
- постійну радіоактивного розпаду для  $^{37}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{60}\text{Co}$  і внесіть отримані дані до таблиці 2;
- радіємність води водойми для  $^{37}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{60}\text{Co}$ , які скидаються до водойми;
- річні граничнодопустимі скиди АЕС радіонуклідів  $^{37}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{60}\text{Co}$  у дану водойму;
- у скільки разів реальний скид радіоактивних стічних вод перевищує гранично допустимий рівень скиду.

Зробіть висновок про можливість питного водоспоживання з даного джерела.

### *Питання для самоконтролю знань*

1. Назвіть природні і антропогенні джерела радіонуклідного забруднення водойм.
2. Охарактеризуйте процеси просторової міграції радіонуклідів у водному середовищі.
3. Поясніть визначення «радіємність водойми».
4. Назвіть радіонукліди з тривалим періодом напіврозпаду.
5. Проаналізуйте вплив різних доз іонізуючого випромінювання на живі організми.

## ТЕМА 20

### ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЗА ВІДПОВІДНИМИ КАТЕГОРІЯМИ

**Мета:** оволодіти методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями.

**Матеріали та обладнання:** робочий зошит, ручка, варіанти практичних завдань.

### Теоретичні відомості

**Екологічна оцінка якості вод** – це віднесення води до певного класу, категорії згідно з екологічною класифікацією на підставі аналізу значень показників її складу і властивостей [32]. Екологічна оцінка якості вод дає інформацію про воду як складову водної екосистеми, життєве середовище гідробіонтів, а також придатність її для конкретних цілей використання людиною.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод є основою для з'ясування тенденцій її змін в часі і просторі, визначення впливу антропогенного навантаження на екосистеми водних об'єктів, оцінки змін стану водних ресурсів, вирішення економічних і соціальних питань, пов'язаних із забезпеченням охорони довкілля, інформування громадськості. Вона є основою для оцінки впливу людської діяльності на навколишнє середовище (ОВД), визначення певних водоохоронних регламентів і застережень (стосовно кожного водного об'єкта окремо), планування і здійснення водоохоронних заходів та оцінки їх ефективності.

Критеріальною базою екологічної оцінки є екологічна класифікація якості поверхневих вод, яка має здійснюватися за екосистемним принципом. Необхідна повнота і об'єктивність характеристики якості поверхневих вод досягається достатньо широким набором гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, бактеріологічних та інших показників, які відображають особливості абіотичної і біотичної складових водних екосистем.

Екологічну класифікацію здійснюють за певними якісними ознаками об'єктів чи за їх числовими значеннями – критеріями [3].

**Критерій якості води** – це показники її складу та властивостей у кількісному виразі у вигляді значення, якому відповідають певні клас та категорія – рівні якості води, установлені за інтервалами числових значень показників її складу і властивостей.

Комплекс показників екологічної класифікації якості поверхневих вод включає загальні та специфічні показники.

**Загальні показники** – це показники сольового складу і трофо-сапробності вод, що характеризують звичайні властиві водних екосистем, концентрації яких можуть змінюватися під впливом господарської діяльності.

**Специфічні показники** характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної і радіаційної дії.

Система екологічної класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв України включає три блоки показників:

- блок показників сольового складу;
- блок трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;
- блок специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

**Оцінка сольового складу поверхневих вод** передбачає наступне:

- визначення мінералізації, або галінності (від гр. hals – сіль) вод;
- визначення класу, групи і типу вод за іонним складом (співвідношенням основних іонів);
- оцінку якості прісних (гіпо- і олігогалінних) та солонуватих (мезогалінних) вод за вмістом компонентів сольового складу, що відображає ступінь їх антропогенного забруднення хлоридами, сульфатами та іншими іонами.

Класифікація якості поверхневих вод **за критерієм мінералізації** (табл. 1) має три класи і підпорядковані їм сім категорій якості води:

- клас прісних вод (I) з двома категоріями: гіпогалінних (1) і олігогалінних (2) вод;
- клас солонуватих вод (II) з трьома категоріями: β-мезогалінних (3), α-мезогалінних (4) і полігалінних (5) вод;
- клас солоних вод (III) з двома категоріями: еугалінних (6) і ультрагалінних (7) вод.

Таблиця 1. **Класифікація якості поверхневих вод за критерієм мінералізації**

Клас якості	Прісні води (I)		Солонуваті води (II)			Солоні води	
	гіпо-галінні (1)	оліго-галінні (2)	β-мезо-галінні (3)	α-мезо-галінні (4)	полі-галінні (5)	еугалінні (6)	ультра-галінні (7)
Мінералізація, г/л (%)	<0,50	0,51-1,00	1,01-5,00	5,01-18,0	18,01-30,0	30,01-40,0	>40,00

Класифікація якості поверхневих вод за критеріями іонного складу поділяє їх на три класи за аніонним складом – гідрокарбонатні, сульфатні та хлоридні, кожен з яких, в свою чергу, диференціюється на три групи за катіонним складом – кальцієві, магнієві та натрієві, тобто існує дев'ять категорій вод за іонним складом (табл. 2). Крім того, певні категорії вод за іонним складом поділяються також на чотири типи за кількісним співвідношенням іонів.

Сольовий склад поверхневих вод оцінюють за сумою іонів та окремими інгредієнтами.

Клас води визначають за переважаючими аніонами, групи – за переважаючими катіонами, типи вод – за співвідношенням між іонами (в еквівалентах):

I –  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ;

II –  $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ;

III –  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  або  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$ ;

IV –  $\text{HCO}_3^- = 0$ .

Таблиця 2. **Класифікація якості поверхневих вод за критеріями іонного складу**

Клас	Гідрокарбонатні (C)			Сульфатні (S)				Хлоридні (Cl)		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	
Група	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	
Тип	I II III	I II III	I II III	I II III	II III IV	I II III	II III IV	II III IV	I II III	

Приклади позначення видів природних вод:

$\text{Cl}^{\text{Ca}}$  –гідрокарбонатний клас, кальцієва група, тип другий;

$\text{S}_{\text{Cl}}^{\text{Ca}}$  – сульфатно-хлоридно-кальцієві води другого типу.

Прісні гіпо- і олігогалінні та солонуваті мезогалінні води оцінюють також за критеріями їх забруднення компонентами сольового складу, а саме за значеннями суми іонів,

хлоридів і сульфатів (табл. 3 та табл. 4).

Таблиця 3. Класифікація якості прісних гіпо- та олігогалинних вод за критеріями забруднення компонентами сольового складу

Клас якості	I		II		III		IV	V
Категорія	1	2	3	4	5	6	7	
Показники, мг/л								
Сума іонів	≤500	501-750	751-1000	1001-1250	1251-1500	1501-2000	>2000	
Хлориди	≤20	21-30	31-75	76-150	151-200	201-300	>300	
Сульфати	≤50	51-75	76-100	101-150	151-200	201-300	>300	

Таблиця 4. Класифікація якості солонуватих β-мезогалинних вод за критеріями забруднення компонентами сольового складу

Клас якості	I		II		III		IV	V
Категорія	1	2	3	4	5	6	7	
Показники, мг/л								
Сума іонів	1000-1500	1501-2000	2001-2500	2501-3000	3001-3500	3501-4000	>4000	
Хлориди	≤200	201-400	401-600	601-800	801-1000	1001-1200	>1200	
Сульфати	≤400	401-800	801-900	901-1000	1001-1100	1101-1200	>1200	

Екологічна класифікація якості поверхневих вод за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями (табл. 5) включає такі групи показників:

- гідрофізичні показники – завислі речовини, прозорість;
- гідрохімічні показники – рН, концентрації азоту амонійного, нітритного, нітратного, фосфору фосфатів, розчиненого оксигену, перманганатна та біхроматна окислюваності (ХСК), БСК;
- гідробіологічні показники – біомаса фітопланктону, індекс самоочищення-самозабруднення;
- бактеріологічні показники – чисельність бактеріопланктону та сапрофітних бактерій;
- біоіндикація сапробності – індекси сапробності за системами Пантле-Букка і Гуднайта-Уітлея.

Для забезпечення обґрунтованих висновків загальна кількість показників цього блоку повинна бути не менша 10.

Блок показників якості поверхневих вод за критеріями вмісту і біологічної дії специфічних речовин включає такі три спеціалізовані класифікації:

- екологічну класифікацію якості поверхневих вод за критеріями вмісту специфічних речовин *токсичної дії*;
- екологічну класифікацію якості прісних гіпо- і олігогалинних та солонуватих β-мезогалинних вод за *рівнем токсичності*;
- екологічну класифікацію якості поверхневих вод за критеріями специфічних показників *радіаційної дії*.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії (табл. 6) дається на підставі наявності та вмісту у воді таких інгредієнтів, як ртуть, кадмій, мідь, цинк, свинець, хром, нікель, миш'як, залізо, марганець, фториди, ціаніди, нафтопродукти, феноли (леткі), синтетичні поверхнево-активні речовини. Оцінка важких металів дається за їх загальним вмістом у воді.

Екологічна оцінка якості води в певному водному об'єкті може бути орієнтовною і ґрунтовною. Ґрунтова узагальнююча оцінка необхідна для переконливих, відповідальних висновків і рішень.

Орієнтовна екологічна оцінка є необхідною з розвідувальною (рекогносцирувальною) метою для надання попередніх висновків та рішень і виконується на основі разових вимірів окремих показників якості води.



Таблиця 5. Екологічна класифікація якості поверхневих вод за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними критеріями)

Клас якості	I		II		III		IV	V
Категорія	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Гідрофізичні показники, мг/л</i>								
Завислі речовини	<5	5-10	11-20	21-30	31-50	51-100	>100	
Прозорість (по диску Секкі), м	>1,5	1,00-1,50	0,65-0,95	0,50-0,60	0,35-0,45	0,20-0,30	<0,20	
<i>Гідрохімічні показники, мг/л</i>								
pH	6,9-7,0	6,7-6,8	6,5-6,6	6,3-6,4	6,1-6,2	5,9-6,0	<5,9	
	7,1-7,5	7,6-7,9	8,0-8,1	8,2-8,3	8,4-8,5	8,6-8,7	>8,7	
Азот, мг/л								
- амонійний	<0,10	0,10-0,20	0,21-0,30	0,31-0,50	0,51-1,00	1,01-2,50	>2,50	
- нітритний	<0,002	0,002-0,005	0,006-0,010	0,011-0,020	0,021-0,050	0,051-0,100	>0,10	
- нітратний	<0,20	0,20-0,30	0,31-0,50	0,51-0,70	0,71-1,00	1,01-2,50	>2,50	
Фосфор фосфатів, мг/л	<0,015	0,015-0,030	0,031-0,050	0,051-0,100	0,101-0,200	0,201-0,300	>0,300	
Розчинений кисень, мг/л	>8,0	7,6-8,0	7,1-7,5	6,1-7,0	5,1-6,0	4,0-5,0	<4,0	
ХСК, мг/л	<9	9-15	16-25	26-30	31-40	41-60	>60	
БСК <sub>5</sub> , мг/л	<1,0	1,0-1,6	1,7-2,1	2,2-4,0	4,1-7,0	7,1-12,0	>12,0	
<i>Гідробіологічні показники</i>								
Біомаса фітопланктону, мг/л	<0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	5,1-10,0	10,1-50,0	>50,0	
Індекс самоочищення/самозабруднення (A/R)	1,0	0,9 1,1	0,8 1,2	0,7 1,3-1,5	0,6 1,6-2,0	0,5 2,1-2,5	<0,5 >2,5	
<i>Бактеріологічні показники</i>								
Чисельність бактеріопланктону, млн.кл./см	<0,5	0,5-1,5	1,6-2,5	2,6-5,0	5,1-10,0	10,1-50,0	>50,0	
<i>Сапробність</i>								
-зона	олігосапробні		β-мезосапробні		α-мезосапробні		полісапробні	
-підзона	β-олігосапробні	α-олігосапробні	β'-мезосапробні	β''-мезосапробні	α'-мезосапробні	α''-мезосапробні	полісапробні	
<i>Трофність (переважаючий тип)</i>								
категорія	оліготрофні	мезотрофні		евтрофні		політрофні	гіпертрофні	
підкатегорія	оліготрофні-олігомезотрофні	мезотрофні	мезо-евтрофні	евтрофні	евполітрофні	політрофні	гіпертрофні	

Таблиця 6. Екологічна оцінка якості поверхневих вод за специфічними показниками токсичної дії

Клас якості	I	II		III		IV	V
Категорія	1	2	3	4	5	6	7
<i>Показники, мкг/л</i>							
Ртуть	<0,02	0,02-0,05	0,06-0,20	0,21-0,50	0,51-1,0	1,01-2,5	>2,50
Кадмій	<0,1	0,1	0,2	0,3-0,5	0,6-1,5	1,6-5,0	>5,0
Мідь	<1	1	2	3-10	11-25	26-50	>50
Цинк	<10	10-15	16-20	21-50	51-100	101-200	>200
Свинець	<2	2-5	6-10	11-20	21-50	51-100	>100
Хром (заг.)	<2	2-3	4-5	6-10	11-25	26-50	>50
Нікель	<1	1-5	6-10	11-20	21-50	51-100	>100
Миш'як	<1	1-3	4-5	6-15	16-25	26-35	>35
Залізо (заг.)	<50	50-70	71-100	101-500	501-1000	1001-2500	>2500
Марганець	<10	10-25	26-50	51-100	101-500	501-1250	>1250
Фториди	<100	100-125	126-150	151-200	201-500	501-1000	>1000
Ціаніди	0	1-5	6-10	11-25	26-50	51-100	>100
Нафто-продукти	<10	10-25	26-50	51-100	101-200	201-300	>300
Феноли (леткі)	0	<1	1	2	3-5	6-20	>20
СПАР	0	<10	10-20	21-50	51-100	101-250	>250

Ґрунтова узагальнююча оцінка необхідна для переконливих, відповідальних висновків і рішень. Процедура виконання екологічної оцінки складається з чотирьох послідовних етапів:

- групування і обробки вихідних даних (результатів систематичного контролю якості води);
- визначення класів і категорій якості води за окремими показниками;
- узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях) по окремих блоках з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води;
- визначення об'єднаної оцінки якості води для певного водного об'єкта загалом або окремих ділянок за певний період спостережень.

Вихідні дані з якості води за окремими її показниками групуються у просторі і часі, а також у межах трьох блоків.

Згруповані по блоках щодо кожного наявного показника якості води, вихідні дані (вибірки) піддаються певній обробці: обчислюються середньоарифметичні та визначаються найгірші (мінімальні чи максимальні) значення.

Екстремальні значення окремих показників аналізуються з метою з'ясування природних чи антропогенних причин, які могли викликати їх появу, і прийняття рішень про використання чи вилучення цих значень.

Визначення класів і категорій якості води для окремих показників здійснюють шляхом зіставлення середніх і найгірших (максимальних чи мінімальних) значень показників з критеріями спеціалізованих класифікацій.

Таблиця 7. Класи і категорії якості поверхневих вод за екологічною класифікацією

Клас якості	I		II		III		IV	V
Категорія	1	2	3	4	5	6	7	
Назва класів і категорій якості вод за їх природним станом	відмінні	добрі		задовільні		погані	дуже погані	
	відмінні	дуже добрі	добрі	задовільні	посередні	погані	дуже погані	
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти (антропогенної забрудненості)	дуже чисті	чисті		забруднені		брудні	дуже брудні	
	дуже чисті	чисті	досить чисті	слабко забруднені	помірно забруднені	брудні	дуже брудні	
Трофність (переважаючий тип)	оліготрофні	мезотрофні		евтрофні		політрофні	гіпертрофні	
	оліготрофні-олігомезотрофні	мезотрофні	мезо-евтрофні	евтрофні	евполітрофні	політрофні	гіпертрофні	
Сапробність	олігосапробні		β-мезосапробні		α-мезосапробні		полісапробні	
	β-олігосапробні	α-олігосапробні	β'-мезосапробні	β''-мезосапробні	α'-мезосапробні	α''-мезосапробні	полісапробні	

Узагальнення оцінок за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води виконують на основі аналізу показників в межах відповідних блоків. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для трьох блокових індексів якості води:

- середні значення визначають шляхом обчислення середнього номера категорії за всіма показниками даного блоку;
- найгірші значення визначають за відносно найгіршим показником (з найбільшим номером категорії) серед всіх показників даного блоку.

Визначення об'єднаної оцінки якості води для певного водного об'єкта загалом чи для окремих його ділянок полягає в обчисленні інтегрального, або **екологічного індексу**  $I_e$ , величина якого дорівнює середньому арифметичному значень блокових індексів:

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3},$$

де  $I_1$  – індекс забруднення компонентами сольового складу;

$I_2$  – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;

$I_3$  – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Екологічний індекс якості води, як і блокові індекси, обчислюють для середніх і найгірших значень категорій окремо, він також може бути дробовим числом. За допомогою екологічного індексу можлива оцінка і співставлення рівня екологічного благополуччя води по окремих ділянках водних об'єктів, по басейнах, регіонах і загалом в Україні, проте

необхідно мати на увазі, що при цьому необхідно користуватися однаковим переліком показників. Результати екологічної оцінки якості поверхневих вод подають у вигляді таблиць, графіків і карт.

### Хід роботи

#### Вихідні дані для виконання роботи

№ з/п	Показник	Варіант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Сума іонів, мг/дм <sup>3</sup>	1019	917	805	869	786	834	701	625	619	360
2	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	698	587	498	564	505	480	432	366	232	145
3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	44,0	56,0	124	104	96,0	136	126	56,0	154	156
4	Сl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	28,0	30,0	63,0	23,0	34,0	76,0	25,0	54,0	153	12,0
5	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	177	185	86,0	76,0	74,0	84,0	96,0	124	34,0	18,0
6	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	30,0	26,0	10,6	84,0	63,0	45,0	12,0	8,0	25,0	14,0
7	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	42,0	33,0	24,0	18,0	14,0	13,0	10,0	17,0	21,0	15,0
8	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	3,5	6,2	12,4	22,5	42,0	2,1	7,0	13,2	24,9	58,2
9	pH (одиниць)	6,9	7,1	6,7	7,6	6,5	8,0	6,3	8,2	7,0	7,2
10	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,7	0,35	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	1,6
11	NO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,008	0,12	0,03	0,06	0,07	0,08	0,09	0,02	0,04
12	NO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,31	0,45	0,54	0,67	0,87	0,93	1,02	1,16	2,01	1,47
13	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,07	0,24	0,58	0,39	0,17	0,29	0,54	0,71	0,93	0,78
14	Розчинений O <sub>2</sub> , мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	11,2	7,8	7,2	7,0	6,8	5,2	5,0	3,9	4,1	6,3
15	Прозорість, см	65	45	22	15	10	48	42	32	24	12
16	ПО, мг O <sub>2</sub> /л	5,1	4,8	5,6	6,3	6,4	7,2	8,6	9,2	3,2	4,2
17	БО, мг O <sub>2</sub> /л	9,2	8,9	9,6	10,1	10,4	8,6	12,3	13,4	11,8	9,5
18	БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	0,8	1,2	1,7	2,3	2,8	3,1	3,6	3,4	6,5	5,9
19	Cd, мкг/дм <sup>3</sup>	0,12	0,16	0,2	0,21	0,23	0,26	0,32	0,35	0,62	0,42
20	Cu, мкг/дм <sup>3</sup>	0,52	0,82	1,23	1,46	1,85	2,0	2,35	2,68	3,01	3,02
21	Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	42	25	52	65	84	99	102	356	517	1052
22	Mn, мкг/дм <sup>3</sup>	8,5	12,3	15,2	23,4	26,7	37,1	44,2	53,2	18,2	19,7
23	Zn, мкг/дм <sup>3</sup>	11,3	10,2	8,5	7,6	15,6	18,7	6,5	21,2	10,4	9,3
24	Ni, мкг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,25	0,68	0,85	1,20	6,75	12,3	18,7	1,2	0,09
25	Pb, мкг/дм <sup>3</sup>	1,52	0,95	2,05	5,6	6,54	7,85	11,2	22,6	21,0	10,9
26	Cr (загал.), мкг/дм <sup>3</sup>	2,15	3,62	0,95	1,56	6,5	4,56	11,2	6,85	2,56	4,89
27	Феноли, мкг/дм <sup>3</sup>	0,56	0,98	1,02	0	2,2	3,5	4,7	5,0	6,58	12,8
28	Нафтопродукти, мкг/дм <sup>3</sup>	0	0,56	9,5	10,2	15,9	25,0	54,2	78,9	112	28,9
29	СПАР, мкг/дм <sup>3</sup>	9,5	8,5	10,2	15,6	21,0	22,5	45,8	52,3	98,5	12,0

1. На підставі гідрохімічних показників якості води річок басейну, згідно варіанту, запропонованого викладачем, встановити клас та категорію якості поверхневих вод за критерієм мінералізації (за табл. 1).

2. Провести класифікацію якості поверхневих вод за критеріями іонного складу (за табл. 2-4) та встановити відповідні позначення.

3. На підставі гідрохімічних показників якості води річок басейну, згідно варіанту,

запропонованого викладачем, встановити клас та категорію якості поверхневих вод за трофо-сапробіологічними критеріями (за табл. 5).

4. Провести класифікацію сапробності й трофності.

5. На підставі гідрохімічних показників якості води річок басейну, згідно варіанту, запропонованого викладачем, встановити клас та категорію якості поверхневих вод за критерієм вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії (за табл. 6).

6. Встановити відповідні значення екологічного індексу  $I_e$  та провести об'єднану оцінку якості води (за табл. 7).

### ***Питання для самоконтролю знань***

1. Дати визначення екологічної оцінки якості вод. Які критерії покладені в основу екологічної класифікації якості поверхневих вод?

2. Назвати показники сольового, трофо-сапробіологічного блоку та вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії.

3. Як визначити інтегральний екологічний індекс  $I_e$ ?

4. Назвати етапи процедури виконання ґрунтової екологічної оцінки.

5. Назвати класи і категорії якості поверхневих вод.

## **ТЕМА 21**

### **ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСНИХ СПОРУД**

**Мета:** освоїти принципи забезпечення технологічної ефективності споруд для очищення стічних вод.

**Матеріали та обладнання:** робочий зошит, ручка, варіанти практичних завдань.

#### **Теоретичні відомості**

Технологічна ефективність очисних споруд визначається зіставленням проектних показників ступеня очищення стічних вод з фактичними. За відсутності проектних даних, а також при відхиленні витрат і складу стічних вод, які надходять на очищення, від проектних параметрів розробляються нормативні показники роботи очисних споруд, які включаються у клопотання для одержання дозволу на спеціальне водокористування. Новозбудовані очисні споруди працюють ефективно, якщо показники якості очищених стічних вод відповідають проектним показникам. Ці показники слід встановлювати розрахунковим шляхом, виходячи із складу споруд, умов очищення, витрати і якісних характеристик стоків [3].

Встановлені нормативні показники можуть не відповідати вимогам «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами». В такому випадку розробляються заходи з інтенсифікації роботи споруд або їх реконструкції для доведення нормативних показників до вимог, встановлених органами з регулювання використання і охорони вод.

Фактичні показники ефективності очищення визначаються на основі хімічних аналізів середньодобових проб стоків, відібраних в контрольних точках. За необхідності оцінки ефективності роботи кожної окремої споруди (пісковловлювача, відстійника, аеротенка), які входять до складу очисних споруд, відбір проб проводиться на вході та на виході кожної споруди і розраховується стосовно кожного окремого етапу очищення.

При перевищенні чисельних значень показників фактичної якості очищення стічних вод над проектними або нормативними величинами контрольованих показників, а також у випадках, скидання очищених стічних вод, які внаслідок перевантаження очисних споруд не забезпечують додержання вимог «Правил охорони поверхневих вод», власники очисних споруд повинні розробити план заходів щодо забезпечення ефективного очищення стічних вод, реалізація якого повинна забезпечити додержання цих вимог.

У план заходів, у відповідності з місцевими умовами, включається перелік водоохоронних заходів, в тому числі проектування споруд, їх будівництво, реконструкція діючих споруд, терміни їх реалізації (вводу в експлуатацію), об'єми фінансування і нормативні показники якості очищення стічних вод у даний період до здійснення заходів і які будуть досягнуті за рахунок вводу в дію водоохоронних заходів, передбачених планом. Вказаний план заходів погоджується з органами державного нагляду, затверджується і включається в план економічного і соціального розвитку галузі.

При виявленні надходження на очисні споруди токсичних промислових стоків, внаслідок чого може виникнути порушення режиму роботи очисних споруд або при проведенні аварійно-відновних робіт, які призвели до скидання неочищених або недостатньо очищених стічних вод у водні об'єкти, власники очисних споруд повинні негайно інформувати органи з регулювання використання та охорони вод.

Стічні води підприємств хіміко-фармацевтичної промисловості, які забруднені мікроорганізмами, необхідно постійно знезаражувати. На підприємстві (згідно з МВ 64У-1-97 «Виробництво лікарських засобів. Належні правила і контроль якості») повинна бути розроблена стандартна робоча методика, яка встановлює порядок відбору проб стічних вод.

Підприємство повинно регулярно виконувати відбір проб стічних вод і їх контрольні дослідження. Характеристика скиду повинна бути запротокольована. Крім цього, необхідно контролювати і реєструвати кількість стічних вод, додержання питомих норм водоспоживання і водовідведення та скидання стічних вод в каналізацію і поверхневі водойми або їх передавання на очисні споруди.

При виборі очисних споруд необхідно керуватись характеристикою і складом стічних вод, які залежать від специфіки виробничих процесів і повинні бути наведені в технологічних регламентах виробництва.

Взаємозв'язок між санітарними вимогами до стічних вод, які надходять у водотоки та водойми, та необхідним ступенем їх попереднього очищення в загальному вигляді можна описати такою формулою:

$$C_{ст} \cdot q + C_p \cdot a \cdot Q \leq (a \cdot Q + q) \cdot C_{г.д.},$$

де  $C_{ст}$  – концентрація забруднювальної (шкідливої) речовини в стічних водах, за якої не будуть перевищені допустимі межі (вони відповідають санітарним вимогам), г/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – концентрація цього ж виду забруднювальної (шкідливої) речовини у водотоці або водоймі вище від місця скидання, г/м<sup>3</sup>;

$C_{г.д.}$  – граничнодопустимий вміст забруднювальної (шкідливої) речовини у водотоці або водоймі, г/м<sup>3</sup>;

$a$  – коефіцієнт перемішування, що показує, яка частина витрат води у водоймі змішується зі стічними водами в розрахунковому створі;

$Q$  – витрата води у водотоці або водоймі, м<sup>3</sup>/год;

$q$  – витрата стічних вод, що надходять у водотік або водойму, м<sup>3</sup>/год.

Величина  $Q$  визначається за даними гідрологічних вимірювань, показник  $q$  – за результатами технологічних розрахунків, а параметр  $C_p$  – на основі лабораторних аналізів.

Значення коефіцієнта змішування  $a$  залежить від наступних факторів: конструкції випускного обладнання, відстані до розрахункового створу, а також гідралічних і гідрологічних параметрів водотоку або водойми.

Коефіцієнт  $a$  розраховується за методом Фролова-Родзіллера. Перетворюючи попередню формулу, можна одержати значення  $C_{ст}$ , тобто величину концентрації забруднювальної речовини в стічних водах, якої потрібно досягти внаслідок їх очищення й знешкодження, а саме:

$$C_{ст} \leq \frac{a \cdot Q}{q} (C_{г.д.} - C_p) + C_{г.д.}$$

Необхідний ступінь очищення стічних вод перед скиданням їх у водойму визначається:

а) за допустимою кількістю завислих частинок забруднювальних речовин  $S_{зав.ч.}$  у стічних водах:

$$S_{зав.ч.} = \frac{N - N_{доп}}{N} \cdot 100,$$

де  $N$  – кількість завислих частинок у стічних водах до очищення;  $N_{\text{доп}}$  – допустима кількість завислих частинок забруднювальних речовин у стічних водах після очищення;

б) за допустимим вмістом забруднювальних речовин  $S_{\text{вм.}}$  у стічних водах:

$$S_{\text{вм.}} = \frac{C - C_{\text{доп}}}{C} \cdot 100 ,$$

де  $C$  – фактична концентрація забруднювальних речовин у стічних водах до очищення;

$C_{\text{доп}}$  – допустима концентрація забруднювальних речовин у стічних водах після очищення;

в) за допустимим біологічним показником споживання кисню  $S_{\text{БСК}}$  у стічних водах:

$$S_{\text{БСК}} = \frac{B - B_{\text{доп}}}{B} \cdot 100 ,$$

де  $B$  – фактичний біологічний показник споживання кисню у стічних водах до очищення;

$B_{\text{доп}}$  – допустимий біологічний показник споживання кисню у стічних водах після очищення;

г) за допустимою температурою  $S_t$  стічних вод, ступенем їх охолодження перед спуском у водотік або водойму визначається:

$$S_t = \frac{t - t_{\text{доп}}}{t} \cdot 100 ,$$

де  $t$  – температура води у водоймі перед спуском стічних вод, °C;

$t_{\text{доп}}$  – температура стічних вод після їх охолодження, яка дорівнює:

$$t_{\text{доп}} = (t + 3) .$$

г) за зміною активної реакції води  $S_{\text{pH}}$  та за концентрацією кислот і лугів кратність розведення стічних вод перед їх спуском у водотік або водойму визначається:

$$S_{\text{pH}} = \frac{\text{pH} - \text{pH}_{\text{доп}}}{\text{pH}} \cdot 100 ,$$

де  $\text{pH}$  – водневий показник (кислотність) стічних вод перед розведенням;

$\text{pH}_{\text{доп}}$  – допустимий водневий показник стічних вод після їх очищення.

Перевірка стану виробничих стічних вод перед їх спуском у водотік або водойму повинна здійснюватися систематично за всіма вищенаведеними формулами і підтверджуватися експериментальними методами.

### Хід роботи

Здійснити оцінку ефективності роботи очисних споруд конкретного об'єкта згідно з вихідними даними, отриманими як індивідуальне завдання від викладача, та алгоритмом, наведеним у теоретичній частині.

### Питання для самоконтролю знань

1. Як визначається технологічна ефективність очисних споруд?
2. Що повинен включати план заходів щодо забезпечення ефективного очищення стічних вод?
3. Який взаємозв'язок між санітарними вимогами до стічних вод, які надходять у водотоки та водойми, та необхідним ступенем їх попереднього очищення?
4. Охарактеризуйте принцип визначення необхідного ступеня очищення стічних вод перед скиданням їх у водойму:
5. Що повинно регулярно виконувати підприємство, яке здійснює скид стічних вод?

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вода питна. Нормативні документи: Довідник: У 2 т. / За заг. ред. В. Л. Іванова. Львів: НТЦ Леонорм, 2001. Т. 1. 260 с.
2. Вода питна. Нормативні документи: Довідник: У 2 т. / За заг. ред. В. Л. Іванова. Львів: НТЦ Леонорм, 2001. Т. 2. 234 с.
3. Гриб О. М. Антропогенний вплив на водні екосистеми: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2018. 194 с
4. Гроховська Ю. Р., Парфенюк І. О. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи гідроекології». Рівне : НУВГП, 2014. 35 с.
5. Досвід використання «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями»: пояснення, застереження, приклади. / А. В. Яцик, В. М. Жукинський, А. П. Чернявська, І. С. Єзловецька. Київ: Оріяни, 2006. 44 с.
6. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.
7. ДСТУ 3041-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення.
8. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD).
9. ДСТУ 4078-2001. Якість води. Визначення нітрату. Частина 3. Спектрометричний метод із застосуванням сульфосаліцилової кислоти (ISO 7890-3:1988, MOD).
10. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила відбирання.
11. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості.
12. ДСТУ EN 1420-1:2004. Якість води. Визначення впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Проведення оцінювання води в трубопровідних системах на запах і присмак. Частина 1. Метод випробовування (EN 1420-1:1999, IDT).
13. ДСТУ EN ISO 10304-1:2022. Якість води. Визначення розчинених аніонів рідинною іонною хроматографією. Частина 1. Визначення бромиду, хлориду, фториду, нітрату, нітриту, фосфату та сульфату (EN ISO 10304-1:2009, IDT; ISO 10304-1:2007, IDT).
14. ДСТУ ISO 5664:2007. Якість води. Визначення амонію. Метод дистилування та титрування (ISO 5664:1984, IDT).
15. ДСТУ ISO 5667-2:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб.
16. ДСТУ ISO 6777-2003. Якість води. Визначення нітритів. Спектрометричний метод молекулярної абсорбції (ISO 6777:1984, IDT).
17. ДСТУ ISO 6778-2003. Якість води. Визначення амонію. Потенціометричний метод (ISO 6778:1984, IDT).
18. ДСТУ ISO 7027-2003. Якість води. Визначення каламутності (ISO 7027:1999, IDT).
19. ДСТУ ISO 7150-1:2003 Якість води. Визначення амонію. Частина 1. Ручний спектрометричний метод (ISO 7150/1:1984, IDT).
20. ДСТУ ISO 7393-1:2003. Якість води. Визначення незв'язаного хлору та загального хлору. Частина 1. Титрометричний метод із застосуванням N,N-діетил-1,4-фенілендіаміну (ISO 7393/1-1985, IDT).
21. ДСТУ ISO 7890-1:2003. Якість води. Визначення нітрату. Частина 1. Спектрометричний метод із застосуванням 2,6-диметилфенолу (ISO 7890-1:1986, IDT).
22. ДСТУ ISO 7890-2:2003. Якість води. Визначення нітрату. Частина 2. Спектрометричний метод із застосуванням перегнаного 4-фторофенолу (ISO 7890-2:1986, IDT).
23. ДСТУ ISO 9297:2007. Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хрому як індикатора (метод Мора) (ISO 9297:1989, IDT).
24. ДСТУ ISO 9963-1:2007. Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT).
25. ДСТУ ISO 9963-2:2007. Якість води. Визначення лужності. Частина 2. Визначення карбонатної лужності (ISO 9963-2:1994, IDT).



26. Закон України Про питну воду та питне водопостачання від 10 січня 2002 року (із змінами).
27. Інструкція з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами. Затверджено Наказом ДСНС України від 19.01.2016 № 30.
28. КНД 211.1.0.009-94. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних та технологічних вод. Основні положення. Український науковий центр охорони вод, 1994.
29. Кононцев С. В., Саблій Л. А., Гроховська Ю. Р. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів. Рівне: НУВГП, 2011. 151 с.
30. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П. та ін. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
31. Романенко В. Д., Оксіюк О. П., Яцик А. В. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України – проект. Київ: ВІПОЛ, 2001. 47 с.
32. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Кравчинський Р. Л., Чунарьов О. В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: навч. посібник. Київ: ВПЦ Київський університет, 2015. 172 с.
33. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник. Київ: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
34. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2017. 541 p.
35. US EPA. Drinking Water Regulations and Contaminants – Standards and Regulations. <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-regulations-and-contaminants>

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- аеротенк, 85-90, 101  
активний мул, 85-88  
амоній-іони, 67-69, 97  
аналіз води, 20, 21  
ареометр, 36  
батометр, 16, 21, 89  
БСК<sub>5</sub>, 63, 64, 97, 100  
БСК<sub>повн</sub>, 59, 63, 85, 88, 96  
бюкс, 12, 40, 42, 43  
бюретки, 9, 10, 44  
візуальний метод, 23, 29, 30  
газова хроматографія, 21  
гіпертрофні водойми, 97  
гравіметричний метод, 23, 25  
градус Pt-Co шкали, 30, 31  
густина води, 35, 37  
денітрифікація, 71, 87  
диск Секкі, 23, 24  
евтрофні водойми, 97, 99  
екологічна оцінка якості вод, 94, 96, 98  
екологічний індекс, 99  
ексикатор, 14, 22, 26, 40, 42, 43  
електрична провідність, 38, 39  
електрохімія, 21  
ефективний шар ґрунтів дна водойми, 92, 93  
жорсткість води, 44, 45, 47  
забарвлення води, 28, 29, 31, 69  
завислі речовини, 22, 40, 42, 87, 96  
загальна жорсткість води, 45, 47  
загальна мінералізація води, 38, 40  
загальні показники якості вод, 95  
запах води, 20, 32, 33  
зберігання проб води, 18-20  
змішані проби, 15  
зооглеї, 87, 90  
іонна хроматографія, 21  
істинна кольоровість води, 28  
каламутність води, 22, 23  
кальцієва жорсткість води, 46, 47  
карбонатна жорсткість води, 44, 45, 47  
колориметричне визначення кислотності, 49  
колориметрія, 60, 72  
кольоровість води, 27-31  
конічні колби, 9, 11  
консервування проб води, 19, 20  
крапельниці, 12  
кристалізатор, 14  
критерії іонного складу води, 95, 100  
критерії мінералізації, 95, 100  
критерії якості води, 94  
спектрофотометрія, 21  
специфічні показники якості води, 94, 95  
лабораторний аналіз води, 21  
лійка лабораторна, 13, 22, 67, 70  
магнієва жорсткість води, 45, 47  
манометрична система, 65  
мас-спектрометрія, 20, 21  
мезосапробні води, 97, 99  
мезотрофні водойми, 97, 99  
мензурки, 8, 11  
метод Вінклера, 21, 57, 60, 61  
метод Мора, 76, 104  
метод Пантле і Бука, 83  
метод сапробних організмів, 80  
мікроскопування, 83, 89, 90  
мінералізація води, 40, 41, 45  
мірні градуйовані циліндри, 11  
мірні колби, 9, 44, 70, 73, 79  
місце відбору проби води, 18, 19  
мокра хімія, 21  
некарбонатна жорсткість води, 44  
нітрати, 67, 68, 70, 71, 96, 104  
нітрити, 63, 67, 68, 70-73, 87, 104  
нітрифікація, 63, 70, 71, 87, 89  
окисно-відновний потенціал, 53-56  
олігосапробні води, 82, 97, 99  
оліготрофні водойми, 97, 99  
оптичні методи, 23, 25  
оцінка сольового складу, 95  
паспорт проби води, 19, 21  
пікнометр, 35-37, 39  
піпетки Мора, 10  
повний хімічний аналіз води, 20  
полісапробні води, 97, 99  
політрофні водойми, 97, 99  
портативні методи, 20, 41, 42, 59  
потенціометричне визначення рН, 50-52, 104  
прилад Снеллена, 24  
прожарений залишок, 40  
промивалка, 13  
прості проби, 15  
рН води, 38, 48, 49, 52, 53  
радіємність водойми, 92  
разовий відбір проб води, 15  
реактив Гріса, 72  
регулярний відбір проб води, 16  
рН-метр, 46, 47, 50-52, 56, 57, 63, 67  
розчинені речовини, 40, 43  
сапробіонти, 80, 83  
сапробність, 80, 83-85, 97, 99  
сенсорний метод, 59  
смак і присмак води, 32, 33, 41, 74, 104  
уявна кольоровість води, 28  
фосфати, 77, 78

ступінь насичення киснем, 58  
сухий залишок, 40, 41  
титратор, 49, 50  
транспортування проб води, 15, 18, 19, 21

хімічні склянки, 12  
хлориди, 74, 75, 96  
хроматографія, 21  
хромова суміш, 14

## Протокол

дослідження питної води за санітарно-хімічними показниками безпечності та якості  
від \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_ року

Місце відбору проби \_\_\_\_\_

Назва вододжерела \_\_\_\_\_

Дата і час відбору проби \_\_\_\_\_

№ з/п	Назва показника	Результати досліджень	Одиниця виміру	Норми ДСанПіН 2.2.4-171-10 для водопровідної води	Назва документа*, згідно з яким проводилось дослідження проб води
1	Запах при 20 °С		бали	≤2	ДСТУ EN 1420-1:2004
2	Запах при 60 °С		бали	≤2	ДСТУ EN 1420-1:2004
3	Смак і присмак при 20°С		бали	≤2	ДСТУ EN 1420-1:2004
4	Кольоровість		градуси	≤20	ДСТУ ISO 7887:2003
5	Каламутність		НОК	≤2,6	ДСТУ ISO 7027-2003
6	Сухий залишок		мг/л	≤1000	ДСТУ 7525:2014
7	Водневий показник		одиниці рН	6,5-8,5	ДСТУ 4077-2001
8	Лужність загальна		ммоль/л	не визначається	ДСТУ ISO 9963-1:2007
9	Залишковий хлор: вільний		мг/л	≤0,5	ДСТУ ISO 7393-1:20032
10	зв'язаний		мг/л	≤1,2	ДСТУ ISO 7393-1:2003
11	Перманганатна окислюваність		мг/л	≤5,0	ДСТУ 7525:2014
12	Аміак (амоній)		мг/л	≤0,5	ДСТУ ISO 5664:2007
13	Нітрити		мг/л	≤0,5	ДСТУ ISO 6777-2003 ДСТУ EN ISO 10304-1:2022
14	Нітрати (за NO <sub>3</sub> )		мг/л	≤50,0	ДСТУ 4078-2001 ДСТУ EN ISO 10304-1:2022
15	Загальна жорсткість		ммоль/л	≤7	ДСТУ 7525:2014
16	Хлориди		мг/л	≤0,2	ДСТУ ISO 10304-4:2003 ДСТУ ISO 9297:2007
17	Сульфати		мг/л	≤250,0	ДСТУ EN ISO 10304-1:2022
18	Залізо загальне		мг/л	≤0,2	ДСТУ ISO 6332-2003 РД 52.24.81-89
19	Мідь		мг/л	≤1,0	РД 52.24.20-85
20	Поліфосфати (за PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )		мг/л	≤3,5	ДСТУ EN ISO 10304-1:2022
21	Марганець		мг/л	≤0,05	РД 52.24.81-89
22	Цинк		мг/л	≤1,0	РД 5 2.24.22-85
23	Алюміній		мг/л	≤0,2	РД 52.24.23-85
24	Кремній		мг/л	≤10	РД 52.24.5-83
25	Кальцій		мг/л	не визначається	ДСТУ ISO 11885-2005
26	Магній		мг/л	не визначається	ДСТУ ISO 11885-2005

\*Необхідно перевіряти чинність документа на момент звернення!

### Інструкція із користування фотоелектроколориметром

Вимірювання на фотоелектроколориметрі можна розпочинати лише після прогрівання приладу, яке триває 20-30 хвилин. У цьому випадку режим роботи буде стабільним.

Робочі поверхні кювет перед кожним вимірюванням старанно протирають. Під час установки кювети в гніздо не можна торкатись робочих поверхонь пальцями. Рівень рідини в кюветі повинен бути не нижчим мітки. Забруднення робочої поверхні кювети призводить до помилкових результатів вимірювання.

Концентрацію речовини в досліджуваному розчині можна визначити методом порівняння або методом калібрувальної кривої.

Метод порівняння полягає в тому, що визначають оптичну густину досліджуваного і стандартного розчинів ( $D_d$  і  $D_{ст}$ ) і знаходять концентрацію досліджуваного розчину  $C_d$ , знаючи концентрацію стандартного розчину  $C_{ст}$ , за формулою:

$$C_d = C_{ст} \cdot \frac{D_d}{D_{ст}}$$

Метод калібрувальної кривої використовують під час масових аналізів. Для цього готують серію розчинів даної речовини з відомими концентраціями, що охоплюють область можливих вимірювань. Далі знаходять величини оптичної густини цих стандартних розчинів і будують графік залежності оптичної густини від концентрації розчину. По осі абсцис відкладають концентрацію речовини в стандартних розчинах, по осі ординат – оптичну густину. Якщо розчин підкоряється закону Ламберта-Бера, то отримують пряму лінію, яка проходить через початок координат.

Для того, щоб визначити концентрацію досліджуваного розчину, визначають його оптичну густину, а потім знаходять за графіком величину концентрації, що їй відповідає. Оптичну густину визначають тим же світлофільтром і в цих же кюветах, що використовувались для побудови відповідного калібрувального графіка.

#### Вихідні дані для побудови калібрувального графіка

№ з/п	Концентрація стандартного розчину, $C_{ст}$ , мг	Оптична густина, $D_{cm1}$	Оптична густина, $D_{cm2}$	Оптична густина, $D_{cm...n}$	Середнє значення, $D_{cp} = \Sigma D/n$	Примітка
						(вказати які кювета та світлофільтр)

## Список таксонів-індикаторів для визначення індекса Пантле-Бука

Таксон	S	Таксон	S
Бабки		Веснянки	
<i>Aeshna sp.</i>	2.0	<i>Amphinemura borealis</i>	0.1
<i>Gomphus sp.</i>	2.5	<i>Capnia bifrons</i>	1.2
Поденки		<i>Diura bicaudata</i>	0.1
<i>Baetis rhodani</i>	1.2	<i>Isogenus nubecula</i>	1.6
<i>Baetis pumilus</i>	1.5	<i>Isoperla diformis</i>	1.5
<i>Baetis vernus</i>	2.1	<i>Isoperla grammatica</i>	1.8
<i>Baetis sp.</i>	1.2	<i>Nemoura cinerea</i>	1.8
<i>Caenis macrura</i>	0.8	<i>Nemurella pictetii</i>	0.2
<i>Cloeon dipterum</i>	2.0	<i>Perla sp.</i>	1.1
<i>Cloeon luteolum</i>	1.9	<i>Taeniopteryx nebulosa</i>	1.5
<i>Cloeon sp.</i>	2.0	Жуки	
<i>Ecdyonurus venosus</i>	1.1	<i>Dytiscus sp.</i>	2.2
<i>Ecdyonurus sp.</i>	1.5	<i>Gyrinus sp.</i>	2.0
<i>Ephemera sp.</i>	1.5	<i>Haliplus sp.</i>	1.5
<i>Ephemerella ignita</i>	1.8	<i>Hydroporus sp.</i>	1.5
<i>Habrophlebia sp.</i>	1.5	<i>Hygrotus sp.</i>	1.5
<i>Heptagenia sulphurea</i>	2.2	<i>Hyphidrus sp.</i>	1.5
<i>Potamanthus luteus</i>	2.2	Вислокрилки	
<i>Siphonurus sp.</i>	2.0	<i>Sialis lutaria</i>	2.4
Клопи		Волохокрильці	
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	1.5	<i>Anabolia sp.</i>	2.0
<i>Corixa sp.</i>	1.8	<i>Grammotaulius sp.</i>	1.3
<i>Gerris sp.</i>	1.5	<i>Halesus digitatus</i>	1.0
<i>Ilyocoris cimicoides</i>	1.7	<i>Hydropsyche sp.</i>	2.0
<i>Nepa cinerea</i>	1.6	<i>Lepidostoma hirtum</i>	1.7
<i>Ranatra linearis</i>	2.0	<i>Leptocerus sp.</i>	1.7
Двокрилі		<i>Limnephilus sp.</i>	1.5
<i>Atherix ibis</i>	1.1	<i>Molanna angustata</i>	1.0
<i>Chironomus plumosus</i>	3.8	<i>Neureclipsis bimaculata</i>	1.4
<i>Eristalis tenax</i>	4.0	<i>Notidobia ciliaris</i>	1.2
<i>Simuliidae spp.</i>	1.3	<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	1.7
Ракоподібні		<i>Rhyacophila nubila</i>	1.5
<i>Asellus aquaticus</i>	2.8	<i>Rhyacophila sp.</i>	1.3
<i>Gammarus pulex</i>	2.2	<i>Silo pallipes</i>	1.2
<i>Pontastacus leptodactylus</i>	1.0	<i>Triaenodes sp.</i>	1.4
Черевоні молюски		Гіллястовусі	
<i>Acroloxus lacustris</i>	1.5	<i>Bosmina coregoni</i>	0.9
<i>Ancylus fluviatilis</i>	1.4	<i>Bosmina longirostris</i>	1.5
<i>Anisus vortex</i>	1.4	<i>Bythotrephes longimanus</i>	1.0

<i>Anisus (Gyraulys) sp.</i>	1.7	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	1.1
<i>Armiger crista</i>	1.3	<i>Chydorus sphaericus</i>	1.7
<i>Bithynia tentaculata</i>	2.2	<i>Daphnia cucullata</i>	1.7
<i>Lymnaea auricularia</i>	2.2	<i>Daphnia hyalina, D.galeata, D.longispina</i>	1.9
<i>Lymnaea glutinosa</i>	1.2	<i>Daphnia magna</i>	3.4
<i>Lymnaea ovata</i>	2.0	<i>Daphnia pulex</i>	2.8
<i>Lymnaea truncatula</i>	1.8	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	1.4
<i>Physa fontinalis</i>	1.6	<i>Holopedium gibberum</i>	0.6
<i>Planorbarius corneus</i>	1.7	<i>Leptodora kindtii</i>	1.7
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1.3	<i>Moina rectirostris</i>	3.4
<i>Valvata piscinalis</i>	1.7	<i>Polyphemus pediculus</i>	1.3
<i>Viviparus viviparus</i>	1.8	<i>Sida crystallina</i>	1.3
Двостулкові молюск		<i>Simocephalus vetulus</i>	1.5
<i>Dreissena polymorpha</i>	1.4	Коловертки	
<i>Sphaeriastrum rivicola</i>	2.9	<i>Asplanchna priodonta</i>	1.5
<i>Unio pictorum</i>	1.7	<i>Brachionus angularis</i>	2.5
П'явки		<i>Brachionus calicifloris</i>	2.5
<i>Erpobdella octoculata</i>	3.0	<i>Brachionus rubens</i>	3.2
<i>Glossiphonia complanata</i>	2.4	<i>Conochilus unicornis</i>	1.3
<i>Haemopsis sanguisuga</i>	1.7	<i>Epiphanes senta</i>	3.0
Олігохети		<i>Filinia longiseta</i>	2.3
<i>Tubifex tubifex</i>	3.8	<i>Floscularia ringens</i>	1.9
Веслоногі		<i>Kelicottia longispina</i>	1.2
<i>Canthocamptus staphylinus</i>	1.2	<i>Keratella cochlearis</i>	1.3
<i>Cyclops strenuus</i>	2.2	<i>Keratella quadrata</i>	1.3
<i>Cyclops vicinus</i>	2.1	<i>Lecane cornuta</i>	1.5
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	1.2	<i>Lecane lunaris</i>	1.3
<i>Mesocyclops hyalinus</i>	1.9	<i>Hexarthra mira</i>	1.8
<i>Mesocyclops leuckartii</i>	1.2	<i>Polyarthra vulgaris</i>	1.9
Коловертки		<i>Rotaria rotatoria</i>	3.2
<i>Ptygura milicerta</i>	2.0	<i>Stephanoceros fimbriatus</i>	2.1
<i>Rotaria neptunia</i>	3.8	<i>Synchaeta pectinata</i>	1.7

**ОХОРОНА ВОДНИХ РЕСУРСІВ І ЕКОСИСТЕМ:  
Лабораторний практикум**

*Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти,  
які навчаються за освітньо-професійною програмою «Екологія»  
спеціальності 101 Екологія РВО «Бакалавр»*