

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування  
Кафедра екології, технології захисту навколишнього  
середовища та лісового господарства

**05-02-501М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять та виконання самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

***«БІОСИСТЕМИ В ТОКСИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ»***

для здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня  
за освітньо-науковою програмою «Екологія»  
спеціальності 101«Екологія»  
галузі знань 10 «Природничі науки»  
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою з  
якості ННІ агроєкології та  
землеустрою  
Протокол № 11 від 28.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни *«Біосистеми в токсичному середовищі»* для здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня за освітньо-науковою програмою «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки» денної і заочної форм навчання. [Електронне видання] / Бедункова О. О. – Рівне : НУВГП, 2025. – 37 с.

Укладач: Бедункова О. О., д.б.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 101 «Екологія»

Бедункова О. О.

© О. О. Бедункова, 2025  
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2025

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 Токсичність та екотоксичність: природа токсичного впливу на живі системи та механізми адаптації .....	6
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 Форми впливу токсичних речовин у двокомпонентній системі .....	9
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 Механізми токсичної дії на молекулярно-клітинному рівні та зв'язок структури хімічної сполуки з її токсичністю .....	13
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 Вплив токсичних речовин на організм: шляхи надходження, накопичення та токсичні ефекти.....	16
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 Специфічні форми токсичного ефекту та їхній вплив на екосистеми: мутагенез, канцерогенез, тератогенез, роль мікроорганізмів і фітотоксичність .....	20
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6 Впливу екотоксикантів на популяційні показники біосистем. Залежність «доза– ефект» та використання біомаркерів для оцінки популяційного стресу .....	24
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7 Екотоксикологія угруповань: аналіз впливу екотоксикантів на структуру, склад і біологічне різноманіття біогеоценозів.....	28
ПРИКЛАДИ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ .....	33
Рівень 1.....	33
Рівень 2.....	33
Рівень 3.....	34
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	35

## ПЕРЕДМОВА

*Метою* дисципліни "Біосистеми в токсичному середовищі" є формування у здобувачів вищої освіти цілісного уявлення про вплив токсичних речовин на живі організми та екосистеми, а також розвиток навичок оцінки, прогнозування і мінімізації негативного впливу токсикантів у навколишньому середовищі.

*Цілями* дисципліни є забезпечення теоретичної і практичної підготовки з вивчення механізмів токсичної дії хімічних речовин на біосистеми, адаптаційних стратегій організмів, методів моніторингу токсикантів у природних і техногенних середовищах, а також способів відновлення порушених екосистем та дотримання принципів екологічної біоетики.

Відповідно до ОНП Екологія для підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 101 Екологія, галузі знань 10 Природничі науки, вивчення дисципліни "Біосистеми в токсичному середовищі" формує компетентності розв'язувати комплексні проблеми на основі системного наукового та загальнокультурного світогляду із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності (ЗК02); виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері екології та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень (СК01); ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти у сфері екології та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації (СК02).

Практичні заняття та самостійна робота в розрізі дисципліни сприяють формуванню наступних програмних

результатів навчання:

- розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику з врахуванням соціальних, етичних, економічних, екологічних та правових аспектів (ПРН05);

- мати сучасні концептуальні знання та високий методологічний рівень у сфері екології та на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень (ПРН07);

- удосконалювати та встановлювати регіональні екологічні нормативи, проводити прогнозування змін стану природних та штучних екосистем (ПРН09).

Практичні роботи охоплюють дослідження токсичності на різних рівнях організації живих систем – від молекулярно-клітинного до популяційного та екосистемного. Розглядаються механізми токсичного впливу, адаптаційні процеси, спеціальні форми токсичних ефектів та їх вплив на структуру й динаміку біогеоценозів. Особлива увага приділяється аналізу взаємодії токсичних речовин і використанню біомаркерів для оцінки екологічних характеристик.

Структура практичних робіт складається з теми, мети, теоретичних відомостей, описання ходу роботи, вказання необхідних інформаційних та матеріальних ресурсів для її виконання, та питань самоконтролю знань.

У методичних вказівках наведено приклади тестових завдань різних рівнів складності для підготовки до тестового контролю знань.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

**Тема:** Токсичність та екотоксичність: природа токсичного впливу на живі системи та механізми адаптації

**Мета роботи:** 1) ознайомитися з основними поняттями токсичності; 2) навчитись відрізняти пряму та опосередковану дію токсикантів, гостру та хронічну токсичність, явища кумуляції та адаптації; 3) засвоїти поняття порогового рівня, дози та допустимого навантаження на елементи біосфери.

### *Теоретичні відомості*

#### **1. Токсичність і токсичний процес**

Токсичність – здатність речовин викликати ушкодження живих організмів при певних концентраціях і шляхах надходження.

Токсичний процес – послідовність змін у живій системі, що зумовлена негативним впливом токсиканта.

#### **2. Форми прояву токсичності на різних рівнях організації**

Клітинний рівень: ушкодження мембран, ферментних систем, порушення метаболізму.

Рівень органа: ушкодження структури та функції тканин, органів (наприклад, легень, печінки, нирок).

Рівень організму: порушення фізіологічних процесів, зниження імунітету, зміна поведінки, летальні наслідки.

Рівень популяції: зменшення чисельності, зміни в генетичній структурі, порушення розмноження та міграцій.

Рівень угруповання (спільноти): зміна видового складу, порушення харчових ланцюгів та структур екосистем.

#### **3. Екотоксичність**

Вплив токсичних речовин або їх метаболітів на цілі екосистеми: водні, наземні, ґрунтові, урбоекосистеми.

Процеси біоаккумуляції та біомагніфікації в ланцюгах живлення.

#### **4. Пряма та непряма (опосередкована) дія токсикантів**

Пряма дія: токсикант безпосередньо викликає ушкодження життєво важливих структур організму.

Непряма дія: токсикант змінює умови довкілля або фізіологію, що опосередковано призводить до ускладнень у виживанні інших видів.

#### **5. Гостра та хронічна токсичність**

Гостра токсичність: швидка реакція організму на дію високих концентрацій/доз токсиканта (короткотривалий, але сильний вплив).

Хронічна токсичність: наслідки тривалої дії помірних/низьких концентрацій токсичної речовини (кумулятивний ефект).

#### **6. Кумуляція та адаптація**

Кумуляція: накопичення токсиканта в тканинах організму, що призводить до поступового посилення ефекту.

Адаптація: розвиток стійкості (толерантності) організму до дії токсиканта (наприклад, активація систем детоксикації).

#### **7. Поняття порогового рівня, дози та допустимого навантаження**

Пороговий рівень: мінімальна концентрація (або доза) токсиканта, при якій починають проявлятися негативні ефекти.

Доза: кількість речовини, що потрапляє в організм за одиницю часу чи за певний період.

Допустиме навантаження: максимальна доза (або концентрація) токсиканта, за якої ще не відбувається суттєвого порушення функціонування біологічних систем.

## *Хід роботи*

### **1. Ознайомлення з теоретичними поняттями**

Опрацювати наведений у теоретичних відомостях матеріал щодо токсичності та її прояву.

Уточнити визначення гострої та хронічної токсичності, кумуляції та адаптації.

### **2. Вибір токсиканта або прикладу**

Обрати конкретну токсичну речовину (або групу речовин) для подальшого аналізу (наприклад, важкі метали, пестициди, радіонукліди).

З'ясувати, як вона впливає на клітини, органи, організми, популяції та угруповання.

### **3. Аналіз реальних чи модельних даних**

Проаналізувати лабораторний експеримент (або статистичні дані) з впливу обраного токсиканта на організми.

Визначити характер впливу (гострий/хронічний), механізми накопичення і чи є можливості адаптації.

### **4. Визначення порогової дози та допустимого навантаження**

За допомогою даних з літератури або експериментальних результатів встановити порогову дозу для обраних видів організмів.

Оцінити (розрахувати) допустиме навантаження на елемент (або компонент) екосистеми.

### **5. Оформлення результатів та формулювання висновків**

Записати результати та спостереження у вигляді таблиць, графіків чи коротких описів.

Порівняти отримані дані з даними нормативних документів (екологічні стандарти, ГДК).

*Матеріали та обладнання:*



1) Інформаційні ресурси (наукові статті, довідники з токсичності різних речовин). Дані щодо впливу токсикантів на конкретний вид/популяцію (для аналітичної роботи).

2) Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань): вимірювачі концентрації токсичних речовин, мікроскоп для вивчення клітинних пошкоджень тощо. Зразки модельних організмів (прості культури мікроорганізмів) або статистичні

### ***Питання для самоконтролю***

1) У чому відмінність між токсичністю та токсичним процесом?

2) Як саме проявляється токсична дія на клітинному рівні та як вона відрізняється від проявів на рівні організму чи популяції?

3) Чому гостра токсичність не завжди є небезпечнішою за хронічну?

4) У чому полягає явище кумуляції? Наведіть приклад речовини, яка здатна кумулюватися в організмі.

5) Як відбувається адаптація до токсикантів? Чи можуть всі види організмів однаково адаптуватися до одних і тих самих речовин?

6) Що таке порогова доза? Як вона визначається експериментально?

7) Чому важливо встановлювати допустиме навантаження на компоненти біосфери та хто/що може регулювати ці стандарти?

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №2**

**Тема:** Форми впливу токсичних речовин у двокомпонентній системі

**Мета роботи:** ознайомитися з основними формами комбінованої (дво- та більше компонентної) дії токсичних речовин на організми; зрозуміти відмінності між адитивним, антагоністичним, синергічним та сенсibilізуючим впливом; навчитися оцінювати можливі наслідки одночасної присутності декількох токсикантів у середовищі.

### ***Теоретичні відомості***

**1. Адитивність** – явище, коли загальний ефект двох (або більше) токсичних речовин дорівнює сумі їхніх індивідуальних ефектів.

Приклад: Вплив двох речовин А і В на рівні 50% кожна, що в підсумку дає 100% ефект (за відсутності взаємного посилення чи послаблення).

**2. Антагонізм** – явище, за якого сумарна дія двох токсичних речовин менша, ніж очікувана за простої сумації.

Антагонізм може проявлятися за рахунок: хімічної взаємодії токсикантів (одна речовина нейтралізує іншу); фізіологічних особливостей організму (активація захисних механізмів, перерозподіл токсиканта).

**3. Синергізм** – явище, коли загальний ефект двох токсикантів перевищує суму ефектів кожного з них окремо.

Синергізм часто становить підвищену небезпеку в екотоксикології, оскільки низькі дози двох речовин можуть разом давати сильнішу негативну дію, ніж очікувано.

**4. Сенсibilізація** – підвищення чутливості організму (або його окремих компонентів) до дії токсиканта.

Може виникати внаслідок попереднього впливу іншої речовини (сенсibilізатора), яка сама по собі може бути мало або зовсім не токсичною, але готує організм до сильнішої відповіді на токсикант.

### ***Хід роботи***

### **1. Ознайомлення з теоретичними поняттями**

Опрацювати наявні матеріали щодо видів комбінованої дії токсикантів: адитивність, антагонізм, синергізм, сенсibilізація.

Звернути увагу на механізми, через які виникають ці явища.

### **2. Вибір токсикантів або аналітичних прикладів**

Обрати (або отримати від викладача) два токсиканти, які часто взаємодіють у реальних умовах (наприклад, пестицид та важкий метал).

Проаналізувати літературні дані чи попередні експерименти щодо їхньої комбінованої дії.

### **3. Експериментальна (або аналітична) частина**

При наявності лабораторних умов:

Підготувати окремі розчини токсикантів.

Визначити вплив кожного токсиканта на біооб'єкт (за певними показниками).

Змішати токсиканти у визначеній пропорції та оцінити результат впливу на той самий біооб'єкт.

При відсутності лабораторних умов:

Вивчити статистичні дані (на прикладі реального дослідження) про вплив комбінації речовин і проаналізувати, чи є ефект адитивним, антагоністичним, синергічним чи сенсibilізуючим.

### **4. Обробка та аналіз результатів**

Порівняти отримані (або знайдені в літературі) величини ефектів для окремих токсикантів та їх комбінацій.

Встановити, до якого типу взаємодії можна віднести результати: адитивність, антагонізм, синергізм чи сенсibilізація.

**5. Оформлення результатів та формулювання висновків**

**6. Записати результати та спостереження у вигляді таблиць, графіків чи коротких описів.**

Зробити узагальнення щодо причин виявлених типів взаємодії (механістична та екологічна інтерпретація).

Обговорити наслідки для довкілля та здоров'я людини, що можуть виникнути при одночасній присутності цих токсикантів.

#### Матеріали та обладнання:

1) Інформаційні ресурси: наукові статті, навчальні посібники, електронні бази даних з токсикології.

2) Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань): моделі токсикантів (наприклад, розчини солей важких металів у різних концентраціях); біологічні об'єкти (наприклад, культури мікроорганізмів або тканинні культури) для спостереження за результатами комбінованої дії. Прилади для вимірювання показників життєдіяльності (наприклад, спектрофотометр для оцінки росту мікроорганізмів, рН-метр тощо).

#### ***Питання для самоконтролю***

1) Як відрізнити адитивний ефект від синергічного та антагоністичного на основі експериментальних даних?

2) Чому синергізм вважають найбільш небезпечним типом взаємодії токсикантів?

3) У яких випадках антагонізм може бути корисним для зниження токсичної дії?

4) Що таке сенсibilізація та якими шляхами вона може розвиватися у живих організмів?

5) Як враховувати комбіновану дію токсикантів при розробленні екологічних стандартів і норм ГДК?

6) Які види досліджень дозволяють точно встановити форму взаємодії токсичних речовин?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

**Тема:** Механізми токсичної дії на молекулярно-клітинному рівні та зв'язок структури хімічної сполуки з її токсичністю

**Мета роботи:** 1) розглянути молекулярно-клітинні механізми токсичної дії хімічних речовин; 2) з'ясувати взаємозв'язок між структурною хімічною сполукою та її токсичністю; 3) оцінити значення структурної подібності токсиканта і природного «біорегулятора» (гормону, вітаміну, ферменту тощо); 4) навчитися інтерпретувати дані про взаємодію токсикантів з біологічними мішенями на клітинному рівні.

### *Теоретичні відомості*

**1. Основи молекулярно-клітинного механізму токсичності**

Токсиканти можуть викликати пошкодження клітинних мембран, блокувати ферментні системи, порушувати енергетичний обмін, змінювати репліку та транскрипцію ДНК тощо.

Мішенями можуть бути мембранні рецептори, іонні канали, транспортні білки, нуклеїнові кислоти.

**2. Структурна подібність токсиканта і біорегулятора**

Часто токсиканти нагадують за будовою молекули гормонів, вітамінів або ключових метаболітів, що дозволяє їм «обманювати» біологічні системи. Наприклад, пестициди, подібні до гормонів комах, блокують їх нормальний розвиток, «фальшиві» вітаміни чи амінокислоти, здатні вбудовуватись у метаболізм, порушуючи його.

**3. Залежність «структура–токсичність»**

Стереоспецифічність: наявність певних просторових конфігурацій (наприклад, «правих» та «лівих» ізомерів) може суттєво змінювати токсичність.

Функціональні різні групи: радикали та функціональні групи (ОН, SH, NO<sub>2</sub> тощо) можуть посилювати чи послаблювати токсичний ефект.

Ліпофільність / гідрофільність: здатність речовини проникати крізь мембрани та накопичуватися в жирових тканинах.

#### **4. Взаємодія токсиканта з клітиною**

Зворотна (наприклад, тимчасова блокада рецептора, що припиняється після виведення токсиканта)

Незворотна (хімічна модифікація білків, ДНК, мембран, що призводить до перманентних пошкоджень).

### ***Хід роботи***

#### **1. Ознайомлення з теоретичним матеріалом**

Вивчити основні підходи до аналізу структури токсикантів і механізмів їх дії на молекулярному рівні.

Розглянути поняття «біорегулятора» й приклади отруйних речовин, структуру яких імітують природні молекули.

#### **2. Вибір (або отримання) модельного прикладу**

Обрати конкретну хімічну сполуку, яка має свою токсичну дію (наприклад, метанол, подібний до будової до етанолу; аналог вітамінів, гормонів та ін.).

З'ясувати, яка саме структурна особливість цієї сполуки відповідає її токсичності та/або подібності до біорегулятора.

#### **3. Експериментальна / Аналітична частина**

Експеримент (або симуляція): підготувати біологічний об'єкт (клітинну культуру, модельний організм); внести в середовище токсикант та оцінити зміни в активності ключових ферментів, структурі мембран чи

поведінці клітин; зберегти результати з контролем (відсутність токсиканта).

**4. Аналітична** (за відсутності експерименту): проаналізувати дані з літератури щодо впливу певної групи сполук на клітинному рівні.

Використовувати методи молекулярного докінгу або готові результати дослідження, щоб продемонструвати, як токсикант «вписується» в активний центр рецептора чи ферменту.

**5. Аналіз та інтерпретація результатів**

Пояснити, як отримані (або знайдені в літературі) дані підтверджують (або запитують) ідею про вирішальну роль структури в токсичних діях. Звернути увагу на можливу структурну подібність молекули-токсиканта до відомих біорегуляторів.

**6. Оформлення результатів та формулювання висновків**

Зробити узагальнення щодо механізму дії токсикантів на клітинному рівні. Визначити, як конкретні зміни в структурі хімічної сполуки впливають на її здатність викликати токсичний процес. Окреслити значення отриманих результатів для екології, медицини, фармакології тощо.

#### Матеріали та обладнання

1) Інформаційні ресурси: монографії, статті, онлайн-ресурси з біохімії, токсикології.

2) Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань): прилади для визначення проникності речовин (наприклад, дифузійні камери, культури клітин); біохімічні реактиви (колориметричні, люмінесцентні методи тощо) для оцінки активності ферментів або стану мембран; програми для комп'ютерного моделювання (*in silico*) структурно-функціональних взаємодій молекул.

### ***Питання для самоконтролю***

1) У чому виникає різниця між зворотною та незворотною взаємодією токсикантів з біомолекулами?

2) Яка ж структурна подібність токсикантів до гормонів чи вітамінів може привести до збою у функціонуванні клітин?

3) Які функціональні групи в молекулах відповідають за їх чутливість до токсичності?

4) Чому ліпофільність речовини може підсилювати її токсичність?

5) Як підхід комп'ютерного моделювання (in silico) повністю вивчати взаємодію токсикантів з біологічними мішенями?

6) Наведіть приклад речовини, яка «імітує» природний метаболіт і поясніть, у чому сталася небезпека такої імітації.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №4**

***Тема:*** Вплив токсичних речовин на організм: шляхи надходження, накопичення та токсичні ефекти

***Мета роботи:*** 1) вивчити особливості дії токсичних речовин на організм на прикладах різних груп токсикантів; 2) з'ясувати основні шляхи надходження токсичних речовин до рослин, тварин і людини, а також механізми їх накопичення; 3) охарактеризувати токсичні ефекти на рівнях шкідливих речовин, виключно з вибірковою токсичністю; 4) проаналізувати вплив токсикантів на ріст, розмноження, імунну систему та інші життєво важливі функції.

### ***Теоретичні відомості***



**1. Шляхи надходження токсикантів і накопичення в організмах**

У рослин: через кореневу систему (із ґрунтового розчину), листковий апарат (через продихи та поверхню листків), інші зовнішні покриви.

У тварин і людини: респіраторний шлях (дихання), пероральний шлях (травний тракт), через захист та слизові рослини.

**2. Накопичення (біоаккумуляція) – поступове підвищення концентрації токсикантів в організмі через недосконале виведення або розкладання.**

Біомагніфікація – посилення концентрації токсикантів при передачі його по харчовому ланцюгу (від рослин до рослинних тварин, потім до хижаків тощо).

**3. Вибіркова (селективна) токсичність**

Різна ступінь чутливості до однієї й тієї ж речовини різних видів живих організмів або окремих клітин і тканин, зумовлена наявністю специфічних рецепторів, ферментних систем, відмінностями в обміні речовин, анатомічними й фізіологічними особливостями тощо.

**4. Токсичні ефекти на рівні організму**

Порушення росту та розвитку: зменшення швидкості росту, аномалії розвитку, підтримка або прискорення диференціації тканин.

Вплив на репродукцію: зміни репродуктивної здатності (неплідність, зменшення плодючості), вплив на внутрішньоутробний розвиток.

Порушення імунної системи: зниження імунної відповіді, зменшення кількості імунокомпетентних клітин, підвищення ризику інфекцій.

Інші ефекти: пошкодження нервової системи (повідінкові зміни), ендокринні порушення (гормональний дисбаланс), канцерогенез, тератогенез.

**5. Чинники, що спричиняють високу токсичність**

Доза (концентрація токсиканта та тривалість впливу).

Стан речовин (вік, стан здоров'я, генетичні особливості).

Умови довкілля (температура, рН, наявність інших хімічних речовин).

Форма надходження агента (аерозоль, рідина, тверда фаза).

### *Хід роботи*

#### **1. Ознайомлення з теоретичними поняттями**

Вивчити основні способи надходження токсикантів до рослин, тварин і людини.

Розглянути поняття «біоаккумуляція» та «вибіркова токсичність» на конкретних прикладах.

**2. Вибір агента токсиканта – об'єкта дослідження (за завданням викладача).** Може бути конкретна речовина (пестицид, важкий метал, фармацевтичний препарат тощо) або група речовин.

**3. Обрати модельний вид рослини / тварини (або аналізувати дані щодо людини) і опрацювати можливості шляхів надходження токсикантів до рослин та механізмів накопичення.**

**4. Дослідження впливу (експеримент або аналітичний огляд)**

Експериментальний підхід (за наявності лабораторних умов): довести вплив визначеної концентрації токсикантів на обраний модельний організм (наприклад, продовження захворювання, поведінку безхребетних). Зафіксувати зміни у рості, поведінці, біохімічних чи фізіологічних показниках.

Аналітичний підхід: зібрати з літератури дані про вплив даного токсиканта на ріст, репродукцію, імунітет у різних видів. Оцінити, як ці ефекти залежать від шляху надходження та дози.

#### **5. Аналіз отриманих результатів**

У випадку експерименту: порівняти результати контрольної та дослідної групи.

У випадку літературного огляду: систематизувати дані щодо впливу токсикантів на види, виявити різні тенденції (відмінності між організмами, форми прояву токсичності).

#### **6. Обговорення впливу токсичності**

Розглянути, чому обраний токсикант може по-різному впливати на рослини, тварин і людину.

Вказати механізми селективності (різні ферменти детоксикації, відмінності в метаболізмі тощо).

#### **7. Оформлення результатів та формулювання висновків**

Узагальнити, які шляхи надходження та особливості накопичення є компонентами для даної речовини. Показати, як проявляються токсичні ефекти на рівні речовин (ростові показники, відтворення, імунітет, інші функції). Записати результати та спостереження у вигляді таблиць, графіків чи коротких описів.

Зробіть висновки щодо наявної небезпеки для екосистеми і здоров'я людини.

#### *Матеріали та обладнання:*

1) Інформаційні джерела: підручники, посібники з токсикології, екології, фізіології рослин і тварин). Аналітичні матеріали (результати досліджень, статті про вплив певних токсикантів на організми).

2) Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань): зразки токсичних речовин (за можливості та з підтримки безпеки техніки) або статистичні дані про їх вплив. Лабораторне обладнання (мікроскоп, ваги, вимірювальні прилади для оцінки фізіологічних).

### ***Питання для самоконтролю***

- 1) Які основні відмінності між шляхами надходження токсикантів у рослин, тварин та людей?
- 2) Що таке біоаккумуляція і чим вона відрізняється від біомагніфікації?
- 3) У чому виникає вибіркова токсичність і які механізми можуть визначати селективну дію токсиканта?
- 4) Як токсиканти можуть впливати на репродуктивну функцію організму?
- 5) Які фактори впливають на імунну відповідь при токсичному ураженні?
- 6) Які екологічні наслідки можуть спричинити біомагніфікацію токсикантів у харчових ланцюгах?
- 7) Як структура хімічної сполуки впливає на її здатність до біоаккумуляції у різних організмах?
- 8) Які механізми адаптації рослин до токсичного впливу важких металів та інших токсикантів?

### **ПРАКТИЧНА РОБОТА №5**

***Тема:*** Специфічні форми токсичного ефекту та їхній вплив на екосистеми: мутагенез, канцерогенез, тератогенез, роль мікроорганізмів і фітотоксичність

***Мета роботи:*** 1) ознайомитися з поняттями мутагенезу, канцерогенезу, тератогенезу; 2) з'ясувати, як ці процеси впливають на віддалені (довготривалі) ефекти в біологічних системах, включно з екосистемами; 3) вивчити роль мікроорганізмів у концентрації металів та виявити токсичну дію металів на мікроорганізми; 4) проаналізувати фітотоксичність як специфічну форму впливу токсикантів (зокрема металів) на рослини.

## *Теоретичні відомості*

### **1. Спеціальні форми токсичного процесу**

Мутагенез – процес виникнення мутацій під дією фізичних, хімічних та біологічних факторів. Токсичні речовини можуть спричинити пошкодження ДНК або порушити її репарацію.

Канцерогенез – процес перетворення нормальних клітин на злоякісні (ракові). Канцерогени можуть діяти як ініціатори та промотори стану.

Тератогенез – формування вроджених вад розвитку (аномалій) у зародків та плодів під впливом токсикантів.

### **2. Віддалені ефекти в екосистемах**

Мутації та канцерогенні процеси в популяції диких тварин і рослин можуть призвести до зниження життєздатності та вимірювання видів.

Накопичення тератогенів може спричинити генетичні порушення та аномалії розвитку в наступних поколіннях.

Ефекти можуть бути кумулятивними та проявлятися через кілька поколінь у різних трофічних ланках.

### **3. Роль мікроорганізмів у концентруванні металів**

Деякі бактерії, гриби та інші мікроорганізми можуть акумулювати метали або їхні сполуки з навколишнього середовища. Механізми:

Біосорбція - зв'язування металів клітинними стінками чи іншими біополімерами.

Біоаккумуляція – активне захоплення металів внутрішньоклітинними системами.

У результаті метали можуть переміщуватися в харчових ланцюгах і викликати токсичні ефекти лише в мікроорганізмах, а й у більш високих трофічних рівнях.

### **4. Токсична дія металів на мікроорганізми**

Порушення структур та клітинних мембран. Інгібування ферментних систем (наприклад, метал може блокувати активний центр ферменту). Пошкодження

генетичного матеріалу (ДНК). Зниження чи повне припинення процесів росту, розмноження та метаболізму мікробних спільнот.

### **5. Фітотоксичність**

Вплив металів (наприклад, Pb, Cd, Hg) на рослини може виявлятися: затримкою росту або відмірюванням кореневої системи; пошкодженням фотосинтетичного апарату (хлороз, пригнічення фотосинтезу); порушенням транспорту живильних речовин, синтезу білків та нуклеїнових кислот.

Фітотоксичність веде до зниження врожайності, зменшення якості рослинної продукції, втрати біорізноманітності.

## ***Хід роботи***

### **1. Ознайомлення з теоретичними поняттями**

Вивчити основні визначення мутагенезу, канцерогенезу, тератогенезу та приклади речовин, що спричиняють ці процеси.

Розглянути механізми концентрації металів мікроорганізмами та фітотоксичні ефекти.

### **2. Вибір досліджуваного токсиканта та бактерій**

Обрати (або отримати від викладача) приклад токсичного металу (наприклад, Cd, Pb, Zn) чи інший токсикант.

Визначити, в чому полягає його мутагенний/канцерогенний/тератогенний потенціал (або одна з цих характеристик).

**3. Експериментальна частина (проведення в лабораторії, або симуляція)**

Для мікроорганізмів: підготувати посіви мікробних культур на живі середовища, що містять концентрації різного металу. Слідкувати за змінами в рості колоній, їх морфології, кольорі тощо.

Для рослин: замочити насіння культур в розчинах металу різних концентрацій. Оцінити наявність токсичності, розвитку кореневої та надземної частин (хлороз, некроз).

#### 4. Аналіз та інтерпретація результатів

Порівняння показників контрольних і дослідних зразків. Виявити залежність впливу металу від його концентрації та тривалості експозиції.

Оцінити, чи можуть спостережувані явища свідчити про виявлені мутагенні/тератогенні ефекти (наприклад, за аномаліями розвитку).

Обговорити прояв віддалених ефектів різних концентрацій металів. Пояснити, як мутагенез, канцерогенез і тератогенез можуть впливати на динаміку популяції та структуру екосистеми. Розглянути, як накопичення металів мікроорганізмами здатне впливати на вищі трофічні рівні та циркуляцію токсикантів.

#### 5. Формулювання висновків

Узагальнити отримані дані щодо токсичного впливу металів на мікроорганізми чи рослини. Визначити значущість мутагенних, канцерогенних і тератогенних ефектів у довгостроковій перспективі.

Записати результати та спостереження у вигляді таблиць, графіків чи коротких описів.

Надати оцінку необхідності контролю за вмістом токсичних металів у довкіллі та моніторингу їх впливу на біоту.

#### Матеріали та обладнання:

1) Інформаційні ресурси: підручники з екотоксикології, мікробіології, генетики, фізіології рослин.

2) Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань): мікроскоп, живильні середовища для мікроорганізмів, реактиви, зразки

металів або їх сполуки (для збереження безпеки) та модельні організми (мікробні культури, рослини тощо).

### ***Питання для самоконтролю***

1) У чому виникає відмінність між мутагенним, канцерогенним і тератогенним впливом токсикантів?

2) Яким чином мутагенез може сприяти адаптації чи, навпаки, зникненню певних видів у межах екосистеми?

3) Яка роль мікроорганізмів у колообігу металів та чому це може збільшити токсичні навантаження на екосистеми?

4) Які механізми лежать на основі токсичної дії металів на клітини (мікроорганізми, рослини)?

5) Що таке фітотоксичність і як її визначити експериментально?

б) Чому довготривалі (віддалені) ефекти токсикантів можуть бути небезпечними за гострими проявами?

### **ПРАКТИЧНА РОБОТА №6**

**Тема:** Впливу екотоксикантів на популяційні показники біосистем. Залежність «доза–ефект» та використання біомаркерів для оцінки популяційного стресу

**Мета роботи:** 1) ознайомитися з поняттями популяційної екотоксикології та особливостями співвідношення «доза–ефект» у системах надорганізмового рівня (популяції, біоценози); 2) дослідити, як екотоксиканти впливають на популяційні показники (чисельність, структуру, динаміку) рослинних і тваринних видів; 3) навчитися використовувати біологічні маркери (морфологічні, фізіологічні, біохімічні) для виявлення популяційного стресу в умовах хімічного забруднення; 4) з'ясувати, як зміни в популяціях на окремих трофічних



рівнях можуть впливати на взаємовідносини інших трофічних ланок в екосистемі.

### ***Теоретичні відомості***

#### **1. Популяційна екотоксикологія**

Популяційна екотоксикологія – напрямок екології та токсикології, що вивчає, як токсичні речовини впливають на клітини популяції організмів, їх структуру, динаміку і взаємодію у спільнотах.

На відміну від «класичної» токсикології, тут важливі значення мають популяційні показники (чисельність, репродуктивний успіх, смертність, разом вікових груп тощо).

**2. Залежність «доза–ефект» у надорганізованих системах**

Для визначення впливу токсикантів на популяцію можуть використовуватися експериментальні (лабораторні або комбіновані) та польові спостереження.

Криві «доза–ефект» для популяції можуть суттєво відрізнятися від індивідуальних, враховуючи ефекти, пов'язані з міжорганізмовою взаємодією (конкуренція, хижацтво, паразитизм).

**3. Зміна популяційних показників за екотоксичного впливу оцінюється за кількома показниками.**

Чисельність: зниження чи різке підвищення (при порушенні конкурентних взаємодій).

Структура: дисбаланс у віковому, статевому, просторовому розподілі.

Динаміка: уповільнення чи прискорення темпів зростання/спаду чисельності, можливість популяційних вибухів або вимирання.

#### **4. Біологічні маркери популяційного стресу**

Морфологічні: зміна розмірів тіла, форми органів, наявність деформацій.

Фізіологічні: порушення росту, репродуктивної здатності, дихання, обмін речовин.

Біохімічні: активність ферментів (антиоксидантної системи, метаболічних шляхів), вміст особливих білків (наприклад, металотіонеїнів).

Генетичні: підвищення частоти мутацій, зміни генного чи хромосомного рівнів.

**5. Взаємовідносини популяції суміжних трофічних рівнів**

Токсиканти можуть накопичуватися в харчових ланцюгах (біомагніфікація), впливаючи на хижаків та інші організми вищих трофічних рівнів.

Зміни чисельності видів-жертв або видів-конкурентів унаслідок токсичного впливу перебудовують структуру всього угруповання.

У результаті виникає ланцюгова реакція, що може призвести до змін у видовому складі та функціонуванні екосистеми.

### ***Хід роботи***

#### **1. Ознайомлення з теоретичними поняттями**

Вивчити літературу з популяційної екології та екотоксикології, звертаючи увагу на ключові популяційні показники та підходи до їх оцінки.

Засвоїти поняття «доза–ефект» для надорганізмових систем та представити приклади з реальних екосистем.

**2. Вибір (або отримання) інформаційного / експериментального об'єкта**

Визначити, яку популяцію (рослинну чи тваринну) аналізуватимемо. Обрати або отримати дані про вплив конкретного екотоксиканта (чи групи речовин) на цю

популяцію (наприклад, статистику чисельності, показники біомаркерів).

**3.** Дослідження змін популяційних показників  
Аналітичний метод (якщо немає експерименту):

Опрацьовувати доступні дані (літературні, польові), що описують динаміку чисельності населення в екстремній та контрольній зонах.

Проаналізувати, які параметри (чистість, структура, динаміка) найбільше змінюються.

Експериментальний метод (за наявності):

Провести спостереження в польових умовах (порівняння двох ділянок – контрольної та забрудненої).

Оцінити чисельність, морфологічні та фізіолого-біохімічні ознаки обраного виду; визначити відмінності.

**4.** Визначення біологічних маркерів

На основі зібраних даних (або інформації з літератури) встановити, які морфо-, фізіолого-біохімічні показники можуть свідчити про популяційний стрес.

Якщо передбачено лабораторний аналіз – провести вимірювання (активності певних ферментів, наявності метаболічних розладів тощо).

**5.** Аналіз змін у взаємовідносинах популяцій суміжних трофічних рівнів

Обговорити, як зменшити чи збільшити чисельність аналізованого виду позначитися на організмах, пов'язаних із ним харчовими чи конкурентними зв'язками.

Оцінити довгострокові наслідки (збіднення видового складу, зміна трофічних ланцюгів і мережі).

**6.** Формулювання висновків

Систематизувати отримані результати та пояснити їх у контексті популяційної екотоксикології.

Показати, як зміна надорганізмових показників може бути більш інформативною для оцінки екологічних ризиків, ніж дослідження індивідуальної токсичності.

Виокремити перспективи подальших досліджень та важливість моніторингу популяцій, вразливих внаслідок дії екотоксикантів.

Матеріали та обладнання:

1) Інформаційні ресурси: наукові та навчальні джерела (підручники, монографії, статті з екотоксикології, популяційної екології). Статистичні дані або результати польових спостережень (наявні) про чисельність і структуру популяцій під впливом конкретного екотоксиканта. Методичні матеріали з біомаркерних досліджень.

2) Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань): комп'ютерні програми для обробки та візуалізації даних (Excel, R та ін.). Обладнання для аналізу ферментативної активності, морфометрії тощо.

***Питання для самоконтролю***

1) У чому виникає специфіка підходу «доза–ефект» на популяційному рівні з індивідуальним?

2) Які основні популяційні показники (параметри) є найуразливішими за дії екотоксикантів?

3) Яку роль відіграють біологічні маркери при оцінці ступеня популяційного стресу?

4) Як зміни в одній популяції можуть вплинути на популяцію інших трофічних рівнів?

5) Чому довготривалі польові зауваження щодо короткочасних лабораторних експериментів у популяційній екотоксикології?

**ПРАКТИЧНА РОБОТА №7**

**Тема:** Екотоксикологія угруповань: аналіз впливу екотоксикантів на структуру, склад і біологічне різноманіття біогеоценозів

**Мета роботи:** 1) ознайомитися з основними засадами екотоксикологічних угруповань та місце розташування екотоксикантів у біогеоценозах; 2) вивчити механізми взаємодії екотоксикантів із компонентами біогеоценозу (обґрунтованими, водними, наземними системами); 3) з'ясувати, як саме вплив екотоксикантів змінює склад і структуру групування, а також біологічне різноманіття; 4) навчитися аналізувати динаміку змін у спільнотах під час хімічного забруднення середовища.

### ***Теоретичні відомості***

#### **1. Екотоксикологія угруповань**

Галузь екології і токсикології, що досліджує вплив токсичних речовин на клітини біологічних співтовариств (угруповання), а не лише окремі види чи популяції.

Розглядає трофічні зв'язки, конкурентні взаємодії та структурно-функціональні особливості біогеоценозу, в якому відбувається розподіл та накопичення токсикантів.

**2. Механізми взаємодії екотоксикантів з біогеоценозом**

Фізико-хімічні: адсорбція токсикантів, розчинення у водному середовищі, летючість або стабільність у повітрі.

Біологічні: біоаккумуляція, біомагніфікація, трансформація речовин мікроорганізмами, хімічне «захоплення» токсикантів деякими видами (наприклад, фітозакріплення).

Екологічні: вплив на харчові ланцюги, зменшення маси або підвищення чисельності певних видів, зміна видового складу.

**3. Зміна складу та структури угруповань**

Видовий склад може збіднюватися через загибель найбільш чутливих видів або, навпаки, відбувається розповсюдження стійких і витривалих організмів.

Структура групування (продуценти, консументи, редуценти) може зазнавати змін: порушуються певні трофічні рівні, змінюється роль доміантних видів.

Біологічне різноманіття: зменшення різноманітності видів і генетичної різноманітності в межах спільноти – один із головних показників екологічної деградації.

**4.** Динаміка біологічного різноманіття під впливом екотоксикантів

Короткочасні ефекти: пригнічення або загибель частини популяції, порушення репродукції.

Довгострокові ефекти: структурні перебудови групування, зміна їхньої функціональної стабільності та резистентності до інших стрес-факторів.

Індикаторні види: деякі види реагують на токсиканти швидше та яскравіше, завдяки чому можуть служити «біоіндикаторами» стану екосистеми.

### ***Хід роботи***

#### **1.** Ознайомлення з теоретичними основами

Вивчити розділи підручників чи наукових оглядів, присвячені структурно-функціональній організації біогеоценозів та механізмам впливу токсикантів на групування.

#### **2.** Вибір (або отримання) об'єкта дослідження

Обрати (чи отримати від викладача) конкретне угруповання (лісове, водне, лучне, агроценоз тощо), де підтверджено або передбачається дія токсичних речовин.

Зібрати (або проаналізувати наявні) дані про видовий склад і ключові екологічні показники (чисельність, доміантні види, біорізноманітність).

#### **3.** Аналіз структури та складу групування

Визначити види складу: які групи організмів присутні (продуценти, консументи, редуценти).

За наявністю кількох даних, розрахувати показники різноманіття (наприклад, індекс Шеннона або Сімпсона).

Якщо є ретроспективні дані (до забруднення) – порівняти склад групування «до» і «після» дії екотоксиканта.

#### **4. Визначення змін та їх причин**

Виявити, які види або функціональні групи найбільш чутливі до токсикантів, які найбільш стійкі.

Обговорити можливості механізмів адаптації / виживання (зміна поведінки, фізіологічної стійкості, просторового розподілу).

З'ясувати, як трофічні зв'язки (хижацтво, паразитизм, конкуренція) можуть посилювати чи послаблювати ефекти токсичної дії.

#### **5. Оцінка динаміки біологічного різноманіття**

За допомогою наявних чи зібраних даних простежити тенденцію чи зменшується кількість видів, чи, можливо, певні види витісняють інші.

При можливості провести статистичний аналіз (кореляцію між концентрацією токсикантів та зміною у показниках різноманіття).

#### **6. Оформлення результатів та формулювання висновків**

Синтезувати отриману інформацію в контексті екотоксикології угруповань:

Як же токсиканти руйнують функціонування спільноти? Які зміни в структурі є найбільш вираженими (зникнення певних видів, зсув домінант)?

Записати результати та спостереження у вигляді таблиць, графіків чи коротких описів.

Наголосити на важливості моніторингу та запобігання різкому хімічному навантаженню на екосистеми.

### Матеріали та обладнання:

1) Інформаційні ресурси: джерела: навчальні посібники, наукові статті з екології, токсикології та охорони природи. Польові або літературні дані про видовий склад та структуру певного біогеоценозу (лісового, лучного, водного тощо) в нормальних умовах і за дії екотоксиканта.

2) *Лабораторне обладнання (за наявності індивідуальних експериментальних завдань):* Програми для статистичної обробки даних (наприклад, Excel, R, PAST) або методи візуалізації (схеми трофічних зв'язків). Лабораторні тест-системи для аналіз вмісту токсичних речовин у зразках ґрунту, води, рослин; мікроскопи.

### ***Питання для самоконтролю***

1) У чому полягають відмінності між екотоксикологією організмowego, популяційного та угрупованого рівнів?

2) Які механізми забезпечують поширення токсикантів у межах біогеоценозу?

3) Чому зменшення біологічного різноманіття вважається одним із головних негативних наслідків хімічного забруднення довкілля?

4) Як зміни у видовому складі можуть позначитися на стійкості та функціонуванні у всій спільноті?

5) Які види в біогеоценозі є найбільш чутливими до екотоксикантів і чому?

6) У чому полягають переваги комплексного підходу (вивчення структури, різноманіття, трофічних зв'язків) для оцінки впливу токсичних речовин?



## ПРИКЛАДИ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

### Рівень 1

1. Під токсичним ефектом розуміють:
  - а. патологічні зміни у функціонуванні організмів під впливом токсикантів*
  - б. зниження плодючості організмів у ряді поколінь
  - в. зростання інтенсивності обміну речовин, як прояв деструкційних процесів
  - г. пригніблення фотосинтезу або дихання організмів, внаслідок чого вони гинуть
  - д. повне ураження організму та його загибель
2. Для водних екосистем певна речовина вважається високотоксичною, якщо її медіанна смертельна (летальна) концентрація знаходиться в межах:
  - а.  $1 \text{ мг/дм}^3$
  - б.  $1 - 10 \text{ мг/дм}^3$
  - в.  $10 - 100 \text{ мг/дм}^3$
  - г.  $100 - 1000 \text{ мг/дм}^3$
  - д. більше  $1000 \text{ мг/дм}^3$
3. “Дозою” токсиканта вважається:
  - а. маса речовини, що розчинена у певному об’ємі води
  - б. *маса токсиканта, що припадає на одиницю маси організму*
  - в. концентрація токсиканта, за якої починається відмирання організму
  - г. концентрація токсиканта, що є смертельною для дрібних організмів
  - д. концентрація токсиканта, що здатна викликати миттєву загибель крупних організмів
4. Інтегральною токсичністю називається такий показник, в якому:
  - а. не враховується хімічна природа діючих речовин

- б. не враховується концентрація діючих речовин
  - в. враховується тільки хімічна природа діючих речовин
  - г. враховується тільки біологічна дія речовин
  - д. не враховується біологічна дія речовин
5. Коли на організм діють не один, а два або декілька токсикантів, ефект від їх дії називається:
- а. сумарним
  - б. *результуючим*
  - в. підсумовуючим
  - г. комплексним
  - д. багатофакторним

## Рівень 2

1. Співставте механізми токсичної дії з їх характеристиками:
- а. *Мембранна деструкція – Пошкодження ліпідного шару клітинних мембран*
  - б. *Інгібування ферментів – Блокування активних центрів ферментів*
  - в. *Окислювальний стрес – Надмірне утворення активних форм кисню*
  - г. *Порушення транспорту іонів – Зміна роботи іонних каналів*
  - д. *Генотоксичність – Пошкодження структури ДНК*
2. Співставте шляхи надходження токсикантів з їх описами:
- а. *Інгаляційний – Надходження через органи дихання*
  - б. *Пероральний – Потрапляння через травну систему*
  - в. *Дерматичний – Проникнення через шкіру*
  - г. *Парентеральний – Введення токсиканта безпосередньо в кров*
  - д. *Трансламінальний – Перехід через рослинну кутикулу*
3. Співставте ефекти токсичних речовин з їх проявами:
- а. *Мутагенез – Зміна генетичної інформації організму*
  - б. *Канцерогенез – Провокування утворення пухлин*

- в. Тератогенез – Виникнення вроджених вад розвитку*
- г. Нейротоксичність – Ураження нервової системи*
- д. Фітотоксичність – Пригнічення росту і розвитку рослин*

### **Рівень 3**

1. Біодоступність речовин у водному середовищі залежить від:
  - а. хімічних властивостей речовини*
  - б. хімічних властивостей середовища*
  - в. наявності зваженого матеріалу*
  - г. рівня температури*
  - д. особливостей та стану самого біологічного об'єкту*
2. Синергічними є комбінації важких металів:
  - а. міді та цинку*
  - б. міді та кадмію*
  - в. нікелю та цинку*
  - г. заліза і марганцю*
  - д. кобальту та марганцю*
3. Внаслідок дії токсикантів, на другому етапі перебудови водних екосистем, відбувається:
  - а. коливання показників чисельності і біомаси планктонних популяцій*
  - б. заміна домінантних видів організмів*
  - в. повна зміна структури гідробіоценозів*
  - г. зміна структури гідробіоценозів при загальній тенденції до падіння чисельності і біомаси окремих планктонних видів*
  - д. падіння чисельності і біомаси окремих планктонних видів*

### **Рекомендована література**

1. Гандзюра В.П., Клименко М.О., Бедункова О.О. Біосистеми в токсичному середовищі : монографія. Рівне : НУВГП, 2021. 261 с.

2. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів П.С. Екотоксикологія. Навчальний посібник. Суми : Університетська книга. 2024 р. 369 с.
3. Бондар О.І., Новосельська Л.П., Іващенко Т.Г. та ін. Основи біологічної безпеки (екологічна складова). Одеса : Гельветика. 2021 р. 372 с.
4. Ніженковська І.В., Вельчинська О.В., Кучер М.М. Токсикологічна хімія: підручник, 3-є видання. К. : ВСВ «Медицина». 2020. 372 с.
5. Євтушенко М.Ю., Дудник С.В. Водна токсикологія. Одеса : Гельветика. 2019. 606 с.
6. Приседський Ю. Г., Лихолат Ю. В. Адаптація рослин до антропогенних чинників (підручник для студентів спеціальностей біологія, екологія та середня освіта вищих навчальних закладів). ДонНУ імені Василя Стуса. Вінниця : ТОВ "Нілан-ЛТД", 2017. 98 с.
7. Marian W.A.J., Vidal M., Dekker J. Handbook of Systems Biology. Elsevier, 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/c2010-0-67190-2>
8. Клименко М.О., Бедункова О.О. Кругообіг важких металів у водних екосистемах. Рівне: НУВГП, 2008. 215 с.
9. Клименко М.О., Бедункова О.О. Біоіндикація стану річкових гідроєкосистем за морфологічними та цитогенетичними характеристиками гомеостазу риб: монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 302 с.
10. Екотоксикологія. Хіміко-токсикологічна характеристика пестицидів [Електронний ресурс] : електрон. метод. вказівки до курсу «Екотоксикологія» для студ. ф-ту хімії та фармації / уклад.: Т.М. Щербакова, О.М. Гузенко, О.М. Рахлицька. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова, 2023. 60 с.
11. Гандзюра В.П. Системний аналіз якості навколишнього середовища: Навчальний посібник для студентів

вищих навчальних закладів. К.: ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2020. 180 с.

12. Баюрка С.В., Бондар В.С., Мерзлікін С.І. та ін. Аналітична токсикологія : навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2017. 384 с.