

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

03-06-186М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни
«Вода, санітарія та гігієна»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІБАД
Протокол № 1 від 28.08.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни **«Вода, санітарія та гігієна»** для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою **«Біотехнології»** спеціальності G21 **«Біотехнології та біоінженерія»** денної форми навчання [Електронне видання] / Лисиця А. В. – Рівне : НУВГП, 2025. – 83 с.

Укладач: Лисиця А. В., д.біол.н., професор, професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д-р.техн.наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення ОП:
G21 «Біотехнології та біоінженерія»

Грицина О. О.

© А. В. Лисиця, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

Вступ	5
Тема 1. Санітарія як галузь практичної діяльності в системі охорони здоров'я. Різновиди санітарії. Аналіз нормативно-правової бази щодо питної води.	6
Тема 2. Ключові етапи очищення питної води. Відбір, реєстрація, зберігання і транспортування зразків. Підготовка зразків для досліджень.	8
Тема 3. Ознайомлення з основними лабораторними фізико-хімічними і мікробіологічними методами аналізу води. Правила безпеки при роботі в лабораторії.	10
Тема 4. Визначення органолептичних показників води, колір, запах, смак, каламутність, твердість та ін. Визначення ХСК, БСК ₅ .	12
Тема 5. Визначення фізико-хімічних параметрів води. Перманганатна окиснюваність. Визначення рН. Сухий залишок, хлор, аміак, нітрати, нітрити, діоксид вуглецю та ін.	14
Тема 6. Визначення вмісту заліза у воді, знезалізнення питної води. Залізобактерії. Визначення важких металів у воді. Атомно-адсорбційний метод.	16
Тема 7. Визначення пестицидів у воді. Хроматографічні методи.	19
Тема 8. Методика оцінки токсичності водних джерел за допомогою «ростового тесту».	21
Тема 9. Радіаційні показники безпечності питної води. Визначення ²²² Rn, ¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr.	33
Тема 10. Показники епідемічної безпеки питної води. Методи визначення патогенів у воді (бактерії, віруси, найпростіші, яйця гельмінтів).	44
Тема 11. Робота в мікробіологічній лабораторії. Обладнання, культивування та ідентифікація мікроорганізмів. Правила і рівні безпеки. Автоклавування.	48

Тема 12. Визначання хронічної та гострої токсичності хімічних речовин та води на біологічних тест-об'єктах (<i>Daphnia magna</i> Straus).	50
Тема 13. Методи дослідження стічних вод. Основні види забруднювачів, методи очищення та знезараження (флокуляція, дослідження активного мулу і біологічна очистка, UV-дезінфекція, хлорування).	58
Тема 14. Визначення хемотаксичної реакції інфузорій.	60
Тема 15. Обґрунтування вибору методів аналізу води, її очищення та знезараження.	64
16. Самостійна робота	69
16.1. Рекомендовані завдання для самостійної роботи.	69
16.2. Оформлення звіту про самостійну роботу.	71
Рекомендована література.	72
Додатки	75

Вступ

Дисципліна **«Вода, санітарія та гігієна»** є складовою професійної підготовки магістрів за освітньо-професійною програмою «Біотехнології» і спрямована на формування фундаментальних знань та практичних навичок у сфері забезпечення якості водних ресурсів, санітарних норм та гігієнічних вимог у виробничих і побутових умовах.

Вода - це основне природне середовище для життєдіяльності організмів, а також ключовий ресурс у біотехнологічних процесах і виробництві. Забезпечення належної якості води, дотримання санітарних норм і гігієнічних вимог є важливими факторами збереження здоров'я населення, охорони навколишнього середовища і ефективності технологічних процесів.

У рамках дисципліни розглядаються фізико-хімічні, мікробіологічні та токсикологічні показники якості води, методи її очищення і контролю, а також основи санітарії і гігієни у різних сферах виробництва та повсякденного життя. Особлива увага приділяється практичним аспектам аналізу та моніторингу водних ресурсів, а також профілактичним заходам, спрямованим на попередження забруднень і поширення інфекційних захворювань.

Вивчення цієї дисципліни сприятиме формуванню у магістрів біотехнологій і біоінженерії компетенцій, необхідних для розробки і впровадження ефективних технологій водоочищення, санітарно-гігієнічного контролю та забезпечення екологічної безпеки в різних галузях промисловості, сільського господарства і охорони здоров'я.

Тема 1. Санітарія як галузь практичної діяльності в системі охорони здоров'я

Санітарія як наука.

Різновиди санітарії.

Аналіз нормативно-правової бази щодо питної води.

Закони гігієни, основні закономірності, методи й методики гігієнічних досліджень.

Класифікація методів гігієни.

Специфічні методи гігієнічних досліджень.

Методика гігієнічної оцінки питної води.

Мета роботи

Оволодіння знаннями про:

сутність і напрямки санітарії як практичної діяльності у сфері охорони здоров'я,

види санітарії (житлова, шкільна, виробнича, харчова), їх роль і межі застосування,

нормативну базу: ДСанПіН, Закон «Про питну воду», санітарні правила для централізованого водопостачання (Наказ № 383/1996, оновлений ДСанПіН),

методику гігієнічної оцінки якості питної води (органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники) згідно з державними нормами.

Обладнання та матеріали

Закон України «Про питну воду...» та Водний кодекс

Наказ МОЗ № 383/1996 — «Вода питна. Гігієнічні вимоги...» (Закон України)

ДСанПіН 2.2.4-171-10 та нові військові ДСанПіН № 683/2022 ДСТУ, постанова НАН № 168/2010 про якість питної води (Закон України)

Таблиці нормативів: запах, смак, колірність, рН, каламутність, хлориди, нітрати, мікробіологічні показники

Теоретичні основи

Санітарія – практична діяльність із реалізації гігієнічних норм у реальному житті; «санітарія — це практична діяльність, за допомогою якої гігієна реалізується» (за Г.В. Хлопіним) (ru.wikipedia.org)

Класифікація санітарії: шкільна, житлова, виробнича, харчова, комунальна тощо (ru.wikipedia.org)

Основні методи гігієнічних досліджень:

органолептичні, фізико-хімічні, хімічні, мікробіологічні, вірусологічні, паразитологічні, специфічні методи: для коліфагів, вірусів, мікробних індикаторів (ДНАОП).

Алгоритм виконання

1. Ознайомлення з поняттями санітарії та її напрямками.

2. Пошук і аналіз нормативних актів:

Закон «Про питну воду» (терміни, права, обов'язки) (ensave.org)

Наказ МОЗ № 383/1996 та додатки — нормативні речовини, параметри (Закон України)

Останні ДСанПіН (в умовах війни) № 683/2022 (Закон України)

Постанова НАН № 168 («Про наукові засади...») (Закон України)

3. Вивчення класифікації методів гігієнічних досліджень (таблиці):

органолептика: запах, смак, колір, каламутність

фізико-хімія: рН, твердість, хлориди, нітрати/нітрити

мікробіологія: *E.coli*, загальні коліформи, коліфаги, ентерококи

4. Практичний блок:

поділ груп: одна група аналізує нормативи,

інша — зразки даних (значення показників) проводить гігієнічну оцінку за ДСанПіН

5. Обговорення результатів: застосування у WASH, визначення ризиків.

Оформлення результатів

Таблиця з нормативами та фактичними показниками

Письмове пояснення (до 1 сторінки) щодо ризиків, рекомендацій, шляхів контролю.

Рекомендована література

Наказ МОЗ № 383/1996 (оновлена редакція)

ДСанПіН 2.2.4-171-10, ДСанПіН № 683/2022

Постанова НАН № 168/2010 щодо якісної питної води (Закон України)

Методичні вказівки санітарно-мікробіологічного контролю (МВ 10.2.1-113-2005) (ДНАОП)

Тема 2. Ключові етапи очищення питної води. Відбір, реєстрація, зберігання і транспортування зразків. Підготовка зразків для досліджень

Мета

- Ознайомитися з технологічною схемою очищення питної води: коагуляція, флокуляція, седиментація, фільтрація, дезінфекція відповідно до сучасних стандартів (Центри контролю та профілактики хвороб).
- Вивчити процедуру відбору проб питної води згідно ISO 5667-5 та ISO 5667-1, реєстрацію, умови зберігання і транспортування проб (cdn.standards.iteh.ai).

Обладнання та матеріали

- ISO 5667-5:2006 — «Sampling of drinking water...» (технічні настанови щодо пробовідбору) (cdn.standards.iteh.ai)
- Зразки води, стерильні ємності, маркери, журнал проб, термометр, ізотермічний контейнер або холодильник, PPE.
- Прилади: рН-метр, турбідиметр, мірні колби та рукавички.

Теоретичні основи

- **П'ять основних етапів очищення питної води:** коагуляція та флокуляція → седиментація → фільтрація → дезінфекція. Іноді додають прескринінг або аерацію та флюорування після фільтрації (southernngreen.com).
- **Методика відбору проб:** grab sampling - одиночні відбірні проби, composite sampling, автоматизовані методи — відповідно до ISO 5667-1 та ISO 5667-5 (cdn.standards.iteh.ai).
- **Умови зберігання та транспортування:** температура 2–8 °C, час аналізу до 6 год (мікробіологія) або до 24 год (хімія), уникнення забруднення під час забору (19january2017snapshot.epa.gov, cdn.standards.iteh.ai).

Відбір проб з водних джерел. Зразки з водних джерел (річки, озера тощо) відбирають згідно з «ДСТУ ISO 5667-6-2001 Якість води. Відбір проб. Частина 6». Проби води з річок та інших водотоків відбирають на відстані 3–5 м від берега в чисті скляні пляшки та зберігають у холодильнику до проведення дослідів. Якщо проби відбирають зі свердловин, то зразок води наливають у пляшки після 1–2 хвилинного зливу води.

Алгоритм виконання

1. Опишіть базову технологічну схему очищення питної води.
2. Відтворіть процедуру відбору проб:
 - Вибір точки (наприклад, холодна вода з крану без аератора).
 - Промивка, відбір проби, нейтралізація хлору (за потреби).
 - Заповнення журналу (ПІБ, дата, час, тип аналізу).
3. Визначте умови транспортування та зберігання проб відповідно до ISO.
4. Продемонструйте підготовку зразків до фізико-хімічного (рН, каламутність) і мікробіологічного аналізу.

Оформлення результатів

- **Схема:** графічне зображення технологічних етапів очищення води.

Рекомендована література

- WHO, ISO 5667-5:2006 — sampling guidelines for drinking water (Наццентр біотехінформу)
- CDC, National Center: як працює система очищення води (coagulation, sedimentation, filtration, disinfection) (Центри контролю та профілактики хвороб)
- EPA Quick Guide: методика пробовідбору та аналізу води для питного використання (19january2017snapshot.epa.gov)

Тема 3. Ознайомлення з основними лабораторними фізико-хімічними і мікробіологічними методами аналізу води. Правила безпеки при роботі в лабораторії

Мета

- Надати загальне уявлення про фізико-хімічні методи (рН, турбідиметрія, хімічні показники) та мікробіологічні (метод мембранної фільтрації, multiple-tube fermentation для колі-фагів та коліформ) аналіз води (contractlaboratory.com).
- Навчитися методу проведення аналізів згідно стандартів EPA, ISO, ДСанПіН.
- Ознайомити з правилами лабораторної безпеки при аналізі проб питної води відповідно до OSHA та загальних гігієнічних норм (Лабораторія «SUBOS»).

Обладнання та матеріали

- Прилади: рН-метр, турбідиметр, спектрофотометр, стерильні фільтри, інкубатор, піпетки, колби.
- Пробірки з листами для мікробіології (membrane filtration kit).
- Хімічні реактиви для визначення мінеральних показників.
- Документи: EPA Micro and Chemical Analytical Manuals, ISO/EN стандарти ЄС, внутрішні методики DSanPin (US EPA, Cloudinary, АЛТ Україна ЛТД).

Теоретичні основи

- **Фізико-хімічні методи:** вимірювання рН, каламутності, загальної жорсткості, хлоридів, нітратів — ключові елементи для оцінки якості води (buvrpb.davt.gov.ua).
- **Мікробіологічні методи:** мембранна фільтрація для підрахунку бактерій-індикаторів, multiple-tube technique — для визначення коліформ і патогенних бактерій (contractlaboratory.com).
- **Лабораторна безпека:**
 - Дотримання PPE (халат, рукавички, окуляри), SOP, заборона їжі/напоїв у лабораторії, відсутність пасивного дозволу та самостійна робота без контролю (colorado.edu, labmanager.com).
 - Chemical Hygiene Plan згідно OSHA: контроль небезпечних реагентів, токсичних парів, ізоляція робочих зон, маркування (osha.gov).

Алгоритм виконання

1. Проведіть фізико-хімічні аналізи п'яти параметрів води (pH, turbidity, хлориди, NO_3^- , загальна жорсткість).
2. Відфільтруйте 100 мл проби через мембрану, інкубуйте на поживному середовищі для підрахунку колонієутворюючих одиниць.
3. Проведіть multiple-tube fermentation для оцінки колиформ (температура інкубації, MPN таблиці).
4. Слідкуйте за правилами безпеки: стерильність, маркування, утилізація пробірок, робота в BSC / під вентилуючими умовами.
5. Заповніть лабораторний журнал: дата, ПІБ, метод аналізу, показники.

Оформлення результатів

- Таблиці результатів фізико-хімічних і мікробіологічних аналізів.

Рекомендована література

- EPA Laboratory Manual for Microbiological Analyses of Public Drinking Water (2025) (contractlaboratory.com, Cloudinary).
- ISO/EN стандарти для фізико-хімічних методів води (pH, Turbidity, NO_3^-).
- OSHA Laboratory Safety Guidance - Chemical Hygiene Plans and laboratory rules (osha.gov).
- Labmanager.com — основні правила безпеки в лабораторії (labmanager.com).

Тема 4. Органолептичні показники води, твердість, каламутність, колір, запах, смак, а також визначення хімічного (ХСК) та біохімічного (БСК₅) споживання кисню

Мета

- Засвоїти методи оцінки органолептичних характеристик: колір за шкалою платина–кобальт, запах і смак експертним способом, каламутність за Nephelometric/Turbidity Units (FNU/NTU), а також водну жорсткість.
- Навчитися методам визначення **ХСК (COD)** та **БСК₅ (BOD₅)**: їх принципам, методикам, перевагам та обмеженням.

Обладнання та матеріали

- Прилади: колориметр або спектрофотометр, турбідиметр (ISO 7027), апаратура для визначення жорсткості (титрування $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$), дегустаційні стандарти.
- Для ХСК: реактиви — кислота H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, Ag_2SO_4 , HgSO_4 (за потреби), блок нагріву/рефлюкс, титрувальна система або спектрофотометр.
- Для БСК₅: пляшки BOD (для інкубації), DO-метр або класична Winkler-титрація, насіння (seed) при низькому значенні DO (кількість спожитого кисню).
- РРЕ, стерильне маркування проб, журнал лабораторний.

Теоретичні основи

- **Органолептичні методи:**
 - **Колір** — за шкалою платина-кобальт ($\leq 30^\circ$), вимірюється колориметром самостійно або за стандартом.
 - **Каламутність (turbidity)** - вимірюється nephelometrically за ISO 7027 (NTU або FNU), максимальне значення для питної води - ≤ 4 NTU або ≤ 1 FNU.
 - **Смак та запах** - оцінка сенсорним методом експертів, по шкалі інтенсивності (наприклад: 0 - відсутній, до 5 - сильний).
 - **Твердість** - титриметричне визначення Ca^{2+} та Mg^{2+} , результат в °жорсткості або мг/л CaCO_3 .
- **ХСК (COD)** — кількість кисню, необхідна для хімічного окислення органічних та неорганічних речовин, методика — dichromate reflux з титруванням або спектрофотометрією.
- **БСК₅ (BOD₅)** — кількість кисню, спожитого мікроорганізмами за 5 днів при 20 °C у темряві, DO різниці (початкове – кінцеве) у 1 літрі.

- Співвідношення **BOD₅/COD** оцінює біодеградованість: <2 добре, >4 – важко деградується.

Алгоритм виконання

1. Органолептика

- Візуальний аналіз колірності, запаху, смаку експертною комісією.
- Замір каламутності турбідиметром.

2. Твердість

- Титрування проби EDTA методом; визначення загальної жорсткості.

3. ХСК (COD)

- Проведення відкритого або закритого reflux-реактора з $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , каталізатор Ag_2SO_4 ; титрування після охолодження.

4. БСК₅ (BOD₅)

- Визначення початкового DO, інкубація в пляшці BOD 5 днів при 20 °C, кінцевий DO, обчислення BOD₅.

5. Реєстрація результатів у лабораторному журналі.

Оформлення результатів

- Таблиці результатів вимірювання.
- Графічне зображення співвідношення BOD₅/COD.

Тема 5. Визначення фізико-хімічних параметрів води: перманганатна окиснюваність, рН, сухий залишок, хлор, аміак, нітрати, нітрити, діоксид вуглецю.

Мета роботи

Ознайомитися з методами визначення основних фізико-хімічних показників якості води, зокрема показників окиснюваності, кислотності, вмісту солей та основних хімічних сполук, що характеризують стан водного середовища.

Обладнання та матеріали

- Проби води
- Реактиви для визначення перманганатної окиснюваності (KMnO_4 , сірчана кислота тощо)
- рН-метр або індикаторні смужки
- Сушильна шафа або ваги для визначення сухого залишку
- Реактиви для визначення хлору (йодометрія або фотометрія)
- Реактиви для визначення аміаку (фенолфталеїн, сульфатна кислота, ін.)
- Реактиви для визначення нітратів і нітритів (сульфаніламід, N-(1-нафтил)етилендіамін)
- Реактиви для визначення діоксиду вуглецю (індикатори або титрування)
- Лабораторний посуд, піпетки, бюретки, колби, пробірки
- Захисні засоби (рукавички, окуляри)

Теоретичні основи

Фізико-хімічні параметри води характеризують її якість, ступінь забруднення та придатність для споживання або промислового використання.

- **Перманганатна окиснюваність** - показник органічного та деяких неорганічних забруднень, що визначається за здатністю окиснюватись KMnO_4 .
- **рН** відображає кислотно-лужний баланс води, що впливає на хімічну стабільність і біологічну активність.
- **Сухий залишок** - сумарна кількість розчинених твердих речовин.
- **Хлор** - може бути природним або доданим для дезінфекції, але надлишок шкідливий.
- **Аміак, нітрати, нітрити** - показники азотистого забруднення, що впливають на здоров'я та екологію.

- **Діоксид вуглецю** - впливає на кислотність і корозійну активність води.

Алгоритм виконання

1. Взяти пробу води для аналізу, підготувати робочі розчини та реактиви.
2. Визначити перманганатну окиснюваність за методикою титрування KMnO_4 у кислому середовищі.
3. Виміряти pH проби за допомогою pH-метра або індикаторних смужок.
4. Визначити сухий залишок шляхом висушування відомого об'єму води і зважування залишку.
5. Визначити вміст хлору, аміаку, нітратів і нітритів за відповідними реактивами та методиками (титрування, фотометрія).
6. Визначити діоксид вуглецю за методами титрування або індикаторним способом.
7. Записати усі отримані значення у таблицю.

Оформлення результатів

Результати аналізів подати у таблиці з одиницями виміру, нормативними значеннями (за ДСТУ чи іншими стандартами) та коротким коментарем щодо відповідності якості води нормам. Підсумувати висновки щодо стану води за фізико-хімічними показниками.

Рекомендована література

1. ДСТУ ISO 10523: Вода. Визначення pH.
2. Методичні рекомендації з фізико-хімічного аналізу води / Міністерство охорони здоров'я України, 2021.
3. Water Quality Assessment: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring / UNESCO, 2017.
4. Ребров В. П. Фізико-хімічні методи аналізу води. К., 2019.

Тема 6. Визначення вмісту заліза у воді, методи знезалізнєння питної води. Залізобактерії. Визначення важких металів у воді за допомогою атомно-адсорбційного спектрометричного методу

Мета роботи

Ознайомитися з методами кількісного визначення заліза у воді, з технологіями знезалізнєння питної води, вивчити роль залізобактерій у водних системах, а також засвоїти основи визначення важких металів у воді методом атомно-адсорбційної спектрометрії (ААС).

Обладнання та матеріали

- Проби води для аналізу
- Реактиви для визначення заліза (реактиви для колориметричного або фотометричного визначення)
- Прилади для знезалізнєння (наприклад, фільтри, аератори) (можна демонстраційні зразки)
- Мікроскоп для дослідження залізобактерій
- Атомно-адсорбційний спектрометр (ААС)
- Стандартні розчини важких металів (наприклад, свинець, кадмій, мідь, цинк)
- Лабораторний посуд, піпетки, пробірки
- Захисні засоби (рукавички, окуляри)

Теоретичні основи

- **Вміст заліза у воді** є одним із основних індикаторів якості питної води. Надлишок заліза викликає забарвлення води, присмак, а також корозію обладнання.
- **Знезалізнєння води** - комплекс технологічних процесів (окислення, аерація, фільтрація), що дозволяють видалити розчинене залізо у вигляді нерозчинних сполук.
- **Залізобактерії** - аеробні бактерії, які окислюють розчинене двовалентне залізо до нерозчинних форм, сприяючи утворенню іржі і відкладень. Вони впливають на якість води і ефективність знезалізнєння.
- **Визначення важких металів** у воді методом атомно-адсорбційної спектрометрії базується на поглинанні атомами металів світлового випромінювання певної довжини хвилі, що дозволяє виявляти дуже низькі концентрації металів з високою точністю.

Алгоритм виконання

1. Відбір проб води для аналізу відповідно до стандартних методик.
2. Кількісне визначення заліза колориметричним або фотометричним методом (наприклад, реакція з 1,10-фенантроліном).
3. Ознайомлення з методами знезалізнення (демонстрація, опис технологій).
4. Мікроскопічне дослідження проби води на наявність залізобактерій.
5. Підготовка проб до аналізу важких металів для ААС (розведення, кислотне розчинення, фільтрація).
6. Проведення аналізу важких металів на атомно-адсорбційному спектрометрі згідно з інструкцією до приладу.
7. Обробка та запис результатів.

Оформлення результатів

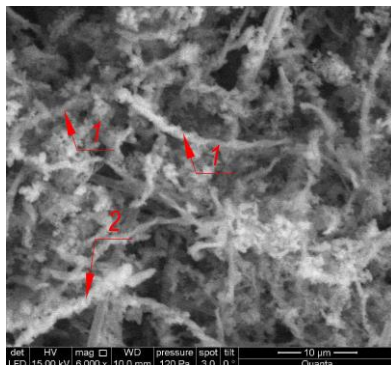
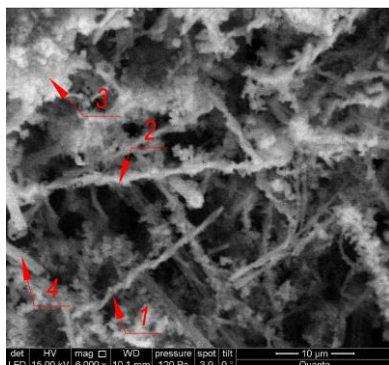
Оформити результати у вигляді таблиці з вказанням концентрацій заліза та важких металів, нормативних значень, характеристик проби (джерело, дата відбору). Додати опис результатів мікроскопічного дослідження залізобактерій. Надати висновки щодо якості води і рекомендації з її знезалізнення.

Рекомендована література

1. ДСТУ ISO 6332: Вода питна. Визначення загального заліза.
2. Методичні рекомендації з оцінки якості води / МОЗ України, 2020.
3. Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. Principles of Instrumental Analysis. 9th ed. – Cengage Learning, 2017.
4. Хижняк В.І. Водна мікробіологія та гігієна водних ресурсів. К., 2018.
5. Ребров В.П. Методи аналізу води. К., 2019.
6. Kvartenko, O. M., Lysytsya, A. V., Shadura, V. O., Mandygra, Y. M. (2024). Biotechnology of groundwater purification for water supply systems, using *Gallionella* and *Lepthothrix* ferrobacteria. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 30-45. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.030>
7. The use of biological method for treating iron containing underground waters / Oleksandr Kvartenko, Larysa Sabliy, Nataliya Kovalchuk, Andriy Lysytsya // Journal of Water and Land Development, 2018. - Volume 39, Issue 1, Pages 77–82, ISSN (Online) 2083-4535. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0061>

8. Жаровський Ф. Г., Піліпенко А. Т., П'ятницький І. В. Аналітична хімія. К. : Вища школа, 1982. 544 с.

Додаток



Мікрофотографії матричних структур біомінералів отримані за допомогою електронного скануючого мікроскопа FEI Quanta. 1 – спіралеподібні чохла *Gallionella ferruginea*; 2 – кристалічний осад оксигідрату заліза на бактеріальних чохлах *Gallionella ferruginea*; 3 – агломерати матричної структури; 4 – трубчасті структури чохла *Leptothrix*. 6000x

На малюнку показана внутрішня структура пористого матриксу, що складається з неупорядкованої суміші біомінералів, чохла різних пологів залізобактерій як вільних, так і інкрустованих кристалічним осадом лепідокрокиту і феригідриту. Як видно з представлених матеріалів, в осаді спостерігалось домінування залізобактерій *Gallionella*. Представлені матрикси були сформовані у міжпоровому просторі біореактора, що входить до складу станції очищення підземних вод. З розгляду даних спектрального аналізу видно, що до складу матричних структур входять залізо, обложене бактеріальним способом, вуглець, азот та фосфор, що свідчить про його органічну складову.

Тема 7. Визначення пестицидів у воді з використанням хроматографічних методів

Мета роботи

Ознайомитися з основами хроматографічних методів аналізу для виявлення і кількісного визначення пестицидів у пробах води, набути навичок підготовки проб та інтерпретації хроматограм.

Обладнання та матеріали

- Проби води з потенційним вмістом пестицидів
- Газовий хроматограф (ГХ) або рідинний хроматограф високого тиску (ВЕРХ)
- Колонки для хроматографії, відповідні сорбенти
- Стандартні розчини пестицидів (наприклад, DDT, гліфосат, карбаматні сполуки)
- Розчинники (метанол, ацетонітрил, вода очищена)
- Прилади для підготовки проб (фільтри, концентратори)
- Комп'ютер з програмним забезпеченням для обробки хроматограм
- Лабораторний посуд, піпетки
- Захисні засоби (рукавички, окуляри)

Теоретичні основи

Пестициди - це хімічні речовини, що використовуються для захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів, але можуть забруднювати водні ресурси, завдаючи шкоди екосистемам і здоров'ю людини. Хроматографічні методи, зокрема газова (ГХ) та рідинна (ВЕРХ) хроматографія, є основними аналітичними методами для виявлення пестицидів у воді. Вони ґрунтуються на розділенні суміші речовин між стаціонарною і рухомою фазами, що дозволяє ідентифікувати та кількісно визначити окремі компоненти. Підготовка проб включає фільтрацію, концентрування та екстракцію пестицидів, що підвищує точність і чутливість аналізу.

Алгоритм виконання

1. Відбір проб води відповідно до стандартів.
2. Підготовка проб: фільтрація, концентрування (за потреби), екстракція пестицидів органічними розчинниками.
3. Підготовка стандартних розчинів пестицидів для калібрування.
4. Проведення хроматографічного аналізу на ГХ або ВЕРХ.

5. Запис та обробка хроматограм, визначення часу утримання, пік-форми.
6. Кількісне визначення вмісту пестицидів за калібрувальними кривими.
7. Запис результатів у таблицю.

Оформлення результатів

Результати подати у вигляді таблиці з вказанням типів пестицидів, їх концентрацій у пробах, нормативних значень, а також часу утримання і площі піків на хроматограмі. Додати графічні зображення хроматограм із коментарями. Надати висновки щодо безпечності води.

Рекомендована література

1. ДСТУ EN 15662: Метод визначення пестицидів у харчових продуктах та воді.
2. Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. Principles of Instrumental Analysis. 9th ed. Cengage Learning, 2017.
3. Environmental Chemistry of Pesticides / Edited by David Barcelo. Wiley, 2011.
4. Методичні рекомендації з моніторингу пестицидів у воді / МОЗ України, 2022.
5. Токсикологічна хімія харчових продуктів та косметичних засобів: підручник / С. А. Воронов, Ю. Б. Стецишин, Ю. В. Панченко, В. П. Васильєв; за ред. проф. С. А. Воронова. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 316 с.
6. Гандзюра В. П. Системний аналіз якості навколишнього середовища: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К., 2020. 180 с.
7. Хроматографічні методи аналізу : навч. посіб. / Федорченко Софія Володимирівна, Курта Сергій Андрійович. Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2012. 146 с.
8. Мінаєва В. О. Хроматографічний аналіз: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013. 284 с.

Тема 8. Методика оцінки токсичності водних джерел за допомогою «ростового тесту»

Мета роботи: навчитися оцінювати токсичні властивості водних об'єктів довкілля з використанням «Ростового тесту».

Теоретичні основи

Рослини – це найбільш зручні індикатори забруднення навколишнього середовища, тому що вони є первісними ланками трофічних ланцюгів і відіграють головну роль у поглинанні різного роду забруднювачів. Унаслідок цього, за допомогою рослин можна достатньо точно оцінити екологічну ситуацію на досліджуваній території.

Сутність ростового тесту полягає в обліку змін показників проростання індикаторної культури, вирощеної на досліджуваних зразках води, водних витяжок ґрунтів тощо. Цей метод дозволяє оцінити не тільки пригноблюючу дію різних забруднювачів на рослини, але і стимулюючий ефект.

Перевагу віддають тест-культурам, які швидко проростають та є характерними для даного регіону. Наприклад, у регіонах з дерново-підзолистими ґрунтами в якості тест-культури використовують овес і горох; у регіонах зі степовими ґрунтами – пшеницю, люцерну, боби і квасоллю. Найбільш розповсюдженими тест-культурами є пшениця, огірок та салат.

Опис методу. Існує значна кількість варіантів проведення ростового тесту.

Деякі з них розглянуті нижче.

1. Пророщування тест-культур у чашках Петрі

При оцінці токсичності проб ґрунтів в чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, на який насипають 1 грам висушеного та подрібненого ґрунту і рівномірно розподіляють по ємності. Потім додають 5–7 мл води (використовують кип'ячену питну воду, яку попередньо відстоюють кілька днів) і на ґрунт висаджують по 30–50 насінин індикаторної рослини (в залежності від крупності). Найбільш зручними культурами для тестування в чашках Петрі є рослини з дрібним насінням – редис, гірчиця, цибуля звичайна.

Контрольним субстратом у цьому випадку є ґрунт, відібраний на умовно чистій території (заповідник, заказник, курортна зона та ін.). При оцінці токсичності водних зразків (стічних та природних вод, питної води тощо) в чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, зволожують його 5–7 мл водної проби і висаджують по 30–50 насінин (рис. 1, 2). Через кожні шість годин проводять провітрювання чашок шляхом відкривання на декілька хвилин. Дослід триває 72–96 годин. Контрольним субстратом є кип'ячена відстояна питна вода.

Після закінчення експерименту рослини обережно виймають з чашок Петрі (при необхідності змивають з них ґрунт) та вимірюють довжину кореневої і стеблової системи паростків, а також сиру масу десяти найбільш типових проростків. Потім рослини поміщують у паперові пакети і висушують протягом декількох днів, після чого визначають їхню суху масу.

Дослідження всіх варіантів проводять у трьох повторях.

2. Пророщування тест-культур на «плаваючих дисках».

При дослідженні токсичності проб води і водних витяжок за цим методом в лабораторні склянки наливають досліджувані проби води чи витяжки в об'ємі 250–500 мл. Насіння індикаторної культури (по 20–25 насінин) пророщують на спеціальних плаваючих кільцях з пінопласту, обтягнутих марлею. Для цього дослідження найбільш зручною культурою є пшениця (рис. 3). На перші кілька діб ємності з досліджуваними зразками накривають склом. Два-три рази на добу скло знімають на 10–15 хвилин для провітрювання.

На четверту добу ємності з насінням поміщають на полицю, де по можливості протягом 14-ти годин (з 6–00 до 20–00) підтримується постійне освітлення. Витримують рослини в таких умовах ще 2 тижні, фіксуючи наступні показники:

- час появи сходів і їхню кількість (кожну добу);
- довжину надземної частини проростків та їх приріст (кожну добу);
- загальну кількість пророслих насінин (на кінець експерименту).

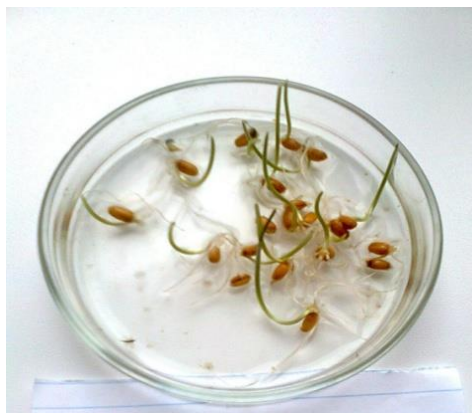


Рис. 1. Пророщене насіння в чашці Петрі



Рис. 2. Ростовий тест у чашках Петрі на насінні редису



Рис. 3. Ростовий тест на «плаваючих дисках» з насінням пшениці

При цьому звертають увагу на морфологічні особливості рослин (раннє пожовтіння, особливості розвитку кореневої системи та ін.). Дослідження всіх варіантів проводять у трьох повторностях. Контрольним субстратом є кип'ячена відстояна питна вода.

Через 2 тижні молоді рослини обережно звільняють із води та трохи підсушують на фільтрувальному папері. Потім проводять виміри довжини кореневої і стеблової системи (рис. 4, 5) та визначають сиру масу десяти найбільш типових проростків. Після цього рослини поміщують у паперові пакети, висушують протягом декількох днів, а потім визначають суху масу.

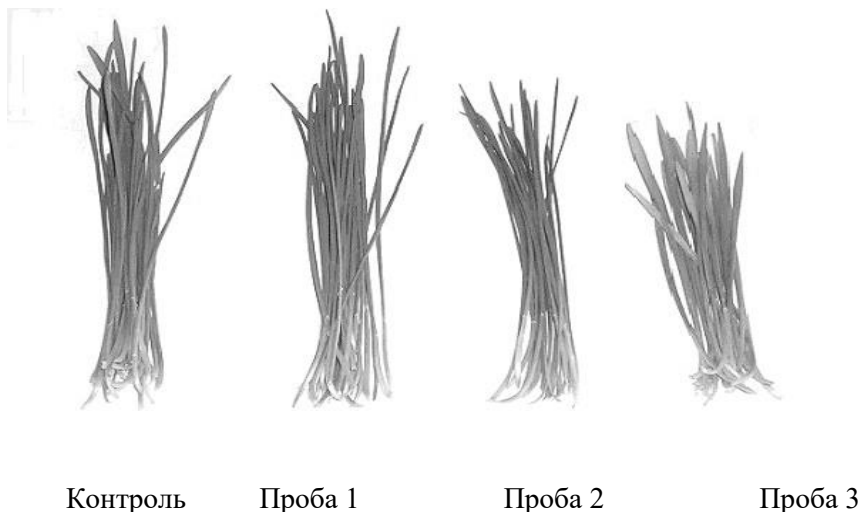


Рис. 4. Вимірювання довжини надземної частини паростків пшениці

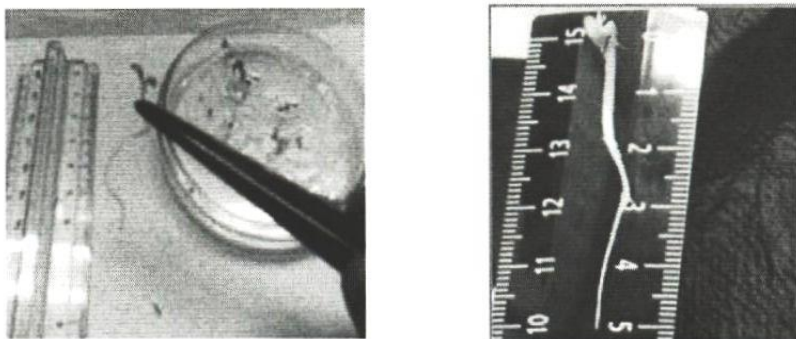


Рис. 5. Вимірювання довжини коріння насіння із чашки Петрі

Обробка результатів ростового тесту.

Після проведення вимірювань для кожного з досліджуваних варіантів обчислюють середню довжину надземної і кореневої частин $\bar{x} \pm m$, де m - помилка середнього арифметичного, яку визначають так:

$$m = \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}$$

де N – кількість результатів; σ^2 – дисперсія, яку визначають за виразом:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x - \bar{x})^2}{N}.$$

Достовірність різниці середніх арифметичних t розраховується за критерієм Ст'юдента-Фішера:

$$t = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (1.3)$$

де $\overline{x_1}$ – середнє арифметичне значення показника в контрольному досліді;

$\overline{x_2}$ –

середнє арифметичне значення показника у досліджуваному варіанті;

m_1 – помилка середнього арифметичного в контрольному досліді;

m_2 – те ж у досліджуваному варіанті.

Якщо фактично встановлена величина t більше або дорівнює критичному (стандартному) значенню t_{st} роблять висновок про існування статистично достовірної різниці між середніми арифметичними у досліджуваному та контрольному варіанті. Якщо ж фактична величина t менша за t_{st} , різницю між середніми вважають статистично недостовірною.

Відсутність статистично достовірної різниці між середніми значеннями біопараметра у контрольному та досліджуваному варіанті свідчить про відсутність значних змін ростових процесів у біоіндикаторів, в порівнянні з контрольним варіантом. Тобто ґрунт або вода у досліджуваному варіанті майже такої ж якості, як і в контрольному досліді та не має токсичних властивостей. І навпаки, статистично достовірна різниця між варіантом та контрольним дослідом вказує на те, що досліджуваний зразок (вода, ґрунт) мають фітотоксичні властивості.

Фітотоксичний ефект визначається у відсотках за будь-яким біопараметром: за масою рослини, довжиною кореневої або стеблової системи, кількістю ушкоджених рослин або кількістю сходів тощо. Розраховується фітотоксичний ефект (ФЕ) за формулою:

$$FE = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \cdot 100, \%$$

де M_0 – значення біопараметра (маса рослин, висота паростків, довжина корінців та ін.) у посуді з контрольним субстратом; M_x – значення аналогічного біопараметра у посуді з досліджуванним субстратом.

Приклад розрахунку

При дослідженні токсичності проб річкової води, відібраної на відстані 500, 1000 і 1500 м від місця скиду стічних вод підприємства, були отримані наступні результати (табл. 1). В якості біоіндикатора використовували насіння озимої пшениці, пророщування якої проводилося на «плаваючих дисках». Контрольним субстратом була вода, відібрана на відстані 500 м вище місця скиду стічних вод підприємства.

Завдання: – оцінити токсичність зразків річкової води, відібраних на відстані 500, 1000 та 1500 м від місця скиду стічних вод промислового підприємства;

- встановити розмір зони впливу стічних вод підприємства на водний об'єкт;

- обчислити величину фітотоксичного ефекту від дії стічних вод підприємства.

Хід розрахунків

Для кожного досліджуваного варіанта за формулою 1.2 обчислюємо середнє арифметичне висоти рослин і довжини корінців та дисперсію (табл. 2). Висота рослин у контрольному досліді:

$$\bar{x}_1 = \frac{12,2 + 13,4 + \dots + 13,8}{10} = 12,17 \text{ см}$$

$$\sigma_1^2 = \frac{(12,2 - 12,17)^2 + (13,4 - 12,17)^2 + \dots + (13,8 - 12,17)^2}{10} = 2,31$$

Довжина корінців у контрольному досліді:

$$\bar{x}_2 = \frac{14,0 + 13,7 + \dots + 9,9}{10} = 13,05 \text{ см}$$

$$\sigma_2^2 = \frac{(14,0 - 13,05)^2 + (13,7 - 13,05)^2 + \dots + (9,9 - 13,05)^2}{10} = 2,71$$

Таблиця 1 – Результати оцінки токсичності річкової води, відібраної на різних відстанях від місця скиду стічних вод промислового підприємства за «Ростовим тестом»

Варіант							
Контроль (500 м до місця скиду)		500 м від місця скиду		1000 м від місця скиду		1500 м від місця скиду	
Висота рослин, см	Довжина коренів, см	Висота рослин, см	Довжина коренів, см	Висота рослин, см	Довжина коренів, см	Висота рослин, см	Довжина коренів, см
12,2	14,0	9,2	9,9	10,3	8,3	12,3	9,9
13,4	13,7	8,3	8,7	10,1	8,7	14,6	8,7
10,8	12,9	7,4	6,3	12,3	7,9	12,9	6,3
9,6	14,8	7,2	7,5	9,9	8,0	7,2	7,5
12,8	13,0	7,0	7,9	8,1	9,2	7,0	14,0
13,2	13,8	9,8	8,3	7,9	9,0	9,8	13,7
14,1	15,2	10,3	9,0	7,0	9,3	10,3	12,9
9,9	12,9	8,9	7,7	8,9	8,8	8,9	14,8
11,9	10,3	7,9	7,6	7,9	8,7	7,9	13,0
13,8	9,9	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суха маса 10 проростків, мг							
237		160		185		203	

Таблиця 2 – Середні арифметичні висоти рослин та довжини коренів, їх помилки та дисперсія для кожного варіанта

Варіант	Показник	Дисперсія σ^2	Середнє $\bar{x} \pm m$	t-критерій
---------	----------	-------------------------	----------------------------	------------

Контроль (500 м до місця скиду)	Висота рослин, см	2,31	12,17±0,48	-
	Довжина коренів, см	2,71	13,05±0,52	-
500 м від місця скиду	Висота рослин, см	1,33	8,60±0,36	5,95
	Довжина коренів, см	1,11	8,27±0,33	7,7
1000 м від місця скиду	Висота рослин, см	2,23	9,24±0,47	4,35
	Довжина коренів, см	0,32	8,77±0,18	7,78
1500 м від місця скиду	Висота рослин, см	5,74	10,09±0,76	2,31
	Довжина коренів, см	8,06	11,06±0,90	1,9

Помилку середніх арифметичних для кожного варіанта визначаємо за формулою 1.1:

$$m_1 = \sqrt{\frac{2,31}{10}} = 0,48 \text{ см}$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{2,71}{10}} = 0,52 \text{ см}$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для інших дослідів. Таким чином, для варіанту 1 (500 м від місця скиду) маємо: -висота рослин 8,60±0,36 см, -довжина корінців 8,27±0,33.

Для варіанту 2 (1000 м від місця скиду): -висота рослин 8,27±0,33см; довжина корінців 9,24±0,47 см.

Для варіанту 3 (1500 м від місця скиду): висота рослин 10,09±0,76см; довжина корінців 11,06±0,90 см.

Для визначення наявності чи відсутності токсичних властивостей у досліджуваних зразків, за формулою 1.3 визначимо достовірність отриманих результатів відрізняються від контрольного досліді:

Для варіанту 1 (500 м від місця скиду) маємо:

$$\text{висота рослин} \quad t_1 = \frac{12,17 - 8,6}{\sqrt{0,48^2 + 0,36^2}} = \frac{3,57}{0,6} = 5,95,$$

$$\text{довжина корінців} \quad t_2 = \frac{13,05 - 8,27}{\sqrt{0,52^2 + 0,33^2}} = \frac{4,78}{0,62} = 7,7.$$

Для варіанту 2 (1000 м від місця скиду):

$$\text{висота рослин} \quad t_3 = \frac{12,17 - 9,24}{\sqrt{0,48^2 + 0,47^2}} = \frac{2,93}{0,67} = 4,35,$$

$$\text{довжина корінців} \quad t_4 = \frac{13,05 - 8,77}{\sqrt{0,52^2 + 0,18^2}} = \frac{4,28}{0,55} = 7,78.$$

Для варіанту 3 (1500 м від місця скиду):

$$\text{висота рослин} \quad t_5 = \frac{12,17 - 10,09}{\sqrt{0,48^2 + 0,76^2}} = \frac{2,08}{0,9} = 2,31,$$

$$\text{довжина корінців} \quad t_6 = \frac{13,05 - 11,06}{\sqrt{0,52^2 + 0,90^2}} = \frac{1,99}{1,04} = 1,9.$$

Значення $t_1, t_2 > t_{st} (\infty; 0,05) = 2,96$, отже отримані результати достовірно відрізняються від контрольного варіанту. Це свідчить про те, що процеси росту рослин на досліджуваній воді, відібраній на відстані 500 м від місця скиду підприємства, дійсно пригноблені – отже вода має токсичні властивості.

Значення t_3, t_4 також більше 2,96, тобто висота рослин і довжина корінців, вирощених на зразках води з відстані 1000 м від місця скиду, достовірно відрізняються від контрольного варіанту. Це свідчить про те, що ростові процеси пригноблені і вода має токсичні властивості.

Значення $t_5, t_6 < 2,96$. Це вказує на те, що результати експерименту у варіанті з річною водою з відстані 1500 м від місця скиду статистично недостовірно відрізняються від контрольного дослід. Це вказує на те, що токсичність води на відстані 1500 м від підприємства знаходиться на тому ж рівні, що і в контрольному варіанті, тобто вода не має токсичних властивостей і негативний вплив підприємства на річку відсутній.

Таким чином, зона впливу стічних вод підприємства на річку поширюється на відстань до 1000 м від місця скиду стічних вод (рис. 6). підприємство

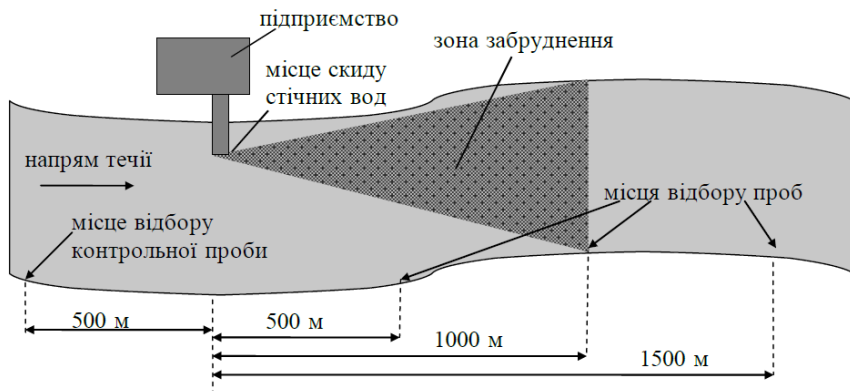


Рис. 6. Зона впливу стічних вод промислового підприємства на річку

Середній фітотоксичний ефект від дії стічних вод підприємства на відстані 500 м від місця скиду становить:

$$FE_{cp}^1 = \frac{29,3 + 36,6 + 32,5}{3} = 32,8\%$$

Аналогічним чином підраховуємо величину фітотоксичного ефекту від дії досліджуваних вод на відстанях 1000 м та 1500 м від місця скиду. Результати розрахунків заносимо у табл. 3.

Таблиця 3 – Фітотоксичний ефект (ФЕ) від дії стічних вод підприємства

Параметр	Значення, %		
	500 м	1000 м	1500 м
ФЕ ₁ (за висотою рослин)	29,3	24,1	17,1
ФЕ ₂ (за довжиною коренів)	36,6	32,8	15,3
ФЕ ₃ (за сухою масою)	32,5	21,9	14,4
ФЕ _{середнє}	32,8	26,3	15,6

Таким чином, на відстані 500 м від місця скиду стічних вод процеси росту рослин за трьома ознаками пригноблені на 32,8% у порівнянні з контролем, на відстані 1000 м – на 26,3% і на відстані 1500 м – на 15,6%.

Висновки (приклад). У ході експерименту було встановлено, що:

1. Ростові процеси рослин, пророщених на досліджуваній воді з відстані 500 та 1000 м від місця скиду, пригноблені (показники росту достовірно відрізняються від контролю) – отже, вода має токсичні властивості.
2. Інтенсивність процесів росту рослин, пророщених на досліджуваній воді з відстані 1500 м, достовірно не відрізняється від контролю. Це свідчить про те, що вода не має токсичних властивостей.
4. Зона впливу стічних вод підприємства на річку поширюється на відстань до 1000 м від місця скиду стічних вод.
5. Результати обчислення фітотоксичного ефекту за сухою масою рослин показали, що з віддаленням від місця скиду стічних вод підприємства показники росту рослин поступово покращуються, і фітотоксичність води знижується з 32,8% на відстані 500 м до 15,6% на відстані 1500 м.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність ростового тесту?
2. Які рослини використовуються у якості індикаторів у ростовому тесті?
3. Які параметри контролюються при проведенні ростового тесту?
4. Про що свідчать достовірні відхилення показників росту рослин від контролю?
5. Яким чином визначається зона впливу стічних вод підприємства на поверхневі водойми?
6. Що таке фітотоксичний ефект і за якими показниками він визначається?

Тема 9. Радіаційні показники безпечності питної води. Методи визначення радіонуклідів ^{222}Rn , ^{137}Cs , ^{90}Sr

Мета роботи

Ознайомитися з основними радіонуклідами, які можуть забруднювати питну воду, методами їх кількісного визначення та оцінки безпечності води за радіаційними показниками.

Обладнання та матеріали

- Проби питної води
- Прилади для вимірювання радіонуклідів: сцинтиляційний лічильник, гамма-спектрометр, бета-лічильник
- Установка для вимірювання радіонукліду радону (^{222}Rn), наприклад, радонометр
- Реактиви для осадження стронцію-90 (наприклад, сульфат барію)
- Фільтри, лабораторний посуд
- Засоби захисту (рукавички, спецодяг)

Теоретичні основи

- ^{222}Rn (радон) - радіоактивний інертний газ, що утворюється внаслідок розпаду урану-238, має здатність проникати у воду з ґрунтових порід.
- ^{137}Cs (цезій-137) - штучний радіонуклід, продукт ядерних реакторів і вибухів, який потрапляє у воду через забруднення.
- ^{90}Sr (стронцій-90) - також штучний радіонуклід з ядерних джерел, накопичується в організмі людини, зокрема в кістковій тканині, що робить його особливо небезпечним. Визначення цих радіонуклідів у воді є важливою складовою контролю безпеки питної води.

Алгоритм виконання

1. Відбір проб питної води згідно з нормативними вимогами.
2. Визначення ^{222}Rn : відбір проб у герметичні посудини, вимірювання активності газу за допомогою радонометра або сцинтиляційного лічильника.
3. Визначення ^{137}Cs : підготовка проб, концентрування, вимірювання гамма-спектрометром із визначенням характерних пік-енергій.
4. Визначення ^{90}Sr : хімічне осадження стронцію, відділення від інших елементів, бета-лічильне визначення активності.

5. Обробка результатів, розрахунок активності в одиницях Бк/л.
6. Порівняння з нормативними значеннями безпеки.

Оформлення результатів

Результати подати у вигляді таблиці з вказанням активностей радіонуклідів, дати і місця відбору проб, порівняти з нормативами (Державні санітарні норми). Надати короткий аналіз безпеки води за радіаційними показниками.

Завдання для самостійної роботи

Рекомендована література

1. ДСТУ ISO 18589-2: Визначення радіонуклідів у воді.
2. Міністерство охорони здоров'я України. Санітарні норми безпеки радіації, 2021.
3. Khater, A.E.M., Radioactivity in the environment: analysis and measurements. Elsevier, 2011.
4. Fawzi Mahdy et al., Radioactivity levels and health risks in groundwater: a review. Journal of Environmental Radioactivity, 2020.
5. Radon in the spring water of the Zdolbuniv Region, Ukraine / Lebed O.O., Myslinchuk V.O., Trusheva S.S., Mandyhra Y.M., Lysytsya A.V. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. 8(3), 82–89. <https://www.ujecology.com/articles/radon-in-the-spring-water-of-the-zdolbuniv-region-ukraine.pdf>

Додаток 1

Дозиметри - радіометри гама-бета випромінювань пошукові МКС-07 "ПОШУК" та СРП-68-01"ПОШУК", призначені для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної дози гамма - та рентгенівського випромінювань, а також поверхневої щільності потоку бета - частинок.

Дозиметри використовуються для дозиметричного та радіометричного контролю на промислових підприємствах, атомних електростанціях, в науково - дослідницьких організаціях; контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, території, що до них прилягає, предметів побуту, одягу, поверхні ґрунту на присадибних ділянках, транспортних засобів.

Прилади забезпечують можливість програмування порогових рівнів потужності дози гамма - випромінювання та

щільності потоку бета - частинок, звукову сигналізацію зареєстрованих гамма - квантів, бета - частинок та перевищення запрограмованого порогового рівня потужності еквівалентної дози чи щільності потоку бета - частинок; реєстрацію м'яких бета - випромінювань.



Рис.1 - Дозиметр – радіометр гамма-, бета-випромінювань МКС-07 «ПОШУК», ціна/од.: 6192.00 грн.

Особливості.

Використання лічильників Гейгера-Мюллера з відсутнім зворотним ходом рахункової характеристики.

Наявність аналогового індикатора інтенсивності випромінювання.

Можливість запису в енергозалежну пам'ять з передачею в ПК через інфрачервоний порт до 4096 результатів вимірювань.

Можливість проглядання записаних результатів вимірювань на вбудованому цифровому індикаторі.

Наявність каналу "Точна" з виведенням на цифровий індикатор усередненого результату за фіксований час вимірювання від 1 до 99 хвилин і можливість вимірювань в режимі "старт-стоп".

Реєстрація м'яких бета-випромінювань.

Автоматичний вибір інтервалів і діапазонів вимірювань.

Можливість програмування порогових рівнів потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання і щільності потоку бета-частинок.

Звукова сигналізація зареєстрованих гамма-квантів, бета-частинок і перевищення запрограмованих порогових рівнів потужності еквівалентної дози або щільності потоку бета-частинок.

Підсвічування цифрового індикатора.

Багаторівнева індикація розряду джерела живлення.

Живлення приладу забезпечується від 4-х нікель-кадмієвих акумуляторів типорозміру АА.

Пиле-вологозахисна конструкція пульта і блоків детектування.

Основні технічні характеристики дозиметра - радіометра гамма-бета випромінювань МКС-07 "ПОШУК" наведено в табл.1.

Таблиця 1 - Основні технічні характеристики

Параметри	Діапазони вимірювань і відносні основні погрішності
Потужності еквівалентної дози гамма – і рентгенівського випромінювань (^{137}Cs):	0,1 мкЗв/ч...2,0 Зв/ч $\pm 15\%$
Еквівалентної дози гамма - і рентгенівського випромінювань (^{137}Cs):	1,0 мкЗв....9999 мЗв; $\pm 15\%$
Щільність потоку бета-часток ($^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$), $1/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$	5....100 000; $\pm 15\%$
Енергетичні діапазони вимірювань і енергетична залежність (MeV): гамма- і рентгенівського випромінювань	0,05....3,0; $\pm 25\%$
бета-випромінювання (MeV)	0,15....3,0; $\pm 25\%$
Тимчасові інтервали вимірювань, секунди	1....5
Час безперервної роботи від батареї з чотирьох нікель-кадмієвих акумуляторів типорозміру АА, год	100
Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	-25.....+55

Додаток 2 [5]

Відомо, що для основної маси населення найбільш небезпечним джерелом радіації є зовсім не техногенні джерела, про які так багато говорять після аварії на Чорнобильській АЕС. Більше половини середньорічної дози іонізуючого опромінення населення планети припадає на джерела природного походження, в першу чергу Радон-222. Переважна кількість досліджень стосується внутрішнього опромінення легенів, обумовленої інгаляцією Радону і його дочірніх продуктів розпаду, що призводить до підвищення ризику виникнення онкологічних захворювань дихальної системи (Chen, 2013; Peterson et al., 2013; Truta et al., 2014). Разом з тим,

доцільно звернути увагу і на радон розчинений у воді яка використовується для побутових потреб населення.

Радон – хімічний елемент VIII групи періодичної системи елементів, радіоактивний інертний газ, який не має запаху, кольору і смаку. Він утворюється при радіоактивному розпаді радію, який сам утворюється в серії радіоактивних розпадів природного урану або торію. Сьогодні відомо 34 ізотопи радону з масовими числами від 195 до 228 і періодами напіврозпаду від мікросекунд до майже 4 діб. 4 з них існують в природі, інші отримуються штучно. Всі ізотопи радону α -активні. Серед природних ізотопів радону найбільше значення, з точки зору іонізаційного забруднення має Радон-222, оскільки в нього найбільший період напіврозпаду. Унікальні властивості даного радіоактивного газу, привели до його використання як геофізичного маркера при визначенні прихованих розломів в геологічних структурах, в дослідженні та прогнозуванні землетрусів (Andreev et al., 2011; Tregub & Shumakova, 2015). Властивості радону також використовуються при вивченні атмосферних процесів (Kritz et al., 1990). Існують дослідження в яких властивості радону використовуються в метеорології, медицині, дослідженні динаміки водних процесів в ґрунті (S'omka et al., 2013). Але найбільша увага була приділена радону як одному з чинників радіологічної небезпеки здоров'я людини, оскільки люди постійно піддаються впливу радону та його продуктів розпаду.

Основними джерелами радону в глобальній атмосфері Землі є його надходження за різними оцінками з надр і з поверхні Землі (2000 Ki/рік), із поверхні морського дна (500 Ki/рік), із поверхні світового океану (30 Ki/рік), з родовищ фосфатів (3 Ki/рік), із відходів під час видобутку урану (хвостосховищ – 2 Ki/рік). Середній об'ємний вміст радону в атмосфері становить $6 \times 10^{-18}\%$, в 1 м^3 повітря за нормальних умов міститься 7×10^{-7} г радону.

Концентрація ^{222}Rn в атмосферному повітрі залежить від вмісту ^{238}U та ^{226}Ra в гірських породах, ґрунтах і підземних водах, наявності зон і площ з ураново-рудною мінералізацією, наявності розломів в гірських породах і корі, вивітрювання, від коефіцієнта еманування з ґрунту, від властивостей і стану ґрунту. Концентрації Урану-238 і Торію-232 в ґрунтах різних районів Землі дуже відрізняються, досягаючи максимальних величин в уранових провінціях і районах, багатих на моноцитові відкладення. Високі концентрації урану характерні для вивержених (магматичних)

порід, особливо гранітів, а також темно кольорових сланців, осадових порід, що містять фосфати, та метаморфічних порід, що утворилися з таких відкладів. Ґрунти й уламкові відкладення, що утворилися в результаті переробки цих порід, також збагачені ураном. Крім цього, основними джерелами-утримувачами радону є гірські й осадові породи, що містять уран (радій).

Середній вміст Урану-238 на материках становить 3 мкг/т. При цьому результуюча активність гірських порід у середньому становить 5×10^4 Бк/т. «Нормальними» в радіаційному значенні прийнято вважати породи, у яких вміст урану і торію не перевищує 2,5 мкг/т. До зон підвищеного ризику відносяться регіони, де на поверхню землі виходять граніт, гнейс, фосфорит тощо, вміст урану і торію в них може сягати 100 мкг/т і більше. На території колишнього СРСР це, перш за все, Ельконський горст на Алданському щиті, район Українського кристалічного масиву, Кокчетавський та Буреїнський масиви, Улутау, Каратау, деякі райони Таджикистану (Tyhonov, 2009; Outkin, 2000).

Виділення радону визначається як загальною радіоактивністю гірських порід, так і їх колекторськими властивостями (здатністю акумулювати радон) і коефіцієнтом еманування (здатністю виділяти накопичений радон). У практиці геологічних досліджень зафіксовано багато випадків, коли слаборадіоактивні породи містять у своїх пустотах і тріщинах радон у кількостях, які у сотні й тисячі разів більші, ніж у більш радіоактивних породах.

У насичених водою породах, що залягають нижче рівня ґрунтових вод, переважає міграція радону з потоком підземних вод у розчиненому вигляді, тому породи, які залягають нижче рівня ґрунтових вод, можна назвати зоною водної міграції радону. У межах зони неповного водонасичення (від поверхні землі до рівня ґрунтових вод) переважає міграція радону в газовій фазі в складі ґрунтового повітря, і тому цю зону можна назвати зоною повітряної міграції радону. Міграція радону в цих двох зонах відбувається, швидше за все, абсолютно незалежно. У зоні водної міграції переважає горизонтальний перенос радону, у той час як в області повітряної міграції переміщення радону перенос відбувається переважно у вертикальному напрямку.

Величина радоновмісності води під час виходу на поверхню землі залежить від кількох умов:

- тривалості контакту води з породою, яка виділяє радон;
- достатність контакту для досягнення максимально можливого рівня радіоактивності води;
- стан породи, яка виділяє радон (часто від цього стану залежить кількість газу, який виділяється з неї);
- умов, за яких радон переходить у рідину (потужність струменя води, що взаємодіє з породою, його подрібненням, температура, вплив температури струменя на температуру породи, що змінює умови виходу і розчинності газу);
- шляху, якого воді необхідно пройти від підземного джерела радону до поверхні землі (на цьому шляху відбувається поступовий процес його розпаду);
- підмішування до води нерадіоактивних рідких і газових струменів;
- механічного виділення радону з води бульбашками газу, які можуть виділятися з самої рідини, так і надходити в неї ззовні.

Для водопостачання найчастіше використовують підземні води з осадових порід, в основному вапнякових, вони характеризуються найменшою радіоактивністю. У поверхневих водах концентрація радону мінімальна, це пояснюється сприятливими умовами для переходу його в атмосферу. Із природних вод в атмосферу радон потрапляє за рахунок процесів дегазації з виносом радону з повітряних бульбашок, що містяться у воді. Найбільш інтенсивно цей процес відбувається під час розбризкування, випаровування й кипіння води.

У США рівень вмісту радону в ґрунтових водах коливається в межах від 10 до 100 Бк/дм³, в окремих районах доходячи до сотень і навіть тисяч Бк/дм³.

У водах озер і річок концентрація радону рідко перевищує 0,5 Бк/дм³, а в водах морів і океанів – не більше 0,05 Бк/дм³. Емісії радону з поверхні океанів дуже малі, в порівнянні з його континентальними емісіями, і не перевищують 0,1 Бк/(м²×с), вони на 2-3 порядки менші ніж із земної поверхні. До радіоактивних прийнято відносити води, які містять Радон-222 з об'ємною активністю більшою 1,85×10⁵ Бк/м³, Радію-226 – з концентрацією більшою 1×10⁻⁸ г/м³ або урану – більшою 3×10⁻² г/м³. Радіаційна небезпека, викликана високими концентраціями радону у воді,

визначається кількома причинами:

- споживанням води з підвищеною концентрацією радону та продуктів його розпаду;
- переходом у повітря значної частини радону при використанні води у побутових цілях;
- переходом радону у повітря закритих приміщень при використанні води в лазнях, душі тощо.

Багато радону може містити вода з глибоких колодязів або артезіанських свердловин, іноді до 10^3 Бк/дм³. В підземних водах побутових анексій води, його концентрація може змінюватися від 4-5 Бк/дм³ до 3-4 МБк/дм³, тобто в мільйон разів. Для прикладу, води з артезіанських свердловин, які використовують для питного споживання в смт. Маньківка (Черкаська область, Україна), містять радон з активністю до (1000-3000) Бк/дм³ (Zelensky et al., 2011); у підземних водах кристалічного фундаменту в околицях Києва вміст радону становить (70-1657) Бк/дм³ (Gudzenko et al., 2004). Якщо вважати, що людина в цілому на різні потреби споживає за день 0,3 дм³ води, що містить 37 Бк/дм³ ²²²Rn, то розрахункова поглинена доза для шлунку дорівнює приблизно 0,02 мГр/рік, а поглинена доза всім тілом людини буде приблизно в 100 разів меншою.

Використання збагачених радоном вод для комунальних і господарських потреб призводитиме до потрапляння радону у повітря приміщень, що додатково підвищить радіаційний фон.

Для точної оцінки ефективних доз, обумовлених опроміненням радоном і його дочірніми продуктами розпаду, необхідно враховувати механізми накопичення у підземних водах, їх хімічний склад, гідрогеологічний режим підземних вод, глибину водозабору, час транспортування тощо.

Внаслідок суттєвої відмінності умов радононакопичення в підземних водах, рівня соціально-економічного розвитку країни, систем екологічно-санітарного нагляду, законодавчо-нормативної бази, застосовуються різні величини допустимих рівнів радону у водах. Так, у Фінляндії та Швеції гранично допустимі концентрації встановлено на рівні 300 Бк/дм³, в Ірландії – 200 Бк/дм³, в Україні – 100 Бк/дм³. Агентство з охорони навколишнього середовища США рекомендує застосовувати граничну величину вмісту радону у не питній воді на рівні 11,1 Бк/дм³, що, однак, не знайшло поки що відображення в американському національному стандарті якості води (даний параметр не нормується). У «Нормах радіаційної

безпеки» граничний рівень вмісту радону у воді, при якому вже потрібне втручання, встановлений на рівні 60 Бк/дм³ при відсутності у воді інших радіоактивних елементів. До цього «Санітарні правила і норми для централізованого водопостачання» дозволяли користуватися водою з вмістом радону до 120 Бк/дм³.

Мета досліджень: створення карти вмісту Радону-222 у природних водних джерелах Здолбунівського району Рівненщини і визначення потенційної радіаційної загрози для здоров'я населення регіону.

Матеріал і методи досліджень

Для дослідження природних водних джерел Здолбунівщини на вміст радону були організовані експедиції по відбору проб води та приджерельного ґрунту для вимірювання об'ємної активності (ОА) води за Радон-222 та питомої активності (ПА) ґрунту за Цезієм-137 та Стронцієм-90. Джерела району знаходяться в радіусі до 30 км. Проби води з природних джерел відбирали в ємкості об'ємом 1,5 дм³ шляхом їх занурення в джерело і маркували (номер проби, дата і година відбору). Збір зразків води та вимірювання проводили відповідно до тесту протоколу USEPA (USEPA, 1991). Всього зібрано зразки питної води з 58 природних джерел.

Крім відбору зразків води, для визначення питомої активності за Стронцієм-90 і Цезієм-137, відбирали проби верхнього шару ґрунту біля джерел (масою до 1 кг). Всього зібрано 14 зразків поверхневого ґрунту. Відібрані проби зважували, висушували протягом трьох діб при температурі 105-110 °С, розтирали у фарфоровій ступці та переноси в пронумеровані чашки Петрі. Залишкова вологість при вимірюванні ПА в усіх зразках становила 3-5%. Вимірювання ПА ґрунту проводили за допомогою радіометра «Бета». Вказаний радіометр налаштований на реєстрування β -частинок з енергією близькою до 0,54-0,67 МеВ. В даний енергетичний діапазон попадають β -частинки Стронцію-90 і Цезію-137. Питому активність проби визначали за формулою (1):

$$A = \frac{H - H_{\phi}}{P}, \quad (1)$$

де H – швидкість лічби радіометра (кількість відліків за одиницю часу) при завантаженні вимірюваної проби, 1/с; H_{ϕ} – швидкість лічби радіометра від фонові проби, 1/с; P – чутливість радіометра, кг/(с×Бк).

Паралельно, при відборі кожної проби проводили триразове вимірювання величини природного радіаційного γ -фону за допомогою побутового дозиметра «Белла» та визначали його середнє значення яке записували на маркувальну етикетку кожного зразка.

Значення об'ємної активності радону природних джерел визначали за допомогою вимірювального комплексу «Альфарад плюс», призначеного для моніторингу радону, торону та їх дочірніх продуктів. Цей комплекс може проводити експресні вимірювання та неперервний моніторинг *ОА* Радону-222 в пробах води в діапазоні значень від 1 Бк/дм³ до 800 Бк/дм³ з відносною похибкою $\leq 30\%$ (рис. 1). Комплекс забезпечений спеціальними пробовідбірними пристроями, які дозволяють проводити вимірювання вмісту Радону-222 у воді. Вимірювальна камера об'ємом 0,94 дм³ виконана у вигляді циліндра, з розміщеним всередині високовольтним електродом, і герметично закрита фланцями з обох боків. На вхідному фланці встановлено аерозольний фільтр, а в центрі вихідного – напівпровідниковий детектор. Проба води з відбірної ємкості переливається в пробовідбірник 3, який вставляється в барботер 4. В барботері відбувається аерація води і розчинені гази з води за допомогою повітрорудки 1 через патрон-осушувач 5 поступають у вимірювальну камеру радонметра 2.

Принцип визначення *ОА* Радону-222 базується на електростатичному осадженні заряджених іонів ^{218}Po із відібраної проби повітря на поверхню α -детектора (напівпровідниковий детектор). Ядро ^{222}Rn , що розпадається всередині камери, залишає продукт свого розпаду ядро ^{218}Po як позитивно заряджений іон. Електричне поле всередині камери приводить в рух цей позитивно заряджений іон в напрямку до детектора, до якого він електростатично притягується. *ОА* ^{222}Rn визначається за кількістю зареєстрованих α -частинок при розпаді атомів ^{218}Po , які осіли на детектор. Час відбору проби вноситься в пам'ять радонметра і враховується при визначенні кількості розпадів за період часу від відбору проби до початку вимірювання. Після закінчення вимірювання на екрані комплексу висвітлюються результати, які включають дату, час закінчення вимірювання, кількість імпульсів, режим роботи, значення *ОА* радону в пробі води, відносну похибку вимірювання, тиск, температуру, вологість (рис. 2).

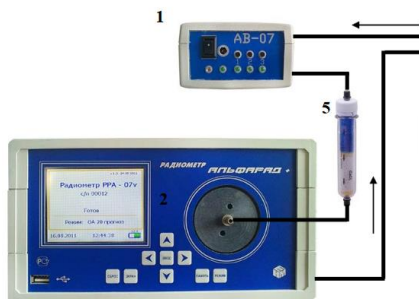


Рис. 1. Схема вимірювання *ОА* в пробі води. 1 – автономна повітродувка АВ-7; 2 – блок вимірювання *ОА*; 3 – пробовідбірник води з розсікачем; 4 – барботер; 5 – патрон-осушувач

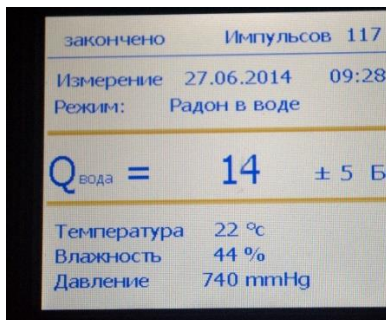


Рис. 2. Екран приладу при вимірюванні *ОА* Радону-222 в одному із зразків (для прикладу взято пробу № 88)

Тема 10. Показники епідемічної безпеки питної води

Методи визначення патогенних мікроорганізмів у воді: бактерії, віруси, найпростіші, яйця гельмінтів. Біологічні методи очищення питної води.

Мета роботи

Ознайомитися з основними індикаторами епідемічної безпеки води та методами лабораторного визначення патогенних бактерій, вірусів, найпростіших і паразитичних гельмінтів у водних пробах.

Обладнання та матеріали

- Проби питної води
- Мікроскоп (світловий, флуоресцентний)
- Поживні середовища для бактерій (агар, бульйони)
- Реактиви для ідентифікації вірусів (імунологічні тести, ПЛР)
- Проби для визначення найпростіших (барвники, гістологічні препарати)
- Фільтри, центрифуги, пробірки
- Лабораторний посуд, піпетки
- Засоби індивідуального захисту (рукавички, маски, халати)

Теоретичні основи

- **Показники епідемічної безпеки** включають наявність патогенних бактерій (наприклад, кишкова паличка, сальмонели), вірусів (ротавіруси, аденовіруси), найпростіших (лямблії, криптоспоридії) та паразитичних гельмінтів (яйця аскарид, бичачого ціп'яка).
- Методи визначення базуються на культуральних, імунологічних, молекулярно-біологічних і мікроскопічних підходах.
- Виявлення патогенів у воді є важливою складовою контролю якості питної води та профілактики інфекційних захворювань.

Біологічні методи очищення води ґрунтуються на використанні **живих організмів** (мікроорганізмів, найпростіших, водоростей) та їхніх комплексів – **біоценозів**, які здатні розкладати та поглинати органічні та деякі неорганічні забруднення, перетворюючи їх на нешкідливі або менш токсичні сполуки.

Ці методи часто застосовуються для очищення стічних вод, але також можуть використовуватися для **підготовки поверхневих вод до питного водопостачання** як частина комплексного процесу.

Основні принципи та агенти

Біологічне очищення полягає в **мікробному розкладанні** органічних сполук до продуктів мінералізації, таких як вуглекислий газ, вода, нітрати, сульфати, фосфати та інші.

Ключові біологічні агенти, що використовуються:

1. **Активний мул:** Комплекс мікроорганізмів (бактерії, найпростіші) у вигляді пластівців, які знаходяться у воді в завислому стані (зазвичай в **аеротенках**). Вони потребують **кисню** (аеробне очищення) для своєї життєдіяльності та розкладання органіки.
2. **Біоплівка:** Мікроорганізми, що прикріплюються до твердої поверхні (завантаження) **біофільтрів** (пісок, гравій, синтетичні матеріали).
3. **Анаеробні мікроорганізми:** Працюють у середовищі **без кисню**, розкладаючи органіку (наприклад, у септиках, анаеробних реакторах).

Процеси та споруди

В очисних спорудах використовуються різні технології, що базуються на цих агентах:

- **Аераційні споруди (Аеротенки):** Використовують **аеробні бактерії** (активний мул) для окислення органіки. Вода інтенсивно насичується киснем.
- **Біофільтри:** Вода проходить через шар матеріалу із закріпленою на ньому **біоплівкою**, яка поглинає забруднення.
- **Біоставки/Поля фільтрації (мочари):** Природні або штучно створені водойми/майданчики, де очищення відбувається за рахунок природних біоценозів і фільтрації ґрунтом.
- **Нітрифікація та Денітрифікація:** Спеціалізовані біологічні процеси для видалення сполук **азоту** та **фосфору** з води.

Переваги та Недоліки

Переваги	Недоліки
Екологічність: Базується на природних процесах, не вимагає великої кількості хімічних реагентів.	Чутливість до умов: Ефективність знижується при різких змінах температури, рН, або надходженні токсичних речовин.

Переваги	Недоліки
Економічність: Порівняно низька вартість експлуатації (мінімум реагентів).	Потреба у великих площах (для біоставків, полів фільтрації).
Висока ефективність проти органічних забруднень, розкладання білків, жирів, вуглеводів.	Високі енерговитрати (на аерацію в аеротенках).
Надійність технології при дотриманні умов експлуатації.	Утворення надлишкового мулу, який потребує подальшої обробки та утилізації.

Для отримання питної води біологічне очищення, як правило, є попереднім етапом для видалення органіки. За ним обов'язково слідує процеси знезараження/дезінфекції (хлорування, УФ-опромінення, озонування) для знищення патогенних мікроорганізмів.

Алгоритм виконання

1. Відбір проб води за стандартами.
2. Культуральне дослідження: висів проби на поживні середовища, інкубація, підрахунок колоній бактерій.
3. Імунологічні або молекулярні методи для виявлення вірусів (ПЛР, імуноферментний аналіз).
4. Мікроскопічне дослідження на наявність найпростіших та яєць гельмінтів із застосуванням специфічних барвників та методів концентрування.
5. Фіксація та обробка результатів.

Оформлення результатів

Результати оформити у таблиці з кількісними показниками (колонієутворюючі одиниці, копії вірусів, кількість найпростіших та

яєць гельмінтів), джерело проби, дату. Додати висновки щодо безпеки води та рекомендації.

Рекомендована література

1. ДСТУ ISO 9308-1: Визначення кишкової палички у воді.
2. Рекомендації ВООЗ щодо якості питної води, 2017.
3. Методичні рекомендації МОЗ України щодо контролю патогенів у воді, 2022.
4. Tortora G. J., Funke B.R., Case C. L. Microbiology: An Introduction. Pearson, 2019.
5. Ryan K.J., Ray C.G. Sherris Medical Microbiology. McGraw Hill, 2018.

Тема 11. Робота в мікробіологічній лабораторії

обладнання, методи культивування ідентифікації мікроорганізмів, правила безпеки та автоклавування.

Мета роботи

Ознайомитися з основним обладнанням мікробіологічної лабораторії, засвоїти методи культивування ідентифікації мікроорганізмів, засади безпеки роботи, а також навчитися проводити стерилізацію матеріалів за допомогою автоклава.

Обладнання та матеріали

- Мікроскоп
- Інкубатор
- Поживні середовища (агар, бульйони)
- Петльовий стерилізатор (газовий або електричний)
- Автоклав
- Ламінарна шафа (за наявності)
- Піпетки, пробірки, чашки Петрі
- Захисний одяг: халати, рукавички, окуляри
- Дезінфекційні засоби

Теоретичні основи

- **Обладнання:** мікроскоп використовується для візуалізації мікроорганізмів; інкубатор забезпечує оптимальні умови для росту культур; автоклав — для стерилізації матеріалів.
- **Культивування мікроорганізмів** проводиться на поживних середовищах для виділення чистих культур і подальшої ідентифікації.
- **Ідентифікація** включає морфологічні, культуральні, біохімічні та молекулярні методи.
- **Правила безпеки** передбачають використання засобів індивідуального захисту, роботу у стерильних умовах, правильну утилізацію відходів.
- **Автоклавування** — метод стерилізації парою під тиском (121 °C, 15-20 хвилин), який знищує всі форми мікроорганізмів.

Алгоритм виконання

1. Ознайомлення з обладнанням та матеріалами лабораторії.
2. Підготовка поживних середовищ, розлив у чашки Петрі.

3. Висів проб або чистих культур на середовище за допомогою стерильних інструментів.
4. Поміщення чашок у інкубатор при відповідній температурі (наприклад, 37 °C) на 24-48 годин.
5. Візуальний огляд росту колоній, опис морфології.
6. Проведення ідентифікаційних тестів (за програмою).
7. Підготовка матеріалів і відходів для автоклавування.
8. Проведення стерилізації в автоклаві (регламентований режим).
9. Дотримання правил безпеки під час усіх операцій.

Оформлення результатів

Описати види використаного обладнання, наведені методики культивування, описати отримані культури за морфологічними ознаками, оформити звіт про проведену стерилізацію. Додати фото або схеми (за можливості).

Рекомендована література

1. Колеснікова І.М. Мікробіологічні методи дослідження води. К., 2020.
2. Cappuccino J.G., Sherman N. Microbiology: A Laboratory Manual. Pearson, 2019.
3. Рекомендації ВООЗ з безпеки лабораторій, 2018.
4. Methods for Sterilization and Disinfection / American Society for Microbiology, 2021.
5. Ребров В.П. Методи аналізу води. К., 2019.

Тема 12. Біотестування якості води з використанням *Daphnia magna*

Мета роботи: навчитися оцінювати ступінь токсичності та кратності розбавлення стічних вод за результатами біотестування з використанням рачків виду *Daphnia magna* S.

Одними з найбільш чутливих до токсичних речовин різної природи серед гідробіонтів є прісноводні ракоподібні роду *Daphnia* загону *Cladocera*, що включає понад 20 видів. Оскільки вони володіють значною фільтраційною здатністю, то в більшості випадків зазнають впливу розчинних та дрібнодисперсних завислих компонентів стічних вод. З цієї причини дафнії частіше обирають в якості тест-об'єкта для токсикологічних дослідів. При цьому, вони є організмами з коротким біологічним циклом розвитку, що дає можливість простежити дію токсичних речовин на ряді поколінь при відносно невеликій тривалості дослідів (до 1-2 місяців).

Основним видом, легко культивованим у лабораторних умовах, є *Daphnia magna* Straus, відома також як водяна блоха. В природних умовах цей вид живе в дрібних стоячих і слабопроточних водоймах із вмістом кисню від 2 мг/л і більше, харчується бактеріями, фітопланктоном і детритом.

У природі в літню пору, а в лабораторії при сприятливих умовах цілий рік, дафнії розмножуються без запліднення – партеногенетично (причому народжуються тільки самки). При різкій зміні умов існування (нестача їжі, зниження температури та ін.) в популяції дафній з'являються самці. З цього моменту дафнії переходять до статевого розмноження, відкладаючи після запліднення «зимові яйця» (1-2 шт.), які розміщуються в спеціальній виводковій камері (ефипіумі). Навесні з'являються самки, що надалі дають партеногенетичні покоління дафній. В природі дафнії живуть у середньому 40-60 днів (в залежності від температури), а в лабораторії при оптимальному режимі – 3-4 місяця і більше. При високих температурах (понад +25°C) тривалість життя дафній може скорочуватися до 25 днів.

Дафнія стійка до зміни кисневого режиму, що пов'язано зі здатністю синтезувати гемоглобін. При зниженні концентрації розчиненого кисню (що є біоіндикаційною ознакою) спостерігається підвищений вміст гемоглобіну в дафнії. Вони стають яскраво-

червоними і загальна чисельність збільшується. При оптимальному ж вмісті у воді розчиненого кисню рачки мають рожево-жовтий колір.

Опис методу. Культивування дафній і біоіндикаційні досліди проводять у термолюміністаті з оптимальним температурним режимом $20 \pm 2^\circ\text{C}$ та світловим днем 10-12 год., що підтримується лампами денного світла. Воду для культивування рачків відбирають із незабруднених природних водойм або використовують вистояну водопровідну воду, дехлоровану шляхом аерації протягом 7-10 діб. Кормом для рачків слугують протокові зелені водорості.

Гострий дослід – це короткочасне біотестування (до 96 год.), що дозволяє визначити гостру токсичну дію води на дафній за показником їх виживаності. Облік дафній, що вижили, проводять через 1, 6, 24, 48, 72 і 96 год. У гострому досліді досліджуються 5-7 розведень стічної води або концентрації речовини. Коефіцієнт розведення складає 2-20 в залежності від токсичності досліджуваних вод. Токсичність хімічних сполук випробовують також з концентраціями 10-100 мг/л.

Досліди проводять у трьох повторях наступним чином: у кожную склянку заливають по 200-300 мл розчину і висаджують по 10 дафній. В якості контролю використовується вистояна протягом 7-10 діб водопровідна вода. Тривалість спостережень – до 96 год. При короткочасному біотестуванні дафній не годують.

Час загибелі рачків відзначають за фактом настання нерухомості (імобілізації): дафнії лежать на дні склянки, плавальні рухи відсутні і не відновляються при легкому дотику струменем води або погойдуванні склянки. Особин вважають такими що вижили, якщо вони вільно пересуваються в товщі води або спливають з дна склянки не пізніше 15 с після її легкого погойдування. Якщо в будь-який період часу, що визначається, у стічній воді гине 50 і більше відсотків дафній, біотестування припиняють.

Якщо загибель контрольних дафній в період тестування перевищить 10%, то гострий дослід припиняють і повторюють знову.

За результатами гострих дослідів визначають:

1) LKp_{50} – кратність розведення досліджуваної води (концентрації речовини), при якій гине 50% дафній за 96 год.;

2) LKp_0 – гранична концентрація (мінімально діюча), при якій організми не гинуть;

3) TL_{50} – середній час виживання 50% дафній у ряді розведень.

Найбільш простим і часто застосовуваним методом визначення LKp_{50} є графічний метод. На осі абсцис відкладають логарифми величин кратності розведення води, що тестується, а на осі ординат – середні арифметичні величини виживаємості дафній у відсотках до контролю.

Отримані крапки з'єднують лінією. Від крапок на осі ординат, що відповідають 50 і 100% виживаності, проводять лінії, паралельні осі абсцис. З крапок перетинання цих ліній з експериментальною прямою опускають перпендикуляри на вісь абсцис і знаходять логарифми величин кратності розведення, що будуть відповідати величинам LKp_{50} і LKp_0 . Чим більше величини LKp_{50} і LKp_0 , тим більше токсичність стічних вод (речовини).

Ступінь токсичності стічних вод (речовин) визначається мірою її зниження відносно розведення чистою водою. Якщо токсичність стоків не проявляється в гострих дослідах, або знімається при розведенні 1:10, то говорять про низький ступінь токсичності стоків; зниження токсичності при розведенні стоків більше ніж у 10 разів – середній ступінь токсичності; якщо токсичність знижується тільки при розведеннях більше ніж у 100 разів, то ці стоки мають високу ступінь токсичності. Остання група стоків є найбільш небезпечною.

Для визначення середнього часу виживання TL_{50} будують графіки: на осі абсцис відкладають час, на осі ординат – виживаність у % для кожного розведення (концентрації). Чим менше величина TL_{50} , тим більше токсичність досліджуваної води.

Хронічний дослід з дафніями слугує для глибокого дослідження властивостей природних вод і окремих речовин. Дозволяє визначити хронічну токсичну дію води на дафній по показниках їх виживаності і плодючості. Показником виживаності служить середня кількість самок дафній, що вижили протягом біотестування, показником плодючості – середня кількість молоді, яка була виметана під час біотестування (у перерахуванні на одну

самку, що вижила). Критерієм токсичності є достовірна відмінність від контролю показника виживаності або плодючості дафній.

Умови проведення хронічних дослідів аналогічні описаним вище гострим дослідом: постійний температурний і світловий режим, а також щоденне внесення корму – водорості хлорела. Тривалість досліду 20 і більше діб.

Оцінка результатів досліду (у % відносно контролю) проводиться за наступною формою: виживаність під час досліду; плодючість (реальна і потенційна, в перерахуванні на одну дафію під час досліду); розміри дафній; кількість линьок.

Таким чином, використання дафній в якості тест-організмів дозволяє визначити ступінь токсичності досліджуваних вод, а також оцінити кратність розведення стічних вод.

Приклад розрахунку

При дослідженні токсичності стічних вод підприємства на рачках *Daphnia magna* S. були отримані наступні результати (табл. 1). В першу чергу знаходимо середнє значення кількості дафній, що вижили, у кожному варіанті і виражаємо у відсотках відносно контролю (табл. 2).

Таблиця 1. Виживаність дафній у гострому досліді зі стічною водою підприємства

Час, годин	Контроль			Розведення 1: 3			Розведення 1: 5			Розведення 1: 10			Розведення 1: 15		
	Номер проби			Номер проби			Номер проби			Номер проби			Номер проби		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Кількість дафній, що вижили														
1	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	10	10	10	8	9	8	10	9	9	10	9	10	9	10	10
24	10	10	9	8	7	6	9	9	8	9	9	10	9	9	10
48	10	10	9	6	7	6	8	8	6	9	8	9	9	9	10
72	10	10	9	5	6	5	8	7	6	8	8	9	9	9	10
96	10	10	9	4	5	4	6	7	5	7	8	8	8	9	9

Таблиця 2. Вживаність дафній відносно контролю

Час, год ин	Контроль		Розведення 1: 3		Розведення 1: 5		Розведення 1: 10		Розведення 1: 15	
	Серед не	% до контро лю	Серед не	% до контро лю	Серед не	% до контро лю	Серед не	% до контро лю	Серед не	% до контро лю
	Кількість дафній що вижили									
1	10,0	100	9,33	93,33	10,0	100	10,00	100	10,00	100
6	10,0	100	8,33	83,33	9,33	93,33	9,67	96,67	9,67	96,67
24	9,67	100	7,00	72,41	8,67	89,66	9,33	96,55	9,33	96,55
48	9,67	100	6,33	65,52	7,33	75,86	8,67	89,66	9,33	96,55
72	9,67	100	5,33	55,17	7,00	72,41	8,33	86,21	9,33	96,55
96	9,67	100	4,33	44,83	6,00	62,07	7,67	79,31	8,67	89,66

Потім визначаємо логарифми кратності розведення стічної води: $\lg 3 = 0,48$, $\lg 5 = 0,70$, $\lg 10 = 1,00$, $\lg 15 = 1,18$. Будуємо графік, на якому по осі у відкладаємо виживаність дафній через 96 год. у відсотках стосовно контролю, а по осі х – логарифми концентрацій (табл. 3).

Таблиця 3. Вихідні дані для побудови графіка залежності виживаності від кратності розведення

x	0,48	0,70	1,00	1,18
y	44,83	62,07	79,31	89,66

З'єднуємо отримані крапки і продляємо отриману пряму до перетинання з горизонталлями, що відповідають 50 і 100% виживаності (рис.1).

З точок перетинання горизонталей 50 і 100% опускаємо перпендикуляри на вісь х. У такий спосіб знаходимо логарифми кратності розведення стоків. Визначаємо саму величину кратності розведення:

$$\lg n_{50} \approx 0,52 ;$$

$$\lg n_{100} \approx 1,35;$$

$$\text{ЛКр}_{50} = 10^{0,52} = 3,3;$$

$$\text{ЛКр}_0 = 10^{1,35} = 22,4.$$

Таким чином, визначаємо що 50% дафній гинуть при розведенні досліджуваної стічної води 1:3,3; а при розведенні 1:22,4 стічна вода не чинить токсичного впливу на організми (виживають 100% дафнії).

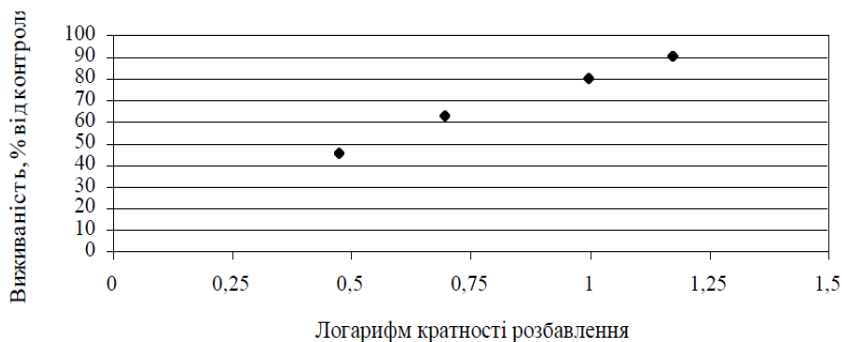


Рис. 1. Графік залежності виживаності від кратності розбавлення

Визначення ступеня токсичності стічної води. Стічна вода даного підприємства відноситься до середнього класу токсичності промислових вод, тому що токсичний ефект знімається при розведенні в 22 рази ($10 < 22 < 100$).

Для визначення середнього часу виживання ТЛ_{50} будуємо графіки для кожного варіанта розведення (рис. 2). Для цього на осі абсцис відкладаємо час, а на осі ординат – виживаність у % для кожного розведення (табл. 4).

Таблиця 4. Вихідні дані для побудови графіків залежності виживаності дафній від часу

х, час, годин	1	6	24	48	72	96
у, розведення 1:3	93,33	83,33	72,41	65,52	55,17	44,83
1:5	100,0	93,33	89,66	75,86	72,41	62,07
1:10	100,0	96,67	96,55	89,66	86,21	79,31
1:15	100,0	96,67	96,55	96,55	96,55	89,66

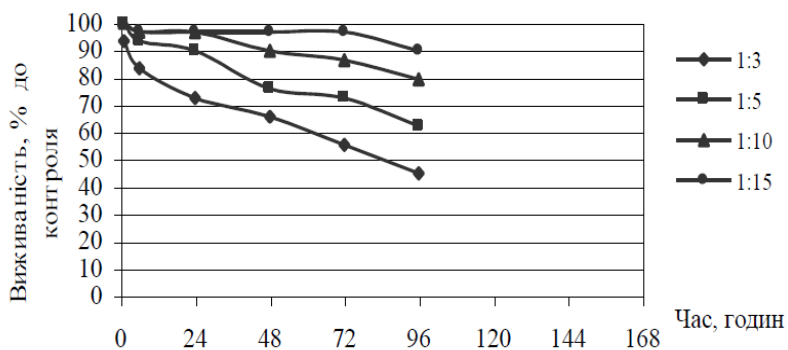


Рис. 2. Графіки залежності виживаності від часу

Знаходимо крапки перетинання кожної кривої виживаності з горизонталлю 50% і визначаємо в такий спосіб час, протягом якого гине 50% організмів. У даному випадку

для варіанта розведення 1:3 $TL_{50} \approx 84$ год,

для варіанта розведення 1:5 $TL_{50} \approx 120$ год,

для варіанта розведення 1:10 $TL_{50} \approx 150$ год,

для варіанта розведення 1:15 $TL_{50} > 150$ год.

Очевидно, що найбільшим ступенем токсичності володіє концентрована стічна вода (варіант розведення 1:3), а найменшою – найбільш розведена (варіант 1:15).

Висновки:

1. Стоки підприємства чинять у різному ступені токсичний вплив на живі організми при всіх досліджених кратностях розведення (тому що загибель дафній спостерігалася у всіх варіантах).
2. Найбільш вагомий токсичний вплив стічна вода чинить на дафній у першому варіанті розведення – 1:3 (загинуло більше 50% дафній – 55,17%). При цьому загибель організмів у контролі не перевищила 10% і склала 3,3% (вижило в середньому 9,67 особин з 10).
3. Найменший час загибелі 50% тварин – 84 год. спостерігається при розведенні стоків 1:3, найбільший (> 150 год.) – при розведенні 1:15.
4. $LKP_{50}=3,3$, $LKP_{0}=22,4$; тобто кратність розведення, при якій гине 50% дафній, складає приблизно 1:3, а концентрація стічних вод, що не

чинить негативного впливу на живі організми, відповідає розведенню 1:22.

5. Стоки даного підприємства відносяться до середнього ступеня токсичності, тому що токсичність знімається при розведенні 1:22.

Контрольні запитання

1. Чому дафній використовують для біотестування стічних вод?
2. У чому полягають біологічні особливості життєдіяльності дафній?
3. Що є критерієм оцінки токсичності при проведенні гострих дослідів?
4. Як проводиться гострий дослід?
5. Які параметри визначають за результатами гострих дослідів?
6. Що є критерієм токсичності при хронічному досліді?
7. Чим відрізняється хронічний дослід від гострого?

Тема 13. Методи дослідження стічних вод

Основні види забруднювачів, методи очищення та знезараження. Флокуляція. Дослідження активного мулу. UV-дезінфекція. Хлорування. Біологічна очистка.

Мета роботи

Ознайомитися з характерними забруднювачами стічних вод, основними фізико-хімічними і біологічними методами очищення, а також методами знезараження води. Набути практичних навичок у визначенні параметрів активного мулу та проведенні процесів флокуляції, дезінфекції.

Обладнання та матеріали

- Проби стічних вод
- Лабораторні прилади для визначення забруднень (турбідиметр, вимірювач ХСК, БСК, рН-метр)
- Реактиви для флокуляції (алюміній сульфат, полімери)
- Установка для моделювання флокуляції (мішалка, відстійники)
- Матеріали для дослідження активного мулу (мікроскоп, пробірки, мірні циліндри)
- Джерело ультрафіолетового випромінювання (UV-лампа)
- Реактиви для хлорування (розчин хлору або хлорні таблетки)
- Захисні засоби (рукавички, окуляри, халат)

Теоретичні основи

- **Основні види забруднювачів:** органічні речовини (БСК, ХСК), неорганічні (метали, аміак), завислі речовини, патогени.
- **Флокуляція** - процес агрегації дрібних частинок у більші, які легше видаляються механічно. Використовують коагулянти (алюміній сульфат) та флокулянти (полімери).
- **Активний мул** - це суспензія мікроорганізмів, які розкладають органічні забруднення у біологічних очисних спорудах. Параметри активного мулу визначають за вмістом сухої речовини, концентрацією біомаси та активністю.
- **UV-дезінфекція** - знезараження води ультрафіолетом, що пошкоджує ДНК мікроорганізмів.
- **Хлорування** - хімічний метод дезінфекції з використанням хлору, що ефективний проти бактерій і вірусів.

- **Біологічна очистка** - мікробіологічне розкладання органічних речовин у стічних водах.

Алгоритм виконання

1. Відбір проб стічних вод.
2. Визначення основних фізико-хімічних показників: рН, ХСК, БСК, тверді речовини.
3. Проведення експерименту з флокуляції: додавання коагулянту, перемішування, відстоювання, визначення ефективності очищення.
4. Вивчення проб активного мулу: визначення вмісту сухої речовини, мікроскопічний аналіз.
5. Проведення дезінфекції UV-лампою: оцінка знищення мікроорганізмів.
6. Хлорування проби: додавання хлору, контроль залишкового хлору.
7. Порівняння ефективності різних методів очищення та знезараження.
8. Оформлення результатів.

Оформлення результатів

Записати результати фізико-хімічних аналізів, результати флокуляції (наприклад, зміна каламутності або вмісту завислих речовин), спостереження за активним мулом, ефективність UV- та хлорної дезінфекції. Оформити у вигляді таблиць, графіків, фотографій (за можливості). Написати висновки щодо доцільності застосування кожного методу.

Завдання для самостійної роботи

Рекомендована література

1. ДСТУ 4288-2004. Водопідготовка. Очистка стічних вод.
2. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw Hill, 2014.
3. Мельник І.І. Очищення стічних вод: навч. посібник. К., 2018.
4. Тараненко В.М. Біологічна очистка води. К., 2017.
5. EPA Guidelines for Water Treatment and Disinfection, 2020.

Тема 14. Визначення хемотаксичної реакції інфузорій

Мета: визначення ступеня забруднення проб дощових вод або снігу за допомогою хемотаксичної реакції інфузорій.

Завдання – вивчення сфери можливого використання тест-об'єктів і способів оцінювання токсичного впливу на них.

Матеріали та обладнання: мірні склянки на 50 мл, пробірки, культура інфузорій, 5 % розчин полівінілового спирту, стічна вода або снігова тала вода, дистильована вода, світловий мікроскоп, калькулятор, ручка, зошит.

Теоретичні відомості

Як тест-об'єкт у цій роботі використовуються найпростіші *Paramecium caudatum* – інфузорії-туфельки (рис. 1). Ці найпростіші мають розміри від 30 мкм до 1–2 мм, за формою нагадують туфельку (рис. 2). Живуть інфузорії зазвичай у прісних річках і ставках. Усе тіло інфузорій укрите безліччю війок, які виконують функції пересування і підгону їжі до ротового отвору. Порівняно з іншими найпростішими інфузорії мають найбільш складну будову і завжди знаходяться в безперервному русі (пересуваються вони зі швидкістю до 2,5 мм / с). Рух інфузорій цілеспрямований і має назву таксису. Виникає таксис під впливом односторонньо діючого стимулу - світла (фототаксис), температури (термотаксис), різних хімічних речовин (хемотаксис), кисню (аеротаксис), вологості (гідротаксис). Таксис може бути позитивним (рух до джерела подразнення) і негативним (рух від джерела подразнення).

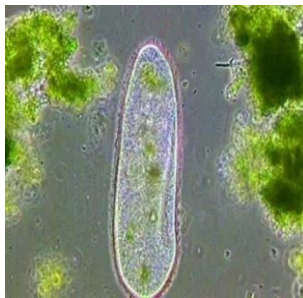


Рисунок 1. Інфузорія-туфелька (*Paramecium caudatum*)

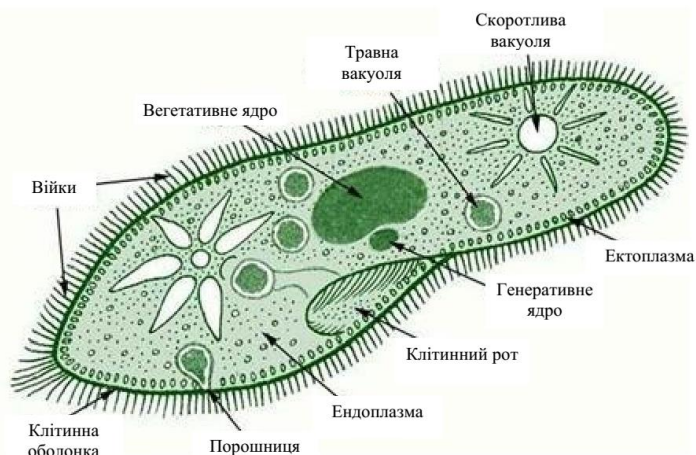


Рисунок 2. Будова інфузорії-туфельки

Метод визначення токсичності базується на здатності інфузорій реагувати на наявність у водному середовищі речовин, що становлять небезпеку для їх життєдіяльності, негативним хемотаксисом. Параметри хемотаксичної реакції інфузорій визначають візуальним спостереженням і фіксують за допомогою фотоапаратури.

Хемотаксична реакція стимулюється шляхом нашарування на суспензію інфузорій розчину досліджуваної речовини. Для цього суспензію інфузорій і досліджуваний розчин послідовно вносять у кювету (невеликих розмірів прямокутна скляна місткість) або пробірку. У мірній склянці повинна утворюватися стабільна межа поділу двох рідин, для чого суспензію тестових інфузорій попередньо можна обробити нейтральним загусником (полівініловим спиртом). Межа поділу рідин не перешкоджає вільному переміщенню інфузорій, але дозволяє уникнути змішування суспензії інфузорій із розчином досліджуваної речовини.

У нормальних умовах інфузорії будуть концентруватись у верхній частині кювети або пробірки ближче до вільного кисню повітря (позитивний аеротаксис). Наявність же в досліджуваному розчині токсичних речовин призводить до іншого характеру перерозподілу інфузорій у склянці, а саме: чим вища токсичність

проби, тим менше інфузорій переміщатиметься до верхньої зони склянки (негативний хемотаксис).

Критерієм токсичної дії досліджуваної речовини є ступінь розбіжності в кількості інфузорій, спостережуваних у верхній зоні мірної склянки в контрольній пробі (не містить токсичних речовин) порівняно з досліджуваною пробою.

Практична частина

Об'єктом дослідження служать проби дощових вод або снігу, взяті з різних за ступенем антропогенного навантаження ділянок міста (поблизу автодороги, на території промислового підприємства, вглибині паркової зони і т. д.).

Хід роботи та обробка результатів

1. У контрольну і дослідну мірну склянку вносять по 10 мл суспензії тестових інфузорій, в кожную пробу додають по 1,75 мл 5 % розчину полівінілового спирту, вміст проб ретельно перемішують.

2. У дослідну мірну склянку на суспензію інфузорій акуратно наносять 8 мл досліджуваної рідини (дощової води чи розталого снігу), не допускаючи перемішування з нижнім шаром. У контрольну мірну склянку замість досліджуваної рідини вносять 8 мл не токсичної рідини, наприклад дистильованої води.

3. Через 30 хвилин роблять аналіз динаміки поширення інфузорій у товщі водного середовища. У тому разі якщо концентрація токсичних речовин настільки велика, що інфузорії не виходять у верхню зону мірної склянки, то досліджувану пробу необхідно розбавити, а потім під час виконання розрахунків скоригувати результат з урахуванням ступеня розведення (рис. 3).

4. Оцінювання токсичності досліджуваної рідини проводять за ступенем відмінності кількості інфузорій, спостережуваних у верхній зоні мірної склянки в контрольній і дослідній пробі. Для чого визначають індекс токсичності (Т) за формулою

$$T = (I_{\text{контроль}} - I_{\text{дослід}}) / I_{\text{контроль}},$$

де $I_{\text{контроль}}$ і $I_{\text{дослід}}$ – середні показання, які беруть умовно в балах від 1 до 5 за таким принципом:

- дуже мало (1 бал) – менше 10 % від загальної кількості інфузорій перемістилося у верхню зону мірної склянки;
- мало (2 бали) – 10–29 %;
- середньо (3 бали) – 30–59 %;
- багато (4 бали) – 60–80 %;

- дуже багато (5 балів) – більше 81 %.

Деякі проби можуть містити безпечні й навіть привабливі для інфузорій речовини. У таких випадках $I_{\text{дослід}}$ може навіть дещо перевищувати $I_{\text{контроль}}$. Одержані негативні значення індексу токсичності свідчать про відсутність токсичності й можуть бути оцінені як нульові.

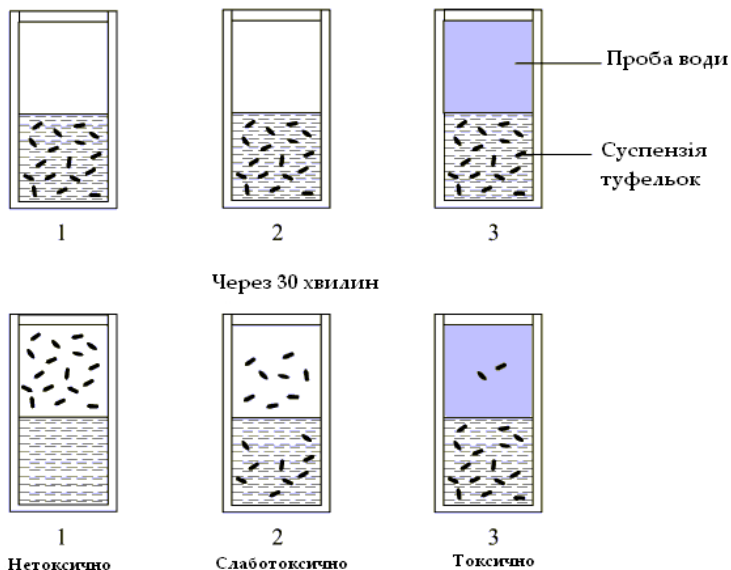


Рисунок 3. Визначення динаміки поширення інфузорій у товщі водного середовища

За результатами роботи роблять **висновок** з урахуванням того, що індекс токсичності може набувати значень від 0 до 1. При цьому допустиму за ступенем токсичності має проба зі значеннями T менше 0,40. У разі, якщо T перевищує значення 0,71, така проба вважається високотоксичною.

Контрольні запитання

1. В чому полягають особливості використання інфузорій в якості тест-об'єктів?
2. Які є види таксису у інфузорій?
3. Які ще мікроорганізми зазвичай використовуються для біоіндикації і біотестування в екологічних дослідженнях?

Тема 15. Обґрунтування вибору методів аналізу води, її очищення та знезараження

Мета роботи

Систематизувати знання щодо методів аналізу, очищення та знезараження води, сформувати навички комплексного обґрунтування вибору відповідних заходів залежно від характеру забруднень та призначення води.

Обладнання та матеріали

- Матеріали та результати попередніх лабораторних робіт (проби води, результати аналізів)
- Література та нормативні документи
- Таблиці нормативів якості води
- Засоби для демонстрації методів очищення (за наявності)

Теоретичні основи

- Аналіз якості води: фізико-хімічні, мікробіологічні, радіаційні показники
- Основні методи очищення води: механічні, фізико-хімічні (флокуляція, коагуляція), біологічні, дезінфекція (хлорування, UV)
- Критерії вибору методів очищення води залежно від типу забруднень
- Економічні та екологічні аспекти вибору заходів

Вибір методів очищення води залежить від **типу забруднень**, їх **концентрації** та **необхідної кінцевої якості води** (наприклад, питна вода, технічна, для скидання у водойму). Жоден метод не є універсальним, тому на практиці використовують **комплексні багатоступеневі системи**.

Ось основні критерії вибору методів залежно від типу забруднень:

Механічні та зважені домішки

Це великі частинки, які не розчинені у воді (пісок, глина, іржа, мул, велика органіка).

Тип забруднення	Рекомендовані методи	Принцип дії
Крупні зважені частки (сміття, пісок, іржа)	Механічна фільтрація (решітки, сітки, фільтри грубої очистки), Відстоювання.	Фізичне затримання частинок або їх осадження під дією гравітації.
Дрібні зважені та колоїдні частки (каламутність, глина)	Коагуляція/Флокуляція з подальшим Відстоюванням та Фільтруванням (на піщаних, гравійних фільтрах).	Додавання реагентів, що злипають дрібні частки у більші пластівці (флокули) для подальшого осадження.

Органічні забруднення

Це розчинені та колоїдні речовини природного або штучного походження (залишки рослин, білки, жири, вуглеводи, пестициди, нафтопродукти, гумінові кислоти).

Тип забруднення	Рекомендовані методи	Принцип дії
Біологічно розкладні органічні речовини	Біологічне очищення (аеротенки, біофільтри).	Мікроорганізми (активний мул) окислюють та розкладають органіку на CO ₂ і воду.
Розчинена органіка, хлор, неприємний запах і присмак	Сорбція (активоване вугілля), Озонування.	Вугілля адсорбує молекули забруднень на своїй поверхні. Озон окислює та руйнує органічні сполуки.

Тип забруднення	Рекомендовані методи	Принцип дії
Складна, високотоксична органіка	Зворотний осмос, Фотолітичне озонування, Іонний обмін (для деяких сполук).	Мембрана затримує майже всі молекули, крім води. Активне окислення.

Неорганічні забруднення (мінеральні)

Це розчинені солі, іони металів, кислоти, луги.

Тип забруднення	Рекомендовані методи	Принцип дії
Солі жорсткості (Ca^{2+} , Mg^{2+})	Іонний обмін (пом'якшення), Реагентне очищення (вапнування), Зворотний осмос.	Заміна іонів жорсткості на іони натрію на спеціальній смолі або видалення мембраною.
Важкі метали (Fe, Mn, Cu, Pb)	Окислення з подальшою фільтрацією (для заліза та марганцю), Іонний обмін, Хімічне осадження (нейтралізація).	Переведення розчинених іонів у нерозчинну форму (осад) та їх фільтрація.
Солі (висока мінералізація)	Зворотний осмос, Електродіаліз, Дистиляція.	Фізичне розділення води та солей за допомогою напівпроникної мембрани (ОС) або електричного поля.

Тип забруднення	Рекомендовані методи	Принцип дії
Азотисті сполуки (NH_4^{4+} , NO_3^{3-})	Біологічна нітрифікація/денітрифікація (для великих об'ємів), Іонний обмін (видалення нітратів).	Мікроорганізми перетворюють амоній на азотний газ або менш шкідливі нітрати.

Біологічні (бактерії, віруси, цисти)

Це патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми.

Тип забруднення	Рекомендовані методи	Принцип дії
Бактерії, віруси (зnezараження)	Хлорування (рідкий хлор, гіпохлорит), Озонування, УФ-опромінення (УФ-дезінфекція).	Хімічне (окислення) або фізичне (руйнування ДНК/РНК) знищення мікроорганізмів.
Цисти найпростіших (лямблії, криптоспоридії)	Зворотний осмос, Ультрафільтрація, Коагуляція (з високоефективною фільтрацією) або Кип'ятіння.	Фізичне затримання великих за розміром цист або їх знищення високою температурою.

Загальні критерії вибору

1. Початкова якість води: Що брудніша вода (більше зважених речовин), то складнішою має бути попередня механічна фільтрація (решітки, відстійники).
2. Кінцева мета використання: Для питної води завжди потрібні зnezараження та видалення дрібних розчинених домішок (ОС, вугілля). Для стічних вод головна мета — зниження БПК/ХПК.

3. Економічна доцільність: Реагентні методи (хлорування, коагуляція) часто дешевші, але вимагають контролю за дозуванням. Мембранні технології (ОС, ультрафільтрація) дорожчі, але забезпечують найвищу якість.
4. Екологічні вимоги: Методи, що не використовують хімічні реагенти (УФ, біологічне очищення, безреагентне знезалізнення), є більш екологічно безпечними.

Алгоритм виконання

1. Ознайомитися з результатами аналізу проб води.
2. Визначити основні види забруднень у пробах.
3. Обґрунтувати вибір методів аналізу для подальшого контролю якості.
4. Вибрати методи очищення і знезараження води, які відповідають характеристикам забруднень.
5. Скласти комплексний план заходів для покращення якості води.
6. Обговорити економічну доцільність і можливі екологічні наслідки обраних методів.
7. Оформити звіт з описом обґрунтувань і рекомендацій.

Оформлення результатів

Скласти таблицю чи схему, що відображає характер забруднень, рекомендовані методи очищення та дезінфекції, а також підстави для їх вибору. Написати аналітичний висновок.

Рекомендована література

1. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw Hill, 2014.
2. ДСТУ 4288-2004. Водопідготовка. Очистка стічних вод.
3. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, 2017.
4. Мельник І.І. Очищення води: технології і практики. К., 2019.
5. EPA. Water Treatment Manual, 2020.

16. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота здобувача вищої освіти є невід’ємною складовою освітнього процесу. Це основа навчання, спрямована на формування самостійності майбутнього фахівця, уміння здійснювати самостійний пошук, системний аналіз та узагальнення навчально-методичної та наукової інформації, професійно важливих дій до самопідготовки у процесах виробничої практики, здатності приймати конструктивні рішення тощо.

Метою самостійної роботи є підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців на світовому ринку праці через формування їхніх вмінь та ключових навичок.

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни «Вода, санітарія та гігієна» є складання письмового звіту за питаннями, що не розглядаються під час аудиторних занять.

16.1. Завдання для самостійної роботи

Тема 1. Підготувати есе (3–4 стор.): порівняння підходів ДСанПіН та WHO в оцінці якості питної води (напр., граничні $\text{NO}_3^- \leq 50$ мг/л тощо). Розробити PQ-карту для моніторингу якості питної води у невеликому водогоні (за WSP Manual 2023). Підготувати коротку презентацію (5-7 слайдів): специфічні гігієнічні методи (коліфаги, віруси) та їхнє призначення.

Тема 2. PQ-карта (важливі контрольні точки) для WSP-модулю: від відбору проб води до передачі в лабораторію - з відмітками температурного контролю. Порівняльне есе (до 2 сторінок): різниця між grab sampling, composite sampling і автоматичними методами для централізованої системи водопостачання. Презентація (5-7 слайдів): специфічні аспекти вірусологічного або коліфагового контролю проб питної води.

Тема 3. Підготуйте короткий нарис (до однієї сторінки): порівняйте мембранну фільтрацію та multiple-tube fermentation щодо чутливості, специфічності і практичності в лабораторії. Розробіть протокол лабораторних процедур із картами ризиків та заходами безпеки (включаючи SOP для роботи з реактивами та автоклавування). Підготуйте презентацію (до 5-7 слайдів): як впливає неправильна безпека на результати аналізу та на здоров’я персоналу.

Тема 4. Підготуйте таблицю порівняння органолептичних показників (колір, запах, смак, каламутність, жорсткість) з нормативами ДСанПіН і вашими фактичними результатами (або модельними даними). Напишіть короткий аналітичний текст (до 1 сторінки): поясніть, як співвідношення BOD_5/COD відображає якість води і біодеградованість.

Тема 5. Порівняти результати фізико-хімічного аналізу води з різних джерел. Дослідити вплив забруднень (наприклад, сільськогосподарських стоків) на фізико-хімічні показники води. Підготувати звіт про сучасні методи очистки води для зниження вмісту аміаку, нітратів та хлору.

Тема 6. Проаналізувати вплив заліза на якість питної води та здоров'я людини. Дослідити різні технології знезалізнення води і порівняти їх переваги та недоліки. Підготувати короткий огляд методів визначення важких металів у воді, зокрема переваги ААС порівняно з іншими методами.

Тема 7. Ознайомитися з основними класами пестицидів і їх впливом на водні екосистеми. Провести порівняльний аналіз чутливості ГХ і ВЕРХ для визначення певного пестициду. Підготувати огляд сучасних методів екстракції пестицидів з водних проб.

Тема 8. Оцінити вплив стічних вод промислового підприємства на якість природної води за результатами ростового тесту. Варіанти вихідних даних наведені в додатку і обираються відповідно до порядкового номеру студента в списку академічної групи.

Тема 9. Вивчити основні джерела радіоактивного забруднення водних ресурсів у вашому регіоні. Порівняти методи визначення радіонуклідів за їх перевагами і недоліками. Підготувати доповідь про вплив радіонуклідів на здоров'я людини та методи захисту.

Тема 10. Описати роль основних патогенів у виникненні водно-санітарних захворювань. Порівняти методи визначення бактерій і вірусів у воді за чутливістю і швидкістю. Підготувати коротку доповідь про способи запобігання забрудненню питної води патогенами.

Тема 11. Підготувати опис основних типів поживних середовищ і їх призначення. Описати різні методи ідентифікації

мікроорганізмів, їх переваги і недоліки. Підготувати інструкцію з безпечної роботи в мікробіологічній лабораторії.

Тема 12. Виконати оцінку ступеня токсичності шахтних вод за результатами, отриманими при біотестуванні за допомогою рачків *Daphnia magna* S. Варіанти вихідних даних наведено в додатку.

Тема 13. Опрацювати різновиди забруднювачів стічних вод та їх вплив на навколишнє середовище. Описати технології очищення стічних вод, їх переваги та недоліки. Підготувати доповідь про роль активного мулу у біологічній очистці стічних вод.

Тема 14. Використовуючи настій сіна спробувати виростити культуру інфузорій і ідентифікувати види найпростіших.

Тема 15. Підготувати доповідь про сучасні тенденції у технологіях очищення та знезараження питної води. Проаналізувати реальний кейс забруднення води і запропонувати комплекс заходів з очищення. Ознайомитися з нормативами якості води у різних країнах та порівняти підходи до очищення.

16.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни є складання письмового звіту за темами вказаними в попередньому пункті.

Звіт оформлюється на стандартному папері формату A4 (210×297) з одного боку. Поля: верхнє, праве – 10 мм, нижнє – 17 мм, ліве – 20 мм. У тексті повинні бути зазначені посилання на використану літературу.

Звіт може бути рукописним або друкованим і виконується українською мовою.

На титульній сторінці звіту мають бути зазначені назва кафедри, тема самостійно ї роботи, прізвище та ініціали здобувача вищої освіти, група, прізвище та ініціали викладача, який приймає роботу, посада.

Загальний обсяг звіту – 10-15 сторінок. Звіт включає план, основну частину, висновки, список використаної літератури та додатки.

Здача звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені викладачем і здобувачем вищої освіти.

Рекомендована література

1. Cappuccino J. G., Sherman N. Microbiology: A Laboratory Manual. Pearson, 2019.
2. CDC, National Center: як працює система очищення води (coagulation, sedimentation, filtration, disinfection) (Центри контролю та профілактики хвороб).
3. Environmental Chemistry of Pesticides / Edited by David Barcelo. Wiley, 2011.
4. EPA Guidelines for Water Treatment and Disinfection, 2020.
5. EPA Laboratory Manual for Microbiological Analyses of Public Drinking Water (2025) (contractlaboratory.com, Cloudinary).
6. EPA Quick Guide: методика пробопідбору та аналізу води для питного використання (19january2017snapshot.epa.gov)
7. EPA. Water Treatment Manual, 2020.
8. Fawzi Mahdy et al., Radioactivity levels and health risks in groundwater: a review. Journal of Environmental Radioactivity, 2020.
9. ISO/EN стандарти для фізико-хімічних методів води (pH, Turbidity, NO_3^-).
10. Khater, A.E.M., Radioactivity in the environment: analysis and measurements. Elsevier, 2011.
11. Kvartenko O. M., Lysytsya A. V., Shadura V. O., Mandygra Y. M. (2024). Biotechnology of groundwater purification for water supply systems, using *Gallionella* and *Lepthothrix* ferrobacteria. *Agricultural Science and Practice*. 11(2). P. 30-45. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.030>
12. Labmanager.com - основні правила безпеки в лабораторії (labmanager.com).
13. Marylynn V. Yates (2019). "Drinking Water Microbiology" - мікробіологічні індикатори та їх роль у здоров'ї (PMC)
14. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw Hill, 2014.
15. Methods for Sterilization and Disinfection / American Society for Microbiology, 2021.
16. OSHA Laboratory Safety Guidance - Chemical Hygiene Plans and laboratory rules (osha.gov).
17. Radon in the spring water of the Zdolbuniv Region, Ukraine / Lebed O. O., Myslinchuk V. O., Trusheva S. S., Mandyhra Y. M., Lysytsya A. V. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. 8(3), 82–89.

<https://www.ujecology.com/articles/radon-in-the-spring-water-of-the-zdolbuniv-region-ukraine.pdf>

18. Ryan K. J., Ray C. G. Sherris Medical Microbiology. McGraw Hill, 2018.
19. Skoog D. A., Holler F. J., Crouch S. R. Principles of Instrumental Analysis. / 9th ed. Cengage Learning, 2017.
20. The use of biological method for treating iron containing underground waters / Oleksandr Kvartenko, Larysa Sabliy, Nataliya Kovalchuk, Andriy Lysytsya. *Journal of Water and Land Development*, 2018. Volume 39, Issue 1, Pages 77–82, ISSN (Online) 2083-4535. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0061>
21. Tortora G. J., Funke B. R., Case C. L. Microbiology: An Introduction. Pearson, 2019.
22. Water Safety Plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer (WHO Manual, 2005) - моделювання WASH-систем, НАССР-підхід (Вікіпедія)
23. Water Quality Assessment: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring / UNESCO, 2017.
24. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, 2017.
25. WHO, ISO 5667-5:2006 — sampling guidelines for drinking water (Наццентр біотехінформу)
26. Гандзюра В. П. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К., 2020. 180 с.
27. ДСанПіН 2.2.4-171-10, "Гігієнічні вимоги до води питної..." - МОЗ України, Наказ № 400 від 12.05.2010 (Закон, vodokanalzd.com.ua)
28. ДСанПіН № 683/2022. МОЗ України, Наказ № 683 від 22.04.2022 «Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру». https://moz.gov.ua/uploads/7/37104-dn_683_22_04_2022_dod.pdf
29. ДСТУ 4288-2004. Водопідготовка. Очистка стічних вод.
30. ДСТУ EN 15662: Метод визначення пестицидів у харчових продуктах та воді.
31. ДСТУ ISO 10523: Вода. Визначення рН.
32. ДСТУ ISO 18589-2: Визначення радіонуклідів у воді.
33. ДСТУ ISO 6332: Вода питна. Визначення загального заліза.
34. ДСТУ ISO 9308-1: Визначення кишкової палички у воді.
35. Жаровський Ф. Г., Піліпенко А. Т., П'ятницький І. В. Аналітична хімія. К. : Вища школа, 1982. 544 с.

36. Колеснікова І. М. Мікробіологічні методи дослідження води. К., 2020.
37. Мельник І. І. Очищення води: технології і практики. К., 2019.
38. Мельник І. І. Очищення стічних вод : навч. посібник. К., 2018.
39. Методичні вказівки санітарно-мікробіологічного контролю (МВ 10.2.1-113-2005) (ДНАОП)
40. Методичні рекомендації з моніторингу пестицидів у воді / МОЗ України, 2022.
41. Методичні рекомендації з оцінки якості води / МОЗ України, 2020.
42. Методичні рекомендації з фізико-хімічного аналізу води / Міністерство охорони здоров'я України, 2021.
43. Методичні рекомендації МОЗ України щодо контролю патогенів у воді, 2022.
44. Мінаєва В. О. Хроматографічний аналіз : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013. 284 с.
45. Міністерство охорони здоров'я України. Санітарні норми безпеки радіації, 2021.
46. Наказ МОЗ № 383/1996 (оновлена редакція)
47. Постанова НАН № 168/2010 щодо якісної питної води (Закон України)
48. Ребров В. П. Методи аналізу води. К., 2019.
49. Ребров В. П. Фізико-хімічні методи аналізу води. К., 2019.
50. Рекомендації ВООЗ з безпеки лабораторій, 2018.
51. Рекомендації ВООЗ щодо якості питної води, 2017.
52. Тараненко В. М. Біологічна очистка води. К., 2017.
53. Токсикологічна хімія харчових продуктів та косметичних засобів : підручник / С. А. Воронов, Ю. Б. Стецишин, Ю. В. Панченко, В. П. Васильєв; за ред. проф. С. А. Воронова. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 316 с.
54. Хижняк В. І. Водна мікробіологія та гігієна водних ресурсів. К., 2018.
55. Хроматографічні методи аналізу : навч. посіб. / Федорченко С. В., Курта С. А. Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2012. 146 с.

Варіанти завдань до практичної роботи № 8

Місце відбору проб	Варіант									
	1		2		3		4		5	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місця скиду)	15,3	12,8	13,0	10,1	14,9	16,3	14,7	17,3	17,1	16,2
	13,4	12,3	12,0	8,7	13,4	13,7	13,4	13,7	13,4	13,7
	10,8	14,8	12,9	11,0	10,8	12,9	10,8	12,9	10,8	12,9
	9,6	14,8	7,2	7,5	12,3	14,8	9,6	14,8	9,6	14,8
	12,8	13,0	7,0	14,0	12,8	13,0	12,8	13,0	12,8	13,0
	12,0	13,8	9,8	13,7	13,2	13,8	13,2	13,8	13,2	13,8
	14,1	15,2	10,3	12,9	14,1	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2
	10,5	14,8	8,9	14,8	12,0	12,9	9,9	12,9	9,9	12,9
	11,9	10,3	7,9	13,0	11,9	10,3	11,9	10,3	11,9	10,3
	13,8	9,9	10,0	9,8	13,8	12,7	13,8	9,9	13,8	9,9
Суша маса 10 проростків, мг	251		237		237		299		237	
500 м від місця скиду	8,9	8,0	7,0	9,0	9,2	9,9	10,8	6,8	5,1	4,9
	6,9	6,3	8,3	8,7	8,3	8,7	8,3	8,7	8,3	8,7
	7,2	6,3	7,4	6,3	7,4	6,3	7,4	6,3	7,4	6,3
	7,2	5,9	7,2	7,5	7,2	7,5	7,2	7,5	7,2	7,5
	7,0	7,9	7,0	12,9	7,0	7,9	7,0	7,9	7,0	7,9
	9,8	8,3	9,8	8,3	9,8	8,3	9,8	8,3	9,8	8,3
	10,3	9,0	5,0	9,0	10,3	9,0	10,3	9,0	10,3	9,0
	8,7	7,7	8,9	11,5	8,9	7,7	8,9	7,7	8,9	7,7
	7,9	7,6	7,9	9,0	7,9	7,6	7,9	7,6	7,9	7,6
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	160		201		160		160		160	

1000 м від місяця скиду	10,0	5,2	10,3	8,3	10,3	8,3	10,3	8,3	12,3	16,4
	9,9	8,7	10,1	8,7	10,1	8,7	10,1	8,7	14,6	8,7
	11,9	11,2	12,3	15,0	12,3	7,9	12,3	7,9	12,9	6,3
	9,9	10,3	9,9	8,0	9,9	8,0	9,9	8,0	11,8	12,4
	8,1	9,2	8,1	9,2	8,1	9,2	8,1	9,2	11,4	14,0
	7,9	9,0	7,9	9,0	7,9	9,0	7,9	9,0	12,9	13,7
	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	10,3	12,9
	7,2	10,9	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	13,8	12,7
	7,9	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	14,7	13,0
	10,0	4,9	10,0	9,8	10,0	9,8	11,3	9,8	10,0	12,5
Суха маса 10 проростків, мг	185		212		185		185		212	
1500 м від місяця скиду	15,3	13,6	8,0	10,1	12,3	9,9	10,0	8,2	12,3	9,9
	14,6	8,7	14,6	8,7	14,6	8,7	11,0	8,7	14,6	8,7
	12,9	6,3	12,9	6,3	12,9	6,3	12,9	6,3	12,9	12,6
	7,2	7,5	7,2	7,5	9,9	7,5	7,2	7,5	15,6	15,4
	7,0	14,0	7,0	14,0	8,6	14,0	7,0	14,0	10,9	14,0
	12,3	12,5	9,8	13,7	9,8	13,7	9,8	13,7	10,3	13,7
	14,5	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9
	8,9	14,8	8,9	14,8	9,4	14,8	8,9	8,7	12,7	14,8
	7,9	12,1	7,9	13,0	11,6	13,0	7,9	9,2	15,3	13,0
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суха маса 10 проростків, мг	203		226		203		203		229	

*Примітка: В – висота паростків, см; Д – довжина коренів, см.

Варіанти завдань до практичної роботи № 8

Місце відбору проб	Варіант									
	6		7		8		9		10	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*

Контроль (500 м до місяця скиду)	12,3	9,9	13,7	14,0	13,7	14,0	12,9	16,5	12,8	13,8
	5,1	8,7	12,9	13,7	12,9	13,7	14,8	13,8	13,2	15,2
	12,9	6,3	14,8	12,9	14,8	12,9	13,0	15,2	14,1	12,9
	7,2	7,5	13,0	14,8	13,0	14,8	13,8	12,9	13,2	10,3
	8,9	8,7	13,8	13,0	13,8	13,0	15,2	10,3	11,9	9,9
	9,8	6,2	15,2	9,8	15,2	9,8	12,9	13,8	13,8	13,8
	10,3	9,8	12,9	15,2	12,9	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2
	8,9	13,2	9,9	12,9	9,9	12,9	9,9	12,9	9,9	12,9
	7,9	13,6	11,9	10,3	11,9	10,3	11,9	10,3	11,9	10,3
	10,0	9,8	13,8	9,9	13,8	9,9	13,8	9,9	13,8	9,9
Суха маса 10 проростків, мг	212		301		250		242		237	
500 м від місяця скиду	9,2	9,9	9,2	7,4	9,2	8,0	10,1	7,7	9,2	7,5
	8,3	8,7	8,3	7,2	8,3	9,2	12,3	9,1	8,3	7,9
	7,4	6,3	7,4	7,0	7,4	9,0	9,9	7,2	7,4	8,3
	7,2	7,5	7,2	7,9	7,2	9,3	8,1	7,0	7,2	9,0
	7,0	7,9	7,0	9,2	7,0	8,8	7,9	9,8	7,0	11,2
	9,8	8,3	9,8	9,0	9,8	8,7	7,0	8,3	9,8	11,3
	10,3	9,0	6,6	9,3	10,3	12,8	10,3	9,0	10,3	10,3
	8,9	7,7	8,9	7,7	8,9	8,8	8,9	7,7	8,9	8,9
	7,9	7,6	7,9	7,6	7,9	8,7	7,9	7,6	7,9	7,6
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суха маса 10 проростків, мг	170		160		170		195		155	
1000 м від місяця скиду	10,0	8,0	9,8	7,9	9,8	12,8	14,6	14,1	10,3	8,0
	10,1	8,7	9,3	8,3	9,3	8,3	10,1	9,9	10,1	9,2
	12,3	7,9	8,9	9,0	8,9	9,0	12,3	11,9	12,3	9,0
	9,9	8,0	8,9	8,0	8,9	8,0	12,8	12,8	9,9	9,3
	8,1	9,2	7,4	9,2	7,4	14,1	13,1	9,2	8,1	8,8
	7,9	9,0	9,8	9,0	9,8	9,0	12,3	11,7	7,9	8,7
	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	11,9	9,3	7,0	12,8
	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	12,4	8,8	8,9	8,8
	7,9	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	10,9	8,7	7,9	8,7
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8

Суха маса 10 проростків, мг	185		185		190		228		171	
1500 м від місяця скиду	8,2	9,9	9,3	6,6	12,3	9,9	12,3	16,4	7,9	7,9
	9,8	8,7	8,9	8,9	14,6	8,7	14,6	8,7	8,3	8,3
	12,3	6,3	8,9	7,9	12,9	9,1	12,9	6,3	9,0	9,0
	8,7	7,5	15,2	7,5	7,2	7,5	15,7	17,0	6,1	7,7
	8,3	7,4	12,9	7,9	7,8	8,3	11,4	14,0	7,6	7,6
	9,8	9,8	10,3	9,2	9,8	13,7	16,1	13,7	9,8	8,8
	9,7	11,0	7,9	9,0	10,3	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9
	8,9	12,0	8,9	14,8	8,9	8,4	13,8	14,8	8,9	8,1
	7,9	8,6	7,9	13,0	7,9	9,9	14,7	13,0	15,3	13,0
	9,4	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	12,5	10,0	9,8
Суха маса 10 проростків, мг	203		203		205		234		182	

*Примітка: В – висота паростків, см; Д – довжина коренів, см.

Варіанти завдань до практичної роботи № 8

Місце відбору проб	Варіант									
	11		12		13		14		15	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місяця скиду)	7,0	6,3	15,2	14,1	11,7	17,3	15,3	16,5	11,3	15,1
	9,8	7,5	12,9	9,9	13,2	13,8	13,4	13,7	13,4	13,7
	10,3	8,6	10,3	11,9	14,1	15,2	14,6	12,9	10,8	12,9
	8,9	8,3	9,9	13,8	13,2	12,9	13,2	14,8	12,9	14,8
	8,1	9,0	13,8	13,0	11,9	10,3	12,8	17,1	12,8	13,0
	7,9	8,7	15,2	13,8	13,2	13,8	13,2	13,8	13,2	13,8
	7,0	12,8	12,9	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2
	8,9	8,8	9,9	12,9	9,9	12,9	15,5	12,9	10,5	12,9
	7,9	8,7	11,9	10,3	11,9	10,3	16,3	10,3	11,9	10,3
	10,0	9,8	13,8	9,9	13,8	9,9	13,8	16,9	13,8	10,5
Суха маса 10 проростків, мг	241		240		275		219		204	

500 м від місця скиду	8,2	9,2	9,2	9,9	7,0	9,2	10,4	10,9	9,2	10,0
	8,3	8,3	8,3	8,7	9,8	9,0	8,3	8,7	8,3	8,7
	7,4	7,4	7,4	6,3	10,3	9,3	9,2	10,2	7,4	6,3
	7,2	7,2	7,2	7,5	8,9	8,8	9,3	7,5	7,2	7,5
	7,0	7,0	7,0	7,9	7,9	8,7	8,8	7,9	7,0	8,6
	9,8	9,8	9,8	8,3	9,8	9,8	9,8	8,3	9,8	8,3
	10,3	6,6	10,3	9,0	10,3	9,0	10,3	9,0	9,3	9,0
	8,9	8,9	8,9	7,7	8,9	7,7	9,2	11,2	8,9	7,7
	7,9	7,9	7,9	7,6	7,9	7,6	8,4	11,3	7,9	7,6
	6,3	10,0	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	215		155		160		160		160	
1000 м від місця скиду	5,3	4,1	10,3	8,3	13,6	8,0	12,3	12,1	12,5	11,6
	8,7	8,7	10,1	8,7	7,0	9,2	11,4	8,7	10,1	8,7
	7,9	8,3	12,3	7,9	8,9	9,0	12,3	14,3	12,3	12,8
	8,0	8,8	9,9	8,0	7,9	9,3	9,9	12,3	9,9	8,0
	9,2	8,7	8,1	9,2	12,4	8,8	8,1	11,0	8,9	9,2
	9,0	9,8	7,9	9,0	7,9	8,7	7,9	9,0	7,9	9,0
	6,2	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3
	8,8	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8
	8,7	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	12,1	8,7	7,9	8,7
	9,8	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	9,2	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	236		198		185		189		175	
1500 м від місця скиду	5,9	8,4	12,3	9,0	12,9	9,8	11,9	9,9	10,3	9,9
	7,7	8,7	9,9	7,7	14,0	7,5	14,6	9,3	9,2	12,1
	9,1	6,3	8,1	9,8	13,7	14,0	12,9	6,3	9,5	10,1
	7,2	7,5	7,2	9,0	12,9	13,7	7,2	11,3	11,5	10,3
	7,0	9,6	9,9	7,7	14,8	12,9	7,0	12,3	12,1	11,4
	9,8	8,3	9,8	13,7	13,0	14,8	9,8	13,7	10,3	13,7
	8,9	9,7	10,3	12,9	7,9	13,0	10,3	12,9	10,3	12,9
	8,9	5,4	8,9	9,7	8,9	14,8	8,9	11,3	8,9	11,5
	7,9	13,0	7,9	9,2	7,9	13,0	8,7	11,7	7,9	9,9
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	10,2
Суша маса 10 проростків, мг	225		202		250		197		185	

*Примітка: В – висота паростків, см; Д – довжина коренів, см.

Варіанти завдань до практичної роботи № 12

Варіант	Час, годин	Контроль			Розбавлення 1: 3			Розбавлення 1: 5			Розбавлення 1: 8			Розбавлення 1: 10		
		Номер проби			Номер проби			Номер проби			Номер проби			Номер проби		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Кількість дафній, що вижили														
1	1	10	10	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	7	8	9	9	10	9	10	9	9	9
	24	10	10	10	7	7	6	8	8	8	9	8	10	9	9	8
	48	10	10	10	5	7	6	8	8	6	9	8	9	9	9	8
	72	10	10	9	5	6	5	7	7	5	8	8	8	9	9	8
	96	9	10	9	4	3	4	5	6	4	7	8	8	8	9	8
2	1	10	10	10	9	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	8	8	9	9	9	10	8	10	9	8	10
	24	10	10	10	8	6	6	9	8	8	9	8	9	9	8	9
	48	10	10	10	5	6	5	7	7	6	7	8	9	9	8	9
	72	10	10	10	5	6	5	7	5	6	7	7	9	9	8	9
	96	10	10	9	4	4	4	5	5	4	7	7	8	8	8	7
3	1	10	10	10	9	9	9	10	9	10	9	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	10
	24	10	10	9	7	7	5	9	8	8	9	9	9	9	8	8
	48	10	10	9	6	6	5	7	8	6	9	7	9	9	8	8
	72	10	10	9	5	6	5	7	6	6	8	7	8	9	8	8
	96	10	10	9	4	5	3	5	7	5	7	7	8	8	7	7
4	1	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	8	9	9	9	10	9	10	9	10	10
	24	10	10	10	8	6	6	9	9	8	9	9	10	9	10	10
	48	10	10	10	6	6	5	8	8	5	9	9	10	9	9	10
	72	10	10	10	5	6	5	8	7	5	8	8	9	9	9	10
	96	10	9	10	4	4	4	6	7	5	8	8	9	9	8	9
	1	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10

5	6	10	10	10	8	8	8	9	9	9	10	9	10	9	10	9
	24	10	10	9	8	7	6	8	9	8	9	9	9	9	9	9
	48	10	9	9	6	7	6	8	8	6	8	8	9	9	8	9
	72	10	9	9	5	5	6	8	7	5	7	8	8	9	8	9
	96	10	9	9	4	3	4	6	6	5	7	7	8	8	7	9
6	1	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	9	9	9	9	9	9	10	9	10	9	10	9
	24	10	10	10	8	7	8	9	9	8	9	9	9	9	9	9
	48	10	10	10	6	7	7	8	8	6	9	8	9	9	9	9
	72	10	10	9	5	6	5	8	7	5	8	7	9	9	8	8
	96	9	10	9	5	5	5	5	7	5	7	7	8	8	8	8
7	1	10	10	10	9	8	9	9	9	10	9	9	10	10	10	10
	6	10	10	10	7	8	8	9	9	9	9	9	10	9	10	9
	24	10	10	9	7	7	6	9	9	7	8	9	10	9	9	9
	48	10	9	9	6	7	6	8	7	6	8	8	9	7	8	9
	72	10	9	9	5	6	5	5	6	6	8	8	9	7	8	9
	96	10	9	9	4	5	3	6	5	3	7	7	8	7	8	9

Варіанти завдань до практичної роботи № 12

Варіант	Час, годин	Контроль			Розбавлення 1: 3			Розбавлення 1: 5			Розбавлення 1: 8			Розбавлення 1: 10		
		Номер проби			Номер проби			Номер проби			Номер проби			Номер проби		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Кількість дафній, що вижили														
8	1	10	10	10	9	10	9	9	10	9	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10
	24	10	9	9	7	7	6	9	9	7	9	9	10	9	9	10
	48	10	9	9	6	7	6	8	8	6	9	8	9	9	9	9
	72	10	9	9	5	6	5	7	7	6	7	7	9	9	9	9
	96	10	9	9	4	4	4	6	7	4	7	7	7	8	9	6
9	1	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	8	10	9	10	10	10	10	9	10	10
	24	10	10	9	8	6	6	9	9	9	9	9	10	9	9	10

	48	10	10	9	6	6	6	8	8	9	9	9	9	9	9	8
	72	10	9	9	5	6	5	8	7	8	8	9	9	9	9	8
	96	10	9	9	4	3	4	6	7	7	6	9	8	7	9	8
10	1	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	10	10	9	10	10	9	10	9	10	10
	24	10	10	9	8	8	10	9	9	10	9	9	10	9	10	10
	48	10	10	9	8	8	9	8	9	7	9	8	9	9	9	10
	72	10	10	9	8	6	8	8	8	7	8	8	9	9	9	10
	96	10	10	9	8	6	4	8	7	7	8	8	9	9	9	9
11	1	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	8	10	9	10	10	10	10	10	10	10
	24	10	10	9	8	6	6	9	9	9	9	10	10	10	9	10
	48	10	10	9	6	6	6	8	8	9	9	8	9	10	9	10
	72	10	9	9	5	6	5	7	6	6	8	8	9	9	9	10
	96	10	9	9	3	5	4	6	6	5	6	8	7	9	9	7
12	1	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	8	10	9	9	10	9	10	9	10	10
	24	10	10	10	8	7	6	9	9	8	9	9	10	9	9	10
	48	10	10	10	7	7	6	8	8	6	9	8	9	9	9	10
	72	10	10	9	7	6	6	8	7	6	8	8	9	9	9	10
	96	9	10	9	6	6	6	7	7	6	8	8	8	9	9	10
13	1	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	9	8	10	9	9	10	10	10	10	10	10
	24	10	10	10	8	7	6	9	9	8	9	10	10	10	9	10
	48	10	10	10	6	7	6	8	8	7	9	8	9	10	9	10
	72	10	10	10	5	6	5	8	7	7	8	8	9	10	9	10
	96	10	10	9	5	5	5	6	7	6	7	8	8	9	8	10
14	1	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6	10	10	10	8	8	8	10	9	9	10	9	10	10	10	10
	24	10	10	10	8	7	6	9	9	8	9	9	10	10	9	10
	48	10	10	10	6	7	6	8	8	8	9	8	10	10	9	10
	72	10	10	10	5	6	5	8	7	6	8	8	10	9	9	10
	96	10	9	9	5	5	4	6	5	6	8	8	9	9	9	10

