

Лисиця А.В.

**«Біоіндикація і біотестування
забруднених територій»
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
*ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ***

для студентів напряму підготовки 101 - «Екологія»



Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до практичних робіт. Рівне: Дока-центр, 2018. – 77 с.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	3
Практична робота № 1. Відбір проб об'єктів навколишнього середовища для біоіндикаційних досліджень.....	5
Практична робота № 2. Методика оцінки токсичності водних джерел та ґрунтів за допомогою «Ростового тесту».....	8
Практична робота № 3. Оцінка забрудненості атмосферного повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація).....	16
Практична робота № 4. Оцінка токсичності атмосферного повітря за тестом «Стерильність пилку рослин».....	22
Практична робота № 5. Визначення якості ґрунтів за тестами «Аберантність хромосом» та «Величина мітотичного індексу».....	30
Практична робота № 6. Біотестування якості води з використанням рачків виду <i>Daphnia magna</i>	40
Практична робота № 7. Оцінка стабільності розвитку деревних рослин за рівнем асиметрії морфологічних структур (на прикладі берези повислої <i>Betula pendula</i>).....	45
Практична робота № 8. Оцінка екологічного стану ґрунтів за змінами видового біорізноманіття ґрунтових безхребетних тварин.....	51
Практична робота № 9. Сосна в якості тест-об'єкта в радіоекологічних і загально-екологічних дослідженнях	54
Практична робота № 10. Визначення хемотаксичної реакції інфузорій	58
Додаток 1. Варіанти завдань до практичної роботи № 2.....	61
Додаток 2. Варіанти завдань до практичної роботи № 3.....	64
Додаток 3. Варіанти завдань до практичної роботи № 4.....	67
Додаток 4. Варіанти завдань до практичної роботи № 5.....	69
Додаток 5. Варіанти завдань до практичної роботи № 6.....	73
Додаток 6. Варіанти завдань до практичної роботи № 8.....	75
Література	76

ВСТУП

Сучасний розвиток майже усіх сторін людської життєдіяльності неможливий без всебічного контролю стану навколишнього середовища. Неможливо планувати і реалізовувати розвиток сільського господарства та промисловості без обліку рівня забруднення атмосфери, ґрунтів, природних вод. Тому отримання інформації про стан забруднення природного середовища є досить актуальним. Значною мірою така інформація може бути отримана за допомогою живих організмів: визначених видів рослин та тварин, бактерій, грибів, лишайників. Цей метод отримав назву біоіндикація.

Бурхливому розвитку екології у останні десятиріччя сприяла необхідність вирішення таких важливих проблем сучасності, як раціональне використання природних ресурсів, профілактика забруднення середовища промисловими відходами та транспортом, запобігання знищенню природних угруповань, збереження генофонду рослинного і тваринного світу.

Сьогодні неможливо планувати і реалізовувати подальший розвиток промисловості і сільського господарства без обліку наявного і прогнозованого забруднення атмосфери, природних вод, ґрунтів і його впливу на здоров'я і добробут людини, живих організмів і екосистем в цілому.

Щоб надалі розрізнити дуже близькі по цілях застосування і смислового використання поняття, пояснимо значення термінів «біоіндикація» і «біотестування».

Біоіндикація - виявлення і визначення екологічно значущих природних і антропогенних навантажень на основі реакцій на них живих організмів безпосередньо в місці їх існування. Біологічні індикатори мають ознаки, властиві системі або процесу, на підставі яких виробляється якісна чи кількісна оцінка тенденцій змін, визначення або оціночна класифікація стану екологічних систем, процесів і явищ. В даний час можна вважати загальноприйнятим, що основним індикатором сталого розвитку в кінцевому підсумку є якість середовища проживання.

Біотестування - процедура встановлення токсичності середовища за допомогою тест-об'єктів, що сигналізують про небезпеку незалежно від того, які речовини і в якому поєднанні викликають зміни життєво важливих функцій у тест-об'єктів. Для оцінки параметрів середовища використовуються стандартизовані реакції живих організмів (окремих органів, тканин, клітин або молекул). В організмі, що перебуває контрольний час в умовах забруднення, відбуваються зміни фізіологічних, біохімічних, генетичних, морфологічних або імунних систем. Об'єкт витягується з середовища проживання, і в лабораторних умовах проводиться необхідний аналіз.

Предметом вивчення дисципліни «Біоіндикація та біотестування» є закономірності, категорії і концепції забруднення довкілля та принципи оцінки його масштабів за допомогою живих організмів.

Міждисциплінарні зв'язки: біологія, загальна екологія, екологія людини.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. «Предмет дисципліни «Біоіндикація та біотестування навколишнього середовища». Теоретичні основи біоіндикації»

2. «Рівні біоіндикації»

3. «Біоіндикація антропогенного впливу на ландшафт»

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є підготовка фахівців профільної галузі для вирішення проблем охорони природних біоценозів та здоров'я людини.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Біоіндикація і біотестування» є формування у студентів комплексу знань, навичок та уявлень про принципи біоіндикації, основні системи оцінки ступеню забруднення ґрунтів чи водойм на основі стану їх екосистем, які необхідні для рішення професійних завдань відповідно посадовим обов'язкам в галузі прикладної екології.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати : основні принципи біоіндикації; біохімічні та фізіологічні реакції живих систем на антропогенні стресори; морфологічні та поведінкові відхилення від норми у організмів під впливом антропогенних факторів; механізм впливу антропогенних факторів на динаміку біоценозів. види-індикатори аномальних концентрацій хімічних сполук.

вміти : оцінювати та описувати біотичні структурні зміни ландшафту; користуватись заходами біоіндикації забруднення повітря, ґрунту та водних екосистем; оцінювати вплив антропогенної діяльності на природні системи, стан рослинного і тваринного світу; оцінювати вплив окремих факторів навколишнього середовища на показники стану здоров'я людини.

ВІДБІР ПРОБ ОБ'ЄКТІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ БІОІНДИКАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи: вивчити особливості відбору зразків об'єктів навколишнього природного середовища для біоіндикаційних досліджень.

Вибір тест-полігонів. Для проведення біологічного моніторингу довкілля на досліджуваній території повинні бути виділені тест-полігони. Тест-полігони вибираються таким чином, щоб першочергово були досліджені найбільш небезпечні та техногенно-навантажені райони. Відбір проб проводять як в промислових зонах, так і в житлових масивах, віддалених від підприємств.

Загальні вимоги до відбору проб ґрунтів. Відбір проб здійснюється згідно «ГОСТ 17.4.3.01–83. Ґрунти. Відбір проб». Такі методи відбору проб ґрунту застосовуються для оцінки загального та локального забруднення навколо підприємств, поблизу автомобільних трас та ін.

При загальному забрудненні ґрунтів ділянки для відбору зразків вибирають у відповідності з координатною сіткою (вказують номер і координати). При локальному забрудненні ґрунтів для визначення пробних ділянок використовують систему концентричних кіл, розташованих на диференційованих відстанях від джерела забруднення (вказують номери кіл і азимут місця відбору зразків). При дослідженні забруднень ґрунтів проби відбирають пошарово з глибини 0–5; 5–20; 21–40; 41–60 см, в залежності від мети дослідження. Крім того визначається необхідний розмір досліджуваної ділянки, кількість і вид проби.

Максимально допустимі розміри ділянок визначають в залежності від економічних районів країни: в Поліссі – 8 га, Лісостеповій зоні – 25 га, в Степовій – 40 га. В середньому розмір ділянки в Україні дорівнює приблизно 25 га. Для визначення у ґрунтах хімічних речовин розмір ділянки для відбору зразків коливається від 1 до 5 га, де відбирають не менш однієї об'єднаної проби масою не менше 400 г.

Обстеження земель навколо підприємств-забруднювачів та поблизу автомобільних трас. Навколо підприємств-забруднювачів обстеження земель проводиться за системою концентричних кіл, розташованих на відстані 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5; 10 км від джерела забруднення, з урахуванням пануючих вітрів (рис. 1).

При відборі проб ґрунту з ділянок уздовж дорожніх смуг враховується те, що газопиловий струмінь автотранспорту викидається в повітря невисоко над ґрунтом, а відстань переносу викидних газів (в тому числі і аерозолів важких металів, сажі та інших речовин) не перевищує 100 м в напрямку пануючих вітрів. Ділянки для відбору зразків довжиною 200–500 м розмічають на відстанях 0–10, 10–50 і 50–100 м від полотна дороги, враховуючи рельєф, ґрунтовий і рослинний покрив, гідрологічні умови місцевості. На кожній з них відбирають 20–25 індивідуальних проб ґрунту для отримання змішаного (середнього) зразка.

Відбір проб ґрунтів для біоіндикаційних досліджень. На першому етапі комплексного моніторингу навколишнього природного середовища із застосуванням біологічних методів оцінки рекомендується проводити великомасштабні рекогносцирувальні дослідження. Вони повинні бути прив'язані до стаціонарних постів спостереження Держкомгідромету та санітарно-епідеміологічної служби, а також включати найбільш екологічно небезпечні і умовно чисті контрольні території (за рекомендаціями обласних управлінь Міністерства екології та природних ресурсів України, санітарно-епідеміологічної служби тощо).

Далі переходять до середньо- та маломасштабних досліджень відносно оцінки стану ґрунтів та інших об'єктів навколишнього середовища за сумарним токсико-мутагенним фоном. Такі дослідження, як правило, завершуються картографуванням території за даною ознакою.

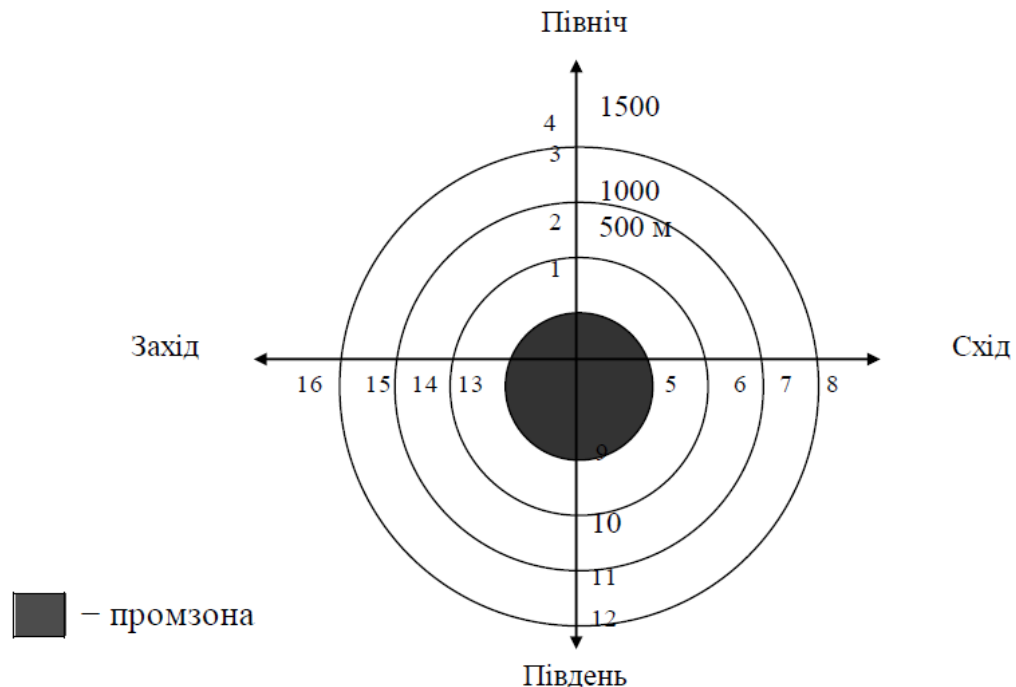


Рис. 1. - Punti відбору проб ґрунтів для визначення впливу промислового об'єкта на довкілля (1–16)

Великомасштабне картографування дозволяє встановити орієнтовані рівні мутагенного фону, а середньо- та маломасштабне картографування – диференціювати райони всередині окремих регіонів за ступенем мутагенного впливу та виявити джерела впливу на одиницю площі. При великомасштабному картографуванні за одиницю площі рекомендується приймати ділянку розміром 10000 км², при середньо- та маломасштабному – 1000 і 100 км², відповідно. На кожній одиниці площі повинно бути не менше 10 пунктів спостережень.

У випадку впливу окремих джерел забруднень (підприємств, електростанцій та ін.) на об'єкти навколишнього середовища, рекомендується застосовувати метод концентричних кіл з шагом через 0,5 км (до 2,5 км).

При оцінці екологічного стану міста з населенням 1 млн. чоловік бажано поділити його територію на 20 умовних квадратів з виділенням у кожному від 10 до 20 пунктів спостережень залежно від рівня екологічної напруженості. У кожному пункті проби ґрунту відбирають за правилом «конверта» зі стороною 10–100 м. Об'єднана проба ґрунту формується з 9–12 проб, розміщується у відповідну тару, на яку ставиться печатка та наклеюється етикетка із супровідною відомістю.

Періодичність обстеження ґрунтів встановлюється диференційовано (з урахуванням особливостей території) – в середньому через кожні 5 років. Зазначений термін може бути збільшений, якщо різниця між показниками попереднього обстеження не істотна.

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.

Відбір проб пилку рослин. Відбір пилку кожного досліджуваного виду рослин проводять одночасно в усіх точках спостереження. З кожної моніторингової точки у суху погоду збирають готові до розкриття бутони квітів (від 30-ти рослин кожного виду). У деревинних та чагарникових рослин відбирають біопроби з неушкоджених, здорових паростків середнього ярусу крони південної орієнтації, а у трав – з рослин, зростаючих у територіальному центрі мікропопуляції індикаторів. Рослини повинні бути добре розвинуті

і не мати ознак пригнічення. Досліджують у кожній пробі від 1000 до 3000 клітин, серед яких виділяють стерильні та фертильні.

Контрольні запитання

1. Критерії вибору тест-полігонів.
2. Загальні вимоги до відбору проб ґрунтів
3. Як здійснюється обстеження земель навколо підприємств та поблизу автомобільних магістралей?
4. Як здійснюється відбір проб ґрунтів для цитогенетичних досліджень?
5. Як здійснюється відбір проб з водних джерел?
6. Як відбирають зразки пилку рослин?

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТОКСИЧНОСТІ ВОДНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ҐРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ «РОСТОВОГО ТЕСТУ»

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

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 ґрунту, води, водних витяжок ґрунтів тощо. Цей метод дозволяє оцінити не тільки пригноблючу 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 квасолу. 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 повторностях.

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).

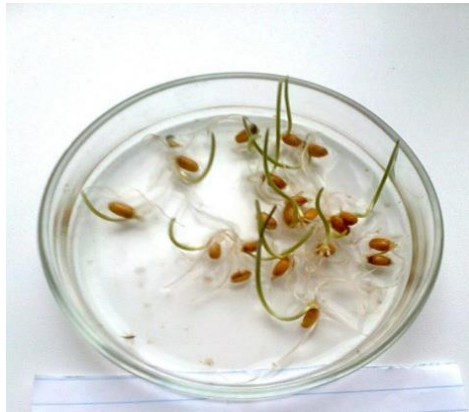


Рис. 1. - Пророщене насіння в чашці Петрі



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.

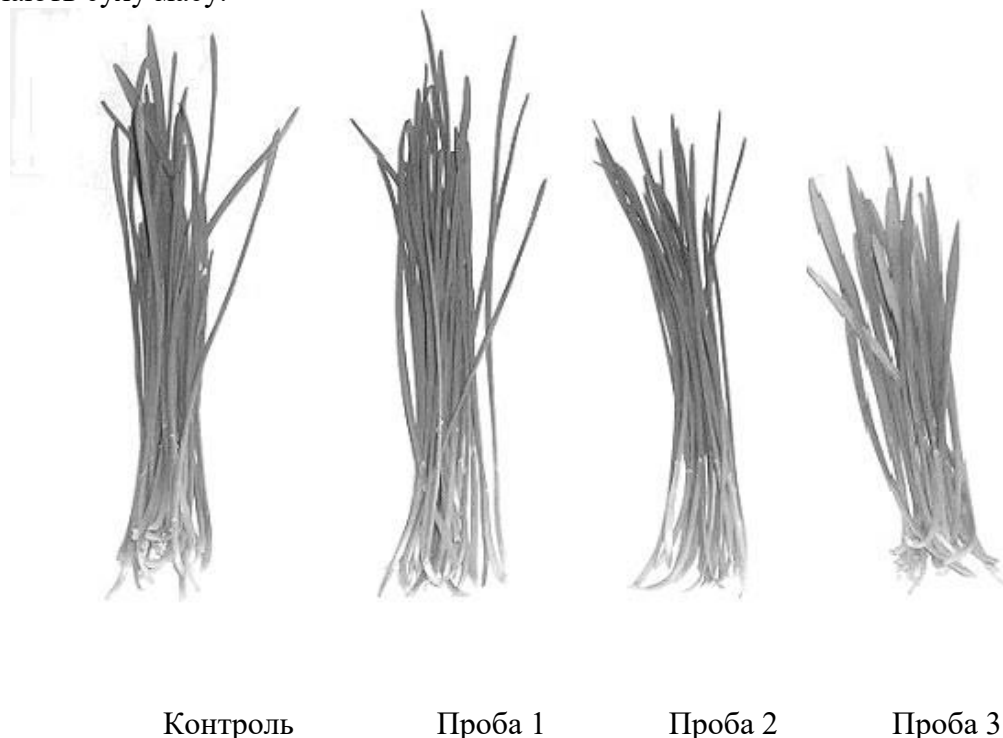


Рис. 4. - Вимірювання довжини надземної частини паростків пшениці

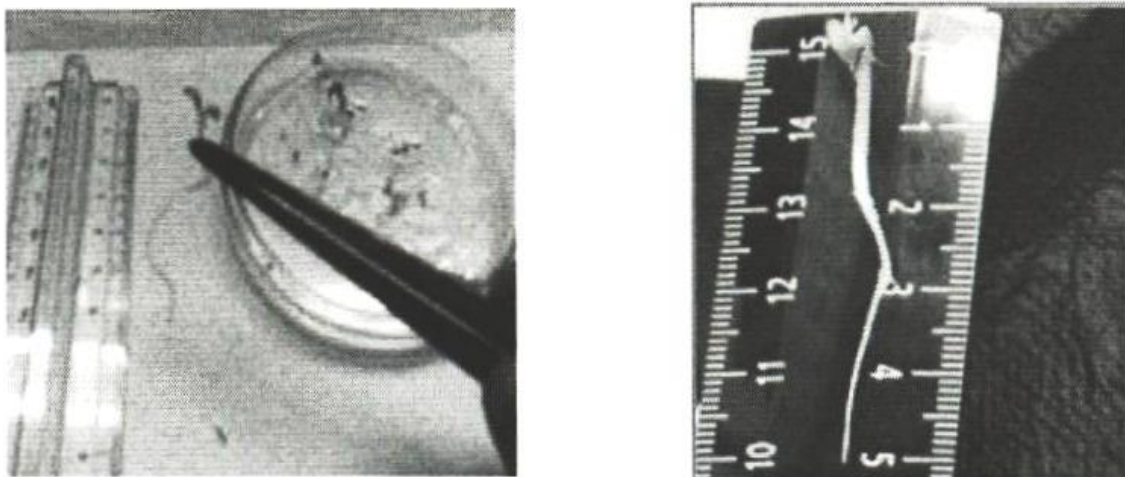


Рис. 5. - Вимірювання довжини коріння насіння із чашки Петрі

3. Пророщування тест-культур у ємностях

При дослідженні токсичності проб *грунту* в кожну з посудин вносять по 50–100 г субстрату, зволоженого до 70% (використовують кип'ячену відстояну питну воду), і висівають по 15–20 пророслих насінин тест-культури. У даному випадку індикатором може слугувати будь-яка рослина. Для дослідження використовують лабораторний скляний простерилізований посуд, у разі його відсутності – чисті пластикові стакани, чашки та ін.

На перші кілька діб посудини з досліджуваними зразками накривають склом. Два-три рази на добу скло знімають на 10–15 хвилин для провітрювання. На четверту добу ємності з висадженим в них насінням поміщають на полицю, та створюють для них умови, аналогічні вказаним вище (п. 2).

Неодмінною умовою проведення даного експерименту є підтримка постійної вологості досліджуваного ґрунту (на рівні 70% від повної вологості ґрунту), яка досягається наступним:

- перед закладкою досліду ґрунт просушують і зважують;
- підготовлений в такий спосіб ґрунт зволожують такою кількістю води, що дозволяє досягти 70%-ї вологості;
- зволожений у такий спосіб ґрунт розносять в експериментальні ємності і визначають загальну вагу.

В ході експерименту зважування періодично повторюють і компенсують утрату вологи шляхом поливу відповідною кількістю води.

Дослідження усіх варіантів проводять в трьох повторностях. Контрольним субстратом у цьому випадку є ґрунт, відібраний в екологічно чистій зоні (заповідник, заказник, курортна зона та ін.).

Обробка результатів ростового тесту.

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

$$m = \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}} \quad (1.1)$$

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

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x - \bar{x})^2}{N} \quad (1.2)$$

Достовірність різниці середніх арифметичних t розраховується за критерієм Стюдента-Фішера:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (1.3)$$

де $\bar{x}_1$ – середнє арифметичне значення показника в контрольному досліді;

$\bar{x}_2$ – 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 (ΦE) за формулою:

$$\Phi E = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \cdot 100, \% \quad (1.4)$$

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 досліджуваним 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
Суша 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±0,33 см; 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 пригнобилені – 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 пригнобилені 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

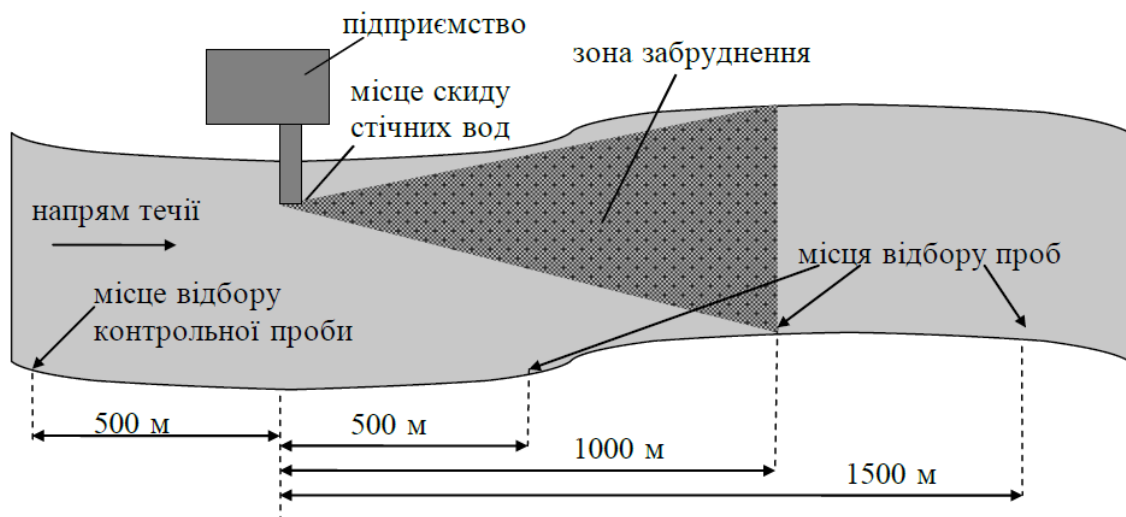


Рис. 6. - Зона впливу стічних вод промислового підприємства на річку

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

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

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 від дії стічних вод підприємства

Параметр	Значення, %		
	500 м	1000 м	1500 м
ΦE_1 (за висотою рослин)	29,3	24,1	17,1
ΦE_2 (за довжиною коренів)	36,6	32,8	15,3
ΦE_3 (за сухою масою)	32,5	21,9	14,4
ΦE_{cp}	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. 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.

Контрольне завдання

Оцінити вплив стічних вод промислового підприємства на якість природної води за результатами ростового тесту. Варіанти вихідних даних наведені в додатку 1 і обираються відповідно до порядкового номеру студента в списку академічної групи.

Звіт з практичної роботи повинен бути оформлений відповідно з наведеним вище прикладом розрахунку.

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?

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕНOSTІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛИШАЙНИКІВ (ЛІХЕНОІНДИКАЦІЯ)

Мета роботи: навчитися оцінювати ступінь забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами за допомогою лишайників.

Лишайники – своєрідна група комплексних організмів – гриба (мікобіонта) й водорості (фікобіонта), які утворюють єдине симбіотичне співжиття, що відрізняється вільними морфологічними типами й особливими фізіологобіохімічними процесами.

Вегетативне тіло лишайника, яке називають талломом або сланню, цілком складається з переплетення грибних гіфів. Водорості або розкидані безсистемно серед грибних гіфів у всій товщі слані (рис. 6а), або розташовані окремим диференційованим шаром трохи нижче її поверхні. (рис. 6б).

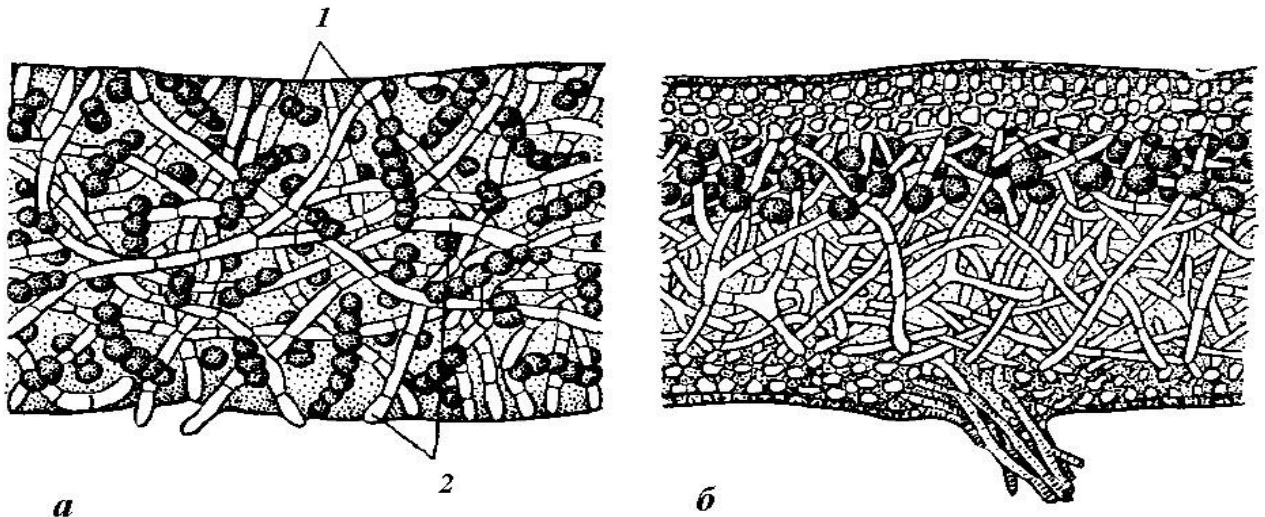


Рис. 6. - Клітини водорості, охоплені гіфами гриба: а – поперечний розріз гомеомірного таллону; б – поперечний розріз гетеромірного таллону (1 – клітини водорості, 2 – гіфи гриба)

Водоростевий та грибний компоненти лишайника перебувають у дуже складних взаєминах. Мікобіонт поводить себе як паразит і сапрофіт на тілі водорості, а фікобіонт, у свою чергу, паразитує на лишайниковому грибі. При цьому паразитизм фікобіонта завжди носить більш помірний характер, ніж паразитизм гриба.

Слань лишайників дуже різноманітна за розмірами, формою, будовою та забарвленням. Залежно від зовнішнього вигляду розрізняють три основних морфологічних типи лишайників:

1. **Накипні**, таллом яких являє собою скоринку, що міцно зчеплена зі субстратом (корою дерева, поверхнею камення) (рис. 7). Такі лишайники неможливо відокремити від субстрату без ушкодження.

Як правило, накипні слані мають невеликі розміри, а їхній діаметр становить кілька міліметрів або сантиметрів (іноді може досягати й 20–30 см).

2. **Листуваті**, таллом яких має вигляд лусочок або листовидних пластинок (рис. 8). Найбільш проста слань листуватих лишайників має вигляд однієї великої округлої листовидної пластинки, що досягає в діаметрі 10–20 см. Слань, що складається з однієї листовидної пластинки, зветься *монофільною*. Монофільна пластинчаста слань звичайно прикріплюється до субстрату тільки у своїй центральній частині за допомогою товстої короткої ніжки, що називають *гомфом*. Більш складною за будовою є листувата слань, розсічена на безліч дрібних лопастей. Як правило, вони зібрані в округлі розетки, але іноді утворюють слані невизначених, нескінченно різноманітних форм.

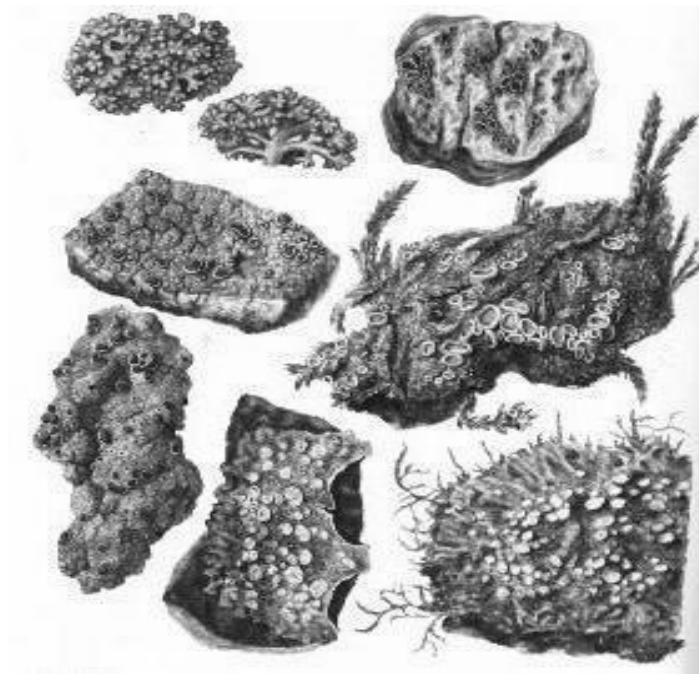
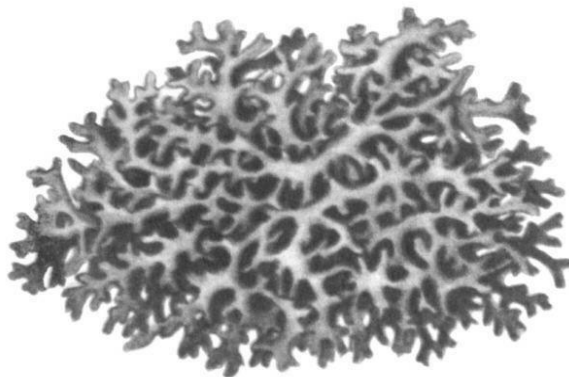


Рис. 7. - Накипні лишайники



а



б

Рис. 8. - Листуваті лишайники: а – пармелія ; б – цетрарія

Характерною рисою нижньої поверхні листуватих лишайників є те, що вона майже завжди утворює особливі органи, за допомогою яких листуватий лишайник прикріплюється до субстрату. На відміну від накипних лишайників, слань яких щільно зростається із субстратом, листуваті лишайники звичайно досить слабо з ним зв'язані й, у більшості випадків, можуть бути легко відділені від субстрату.



а



б

Рис. 9. - Рунисті лишайники: а – кладонія; б – уснея

3. **Рунисті**, таллом яких складається з гілочок або звисаючих «борід» (рис. 9). За організаційним рівнем рунисті лишайники представляють собою вищий етап розвитку слані. На відміну від накипних і листоватих форм лишайників, для яких характерний горизонтальний ріст гіфів, у рунистих лишайників спостерігається вертикально спрямований ріст гіфів і верхівковий ріст сланей.

Рунисті лишайники звичайно прикріплюються до субстрату тільки невеликою ділянкою нижньої частини слані. Прямостоячі рунисті лишайники найчастіше прикріплюються до ґрунту тонкими *різоїдами* (грец. *rhiza* – корінь й *eidos* – вид) – нитковидними утвореннями, які виконують у грибів функцію кореня.

Особливості використання лишайників для цілей біоіндикації. Все необхідне для життя лишайники отримують із повітря й атмосферних опадів, і при цьому не мають спеціальних пристосувань, що запобігають надходженню в їхні тіла різних забруднювачів. Таллом лишайника не має кутикули, тому поглинання елементів проходить дуже швидко, і шкідливі речовини легко накопичуються без можливості виділення. Надходячи в таллом, такі з'єднання руйнують хлоропласти водоростей, рівновага між компонентами лишайника порушується, і організм гине. Тому багато видів лишайників швидко зникають з територій, підданих значному забрудненню атмосферного повітря. Таким чином, лишайники є ідеальним об'єктом біоіндикації стану атмосферного повітря.

Вимогливість лишайників до чистоти повітря зростає в ряді «накипні → листоваті → рунисті». Тобто самими витривалими і толерантними є накипні лишайники. Листоваті проявляють середню чутливість до забруднення повітря, а рунисті лишайники зникають при перших симптомах забруднення.

Метод оцінки забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників одержав назву *ліхеноіндикація*. У ліхеноіндикації використовуються методи пасивного й активного спостереження.

В процесі *пасивного* спостереження вивчають кількість лишайників та їх видів, а також розміри покриття лишайниками поверхні субстрату в природному біотопі. При *активному* спостереженні ступінь забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами оцінюють за кількістю ушкодженого таллomu (% від загальної площі лишайника) і за вмістом забруднюючих речовин у слані лишайника.

Опис методу. Обирають район для дослідження й складають його карту з нанесенням ТЕС, заводів, потужних підприємств та великих автомагістралей. Розбивають досліджувану територію на квадрати розміром 10х10 м, 20х20 м, 50х50 м, 100х100 м (залежно від мети дослідження й розрідженості насаджень). У кожному квадраті вибирають 10 старих, але здорових дерев, що ростуть окремо. На кожному дереві підраховують кількість видів лишайників. При цьому, точну назву видів знати не обов'язково – досить відрізнати їх за формою таллomu.

Потім проводять оцінку ступеня покриття деревного стовбура лишайником. Для цього на висоті 30–150 см на найбільш зарослу лишайниками частину кори дерева накладають рамку з розмірами 10х10 см і клітками 1х1 см (*палетку*). Підраховують, який відсоток загальної площі рамки займають лишайники.

Крім дерев, додатково можна досліджувати заростання лишайниками каменів, ділянок ґрунту, стін будинків і т.д. Отримані результати заносять в таблицю (табл. 4.).

Потім підраховують частоту зустрічаємості кожного виду лишайників за формулою:

$$A^{виду} = \frac{m^{виду}}{n} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

де $m^{виду}$ – кількість лишайників даного виду; n – загальна кількість дерев у досліджуваному квадраті (у нашому випадку $n=10$).

Визначають середній ступінь покриття площі рамки лишайниками кожного виду за формулою:

$$S^{виду} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \%, \quad (3.2)$$

де S_i – ступінь покриття площі рамки лишайниками окремого дерева, %.

Таблиця 4 – Результати ліхеноіндикації

Ознака	Дерева									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість накипних лишайників										
Кількість листуватих лишайників										
Кількість рунистих лишайників										
Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %										
Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %										
Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %										

Після цього кожному отриманому значенню частоти зустрічальності лишайників певного виду $A^{виду}$ й ступеню їхнього покриття $S^{виду}$ привласнюють свій умовний бал оцінки: відповідно $a^{виду}$ й $s^{виду}$ за шкалою, наведеною в табл. 5.

Таблиця 5 – Оцінка частоти зустрічальності й ступеня покриття лишайниками за п'ятибальною шкалою

Умовний бал оцінки	Частота зустрічальності $A^{виду}$		Ступінь покриття $S^{виду}$	
	значення, %	оцінка	значення, %	оцінка
1	0-5,0	дуже рідко	0-5,0	дуже низький
2	5,1-20,0	рідко	5,1-20,0	низький
3	20,1-40,0	рідко	20,1-40,0	середній
4	40,1-60,0	часто	40,1-60,0	високий
5	60,1-100	дуже часто	60,1-100	дуже високий

Для кожного виду лишайників обчислюють середній умовний бал частоти зустрічальності й ступеню покриття за формулою:

$$M^{виду} = \frac{a_i^{виду} + s_i^{виду}}{2}. \quad (3.3)$$

Після цього визначають показник відносної чистоти атмосфери:

$$Q = \frac{M^H + 2 \cdot M^L + 3 \cdot M^K}{30}, \quad (3.4)$$

де M^H , M^L і M^K – середній умовний бал частоти зустрічаємості й ступеню покриття накипних, листуватих і рунистих лишайників, відповідно.

За даним показником згідно шкали, наведеної в табл. 6, роблять висновки щодо ступеня забруднення атмосферного повітря.

Таблиця 6 – Шкала оцінки забруднення атмосферного повітря за результатами ліхеноіндикації

Показник відносної чистоти атмосфери Q	Оцінка забруднення
0,0-0,20	сильне («лишайникова пустеля»)
0,21-0,40	досить сильне
0,41-0,60	середнє
0,61-0,80	незначне
0,81-1,0	забруднення відсутнє

Приклад розрахунку

При дослідженні території парку ім. Т. Шевченка м. Дніпро методами ліхеноіндикації були отримані наступні результати (табл. 7).

Таблиця 7 – Результати ліхеноіндикації парку ім. Т. Шевченка м. Дніпро

Ознака	Дерева										Всього
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Кількість накипних лишайників	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	12
Кількість листуватих лишайників	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	7
Кількість рунистих лишайників	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	50	90	60	60	50	40	80	60	70	620
Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	20	30	30	0	40	30	40	20	0	0	210
Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	15

За формулою 3.1 підраховують частоту зустрічаємості кожного виду лишайників.

Частота зустрічаємості накипних лишайників:

$$A^H = \frac{m^H}{n} \cdot 100\% = \frac{12}{10} \cdot 100 = 120,0\%$$

Частота зустрічаємості листуватих лишайників:

$$A^L = \frac{m^L}{n} \cdot 100\% = \frac{7}{10} \cdot 100 = 70,0\%$$

Частота зустрічаємості рунистих лишайників:

$$A^K = \frac{m^K}{n} \cdot 100\% = \frac{2}{10} \cdot 100 = 20,0\%$$

За формулою 3.2 визначають середній ступінь покриття площі рамки лишайниками кожного виду.

Ступінь покриття накипних лишайників:

$$S^H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = \frac{1}{10} \cdot 620 = 62,0\%$$

Ступінь покриття листуватих лишайників:

$$S^L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = \frac{1}{10} \cdot 210 = 21,0\%$$

Ступінь покриття рунистих лишайників:

$$S^K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = \frac{1}{10} \cdot 15 = 1,5\%$$

За шкалою оцінки, наведеною в табл. 5, отриманим значенням частоти зустрічальності лишайників певного виду $A^{виду}$ та ступеню їхнього покриття $S^{виду}$ привласнюють умовний бал оцінки $a^{виду}$ та $s^{виду}$:

$A^H=120,0\%$	→	$a^H=5$	(дуже часто)
$A^L=70,0\%$	→	$a^L=5$	(дуже часто)
$A^K=20,0\%$	→	$a^K=2$	(рідко)
$S^H=62,0\%$	→	$s^H=5$	(дуже висока)
$S^L=21,0\%$	→	$s^L=3$	(середня)
$S^K=1,5\%$	→	$s^K=1$	(дуже низька)

Для кожного виду лишайників обчислюють середній умовний бал частоти зустрічальності й ступеню покриття за формулою 3.3.

Середній умовний бал для накипних лишайників:

$$M^H = \frac{a_i^{виду} + S_i^{виду}}{2} = \frac{5+5}{2} = 5.$$

Середній умовний бал для листоватих лишайників:

$$M^L = \frac{a_i^{виду} + S_i^{виду}}{2} = \frac{5+3}{2} = 4.$$

Середній умовний бал для рунистих лишайників:

$$M^K = \frac{a_i^{виду} + S_i^{виду}}{2} = \frac{2+1}{2} = 1,5.$$

Після цього за формулою 3.4 визначають показник відносної чистоти атмосфери:

$$Q = \frac{M^H + 2 \cdot M^L + 3 \cdot M^K}{30} = \frac{5 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 1,5}{30} = 0,58.$$

Висновки: Згідно оціночної шкали (табл. 6) визначаємо, що атмосферне повітря на досліджуваній території парку ім. Т. Шевченка має **середній рівень** забруднення.

Контрольне завдання

Виконати оцінку забруднення атмосферного повітря за результатами дослідження території методом ліхеноіндикації. Варіанти вихідних даних наведені в додатку 2.

Звіт з практичної роботи повинен бути оформлений відповідно з наведеним вище прикладом розрахунку.

Контрольні запитання

1. Що являють собою лишайники?
2. Будова міко- і фікобіонта.
3. Види лишайників. Їхні морфологічні особливості.
4. Переваги лишайників як біоіндикаторів якості атмосферного повітря.
5. Суть методу ліхеноіндикації.
6. Принцип обробки експериментальних даних.

ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ТЕСТОМ «СТЕРИЛЬНІСТЬ ПИЛКУ РОСЛИН»

Мета роботи: навчитися визначати токсичність атмосферного повітря за допомогою рослин-індикаторів за тестом «Стерильність пилку рослин».

Стерильність – нездатність або знижена здатність організму продукувати нормальні гамети. Відомо, що *стерильні* (нежиттєздатні) пилкові клітини або новоутворення в пилку індукуються хімічними і фізичними забруднювачами атмосфери. Результатом дії забруднювачів навколишнього середовища є зміна *фертильності* пилку (від лат. *фертиліс* – родючий), що несприятливо позначається на життєздатності всієї фітопопуляції. На рис. 10 та 11 зображені фертильні та стерильні клітини пилку індикаторних рослин.

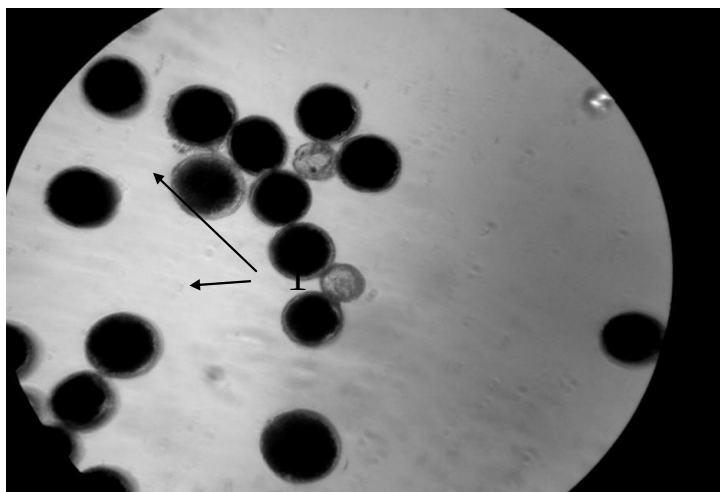


Рис. 10. - Клітини пилку Лапчатки прямостоячої (*Potentilla anserine* L.)
1 – стерильні клітини (світлого кольору), усі інші клітини пилку є фертильними

Опис методу. Метод визначення рівнів токсичності атмосферного повітря ґрунтується на встановленні різниці між рівнем стерильності пилку рослин індикаторів, що ростуть на досліджуваній території, та аналогічним показником в екологічно чистих умовах (контроль).

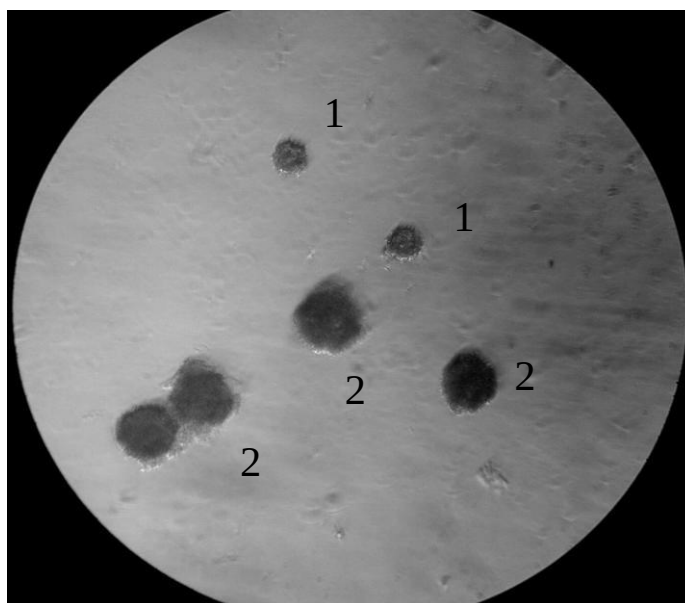


Рис. 11. - Клітини пилку Кульбаби лікарської (*Taraxacum officinalis* Webb.),
1 – стерильні клітини пилку, 2 – фертильні клітини пилку.

Для визначення загальної токсичності (або потенційної мутагенності) повітряного басейну застосовується тест «Стерильність пилку рослин». В якості індикаторів рекомендується застосовувати види рослин, приведені в табл. 8. Відбір проб пилку проводять згідно методики, представленої у практичній роботі № 1.

Встановлено, що фертильні і стерильні клітини пилку рослин відрізняються за вмістом крохмалю. Нормальний його вміст відповідає стадії завершення формування спермій. Фертильні пилкові зерна цілком заповнені крохмалем, а стерильні – не містять його або мають його сліди.

Забарвлення препаратів проводять йодним розчином за Грамом, для приготування якого необхідно розчинити 2 г йодистого калію в 5 мл дистильованої води при нагріванні з наступним додаванням 1 г металевого йоду. Об'єм готового до використання розчину доводять до 300 мл і зберігають у темному посуді.

Фертильні пилкові зерна забарвлюються в охристо-коричневі кольори, а стерильні – зовсім не забарвлюються, або фрагментарно (на 20–30%) набувають слабого, майже прозорого жовтого тону.

Зрілі бутони квіток мішаної проби після фіксації у 70%-му етанолі (або без нього) препарують на предметному склі. Тичинки відокремлюють від усіх елементів квітки за допомогою пінцету і препарувальної голки та переносяться у краплю йодного розчину. Пильовики дрібних квітів розкривають препарувальною голкою на предметному склі в краплі йодного розчину, видаляють зайві тканини і накривають покривним склом. При необхідності додають ще 1–2 краплі йодного розчину. Через 2–3 хвилини готовий препарат аналізують під мікроскопом.

У кожному препараті під мікроскопом зі збільшенням 7х20 чи 7х40 переглядають від 1000 до 3000 пилкових зерен. Серед них підраховують стерильні і фертильні клітини із застосуванням лічильника.

Стерильність пилкових зерен визначають у відсотках за формулою:

$$M = \frac{G}{N} \cdot 100, \quad (4.1)$$

де G – кількість стерильних пилкових зерен; N – кількість досліджених пилкових зерен.

Потім знаходять помилку розрахунку за виразом:

$$m = \pm \sqrt{\frac{M \cdot (100 - M)}{N}}, \% \quad (4.2)$$

При цьому повинна виконуватися умова $3m < M$. У противному разі необхідно збільшувати кількість спостережень, щоб зменшити помилку.

Для оцінки стану атмосферного повітря за рівнем стерильності пилку рослин використовують умовний показник ушкодженості:

$$VPI_i = \frac{|P_{\text{реал}} - P_{\text{комф}}|}{|P_{\text{крит}} - P_{\text{комф}}|}, \quad (4.3)$$

де $P_{\text{комф}}$ і $P_{\text{крит}}$ – значення стерильності пилку рослин в комфортних та критичних умовах, відповідно; $P_{\text{реал}}$ – значення стерильності пилку рослин на досліджуваній території (M , %); i – номер проби (варіанту).

Оскільки індикаторні види рослин характеризуються різними рівнями спонтанної стерильності пилку, яка спостерігається в екологічно чистих комфортних умовах ($P_{\text{комф}}$), і різними рівнями ушкодження гамет в критичних умовах ($P_{\text{крит}}$), була проведена класифікація індикаторів за п'ятьма класами:

- 1 – високостійкі;
- 2 – стійкі;
- 3 – середньої стійкості;
- 4 – чутливі;
- 5 – високочутливі.

Характеристика цих класів необхідна для визначення умовних показників ушкодженості клітин пилку або індикаторних рослин за цитогенетичним статусом і подальшої інтегральної оцінки стану навколишнього середовища (табл. 8).

Таблиця 8 – Класифікація індикаторів за стійкістю пилку до дії несприятливих екологічних факторів

Біоіндикатор		Група стійкості
<i>Tilia platyphyllos</i> Soop.	Липа широколиста	1
<i>Prunus spinosa</i> L.	Слива колюча	1
<i>Calendula officinalis</i> L.	Календула лікарська	1
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Берізка польова	1
<i>Betula pendula</i> Roth.	Береза повисла	2
<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	Суріпиця звичайна	2
<i>Chelidonium majus</i> L.	Чистотіл великий	2
<i>Cichorium intibus</i> L.	Цикорій звичайний	2
<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	Абрикос звичайний	3
<i>Castanea vulgaris</i> Lam.	Каштан кінський	3
<i>Berberoa incana</i> L.	Гикавка сіра	3
<i>Sambucus nigra</i> L.	Бузина чорна	3
<i>Trifolium repens</i> L.	Конюшина повзуча	4
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	Вишня звичайна	4
<i>Rosa ucrainica</i> Chrshan.	Шипшина українська	4
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Акація біла	4
<i>Percica vulgaris</i> Mill.	Персик звичайний	5
<i>Polygonum fagopyrum</i> moench L.	Гречка їстівна	5
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Паслін бульбистий	5
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Ясень звичайний	5

В залежності від групи чутливості біоіндикаторів, встановлюються наступні рівні стерильності пилку на екологічно чистих ($P_{комф.}$) та максимально забруднених ($P_{крит.}$) територіях (табл. 9).

Таблиця 9 – Нормативні значення цитогенетичних показників біоіндикаторів

№ групи	Групи стійкості (чутливості)	Стерильність пилку, %	
		$P_{комф}$	$P_{крит}$
1	Високо стійкі	0,2	10,0
2	Стійкі	0,5	20,0
3	Середні	1,0	30,0
4	Чутливі	1,5	40,0
5	Високочутливі	2,0	50,0

Інтегральний показник, що характеризує рівень токсичності атмосферного повітря на досліджуваній ділянці, обчислюється за формулою:

$$IУПУ_i = \frac{1}{n} \cdot (УПУ_1 + УПУ_2 + \dots + УПУ_n) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n УПУ_i \quad (4.4)$$

де $УПУ_1, УПУ_2, \dots УПУ_n$ – умовні показники ушкодженості рослиніндикаторів на досліджуваній ділянці, n – кількість проаналізованих рослиніндикаторів на досліджуваній ділянці.

Середній інтегральний умовний показник ушкодженості біоіндикаторів на досліджуваній території обчислюють за формулою:

$$IУПУ_{заг} = \frac{1}{m} \cdot (IУПУ_1 + IУПУ_2 + \dots + IУПУ_n) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m IУПП_i, \quad (4.5)$$

де $IУПУ_1, IУПУ_2, \dots IУПУ_n$ – інтегральні показники ушкодженості рослин-індикаторів на досліджуваних ділянці, m – кількість досліджених ділянок.

Значення умовних показників ушкодженості ($УПУ$ та $IУПУ$) змінюються в межах від 0 (комфортні для життєдіяльності умови) до 1 (критичні умови). Для оцінки рівня ушкодженості біоіндикаторів, стану біоіндикаторів та екологічної ситуації використовують єдину уніфіковану шкала (табл. 10).

Таблиця 10 – Шкала оцінки екологічної ситуації та рівнів ушкодженості біоіндикаторів

Діапазон чисельних значень $УПУ$	Рівень ушкодженості біоіндикаторів	Стан біоіндикаторів	Екологічна ситуація
0,000 ÷ 0,150	Низький	Сприятливий	Еталонна
0,151 ÷ 0,300	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
0,301 ÷ 0,450	Середній	Конфліктний	Незадовільна
0,451 ÷ 0,600	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
0,601 ÷ 0,750	Високий	Критичний	Катастрофічна
0,751 і вище	Максимальний	Небезпечний	Катастрофічна

Приклад розрахунку

В результаті дослідження стерильності пилкових зерен рослин-індикаторів, які ростуть на території промислової зони підприємства, а також на відстані 500 та 1500 м від нього, були отримані наступні результати (табл. 11).

Таблиця 11 – Результати дослідження рівня стерильності пилку рослин індикаторів

Місце відбору зразків	Біоіндикатор	Кількість клітин	
		досліджених	стерильних
Промислова зона підприємства	Липа широколиста	3000	188
	Суріпиця звичайна	1500	175
	Бузина чорна	1200	235
	Акація біла	1000	262
	Ясень звичайний	2000	567
500 м від підприємства	Слива колюча	2000	102
	Береза повисла	2100	224
	Гикавка сіра	1550	268
	Шипшина українська	1000	201
	Паслін бульбастий	1000	275
1500 м від підприємства	Берізка польова	2500	68
	Цикорій звичайний	1100	51
	Абрикос звичайний	2300	215

	Конюшина повзуча	1500	147
	Персик звичайний	1600	178

Для оцінки стану атмосферного повітря на території промислової зони підприємства визначаємо рівень стерильності пилку липи широколистої за формулою 4.1:

$$M^1 = \frac{G^1}{N^1} \cdot 100 = \frac{188}{3000} \cdot 100 = 6,27\%$$

Після цього обчислюємо помилку за формулою 4.2:

$$m^1 = \pm \sqrt{\frac{M^1 \cdot (100 - M^1)}{N^1}} = \pm \sqrt{\frac{6,27 \cdot (100 - 6,27)}{3000}} = 0,44 \%$$

$3 \cdot m^1 = 3 \cdot 0,44 = 1,33 < 6,27$; тобто кількість досліджених пилових зерен достатня.

Для суріпиці звичайної отримаємо:

$$M^2 = \frac{G^2}{N^2} \cdot 100 = \frac{175}{1500} \cdot 100 = 11,67\%$$

$$m^2 = \pm \sqrt{\frac{M^2 \cdot (100 - M^2)}{N^2}} = \pm \sqrt{\frac{11,67 \cdot (100 - 11,67)}{1500}} = 0,83$$

$3 \cdot m^2 = 3 \cdot 0,83 = 2,49 < 11,67$.

Аналогічно визначаємо рівень стерильності пилку для усіх інших індикаторних рослин. Результати розрахунків заносимо в табл. 12.

Таблиця 12 – Стерильність пилку рослин-індикаторів

Місце відбору зразків	Біоіндикатор	Стерильність пилку, $M \pm m$, %
Промислова зона підприємства	Липа широколиста	6,27±0,44
	Суріпиця звичайна	11,67±0,83
	Бузина чорна	19,58±1,15
	Акація біла	26,20±1,39
	Ясень звичайний	28,35±1,01
500 м від підприємства	Слива колюча	5,10±0,49
	Береза повисла	10,67±0,67
	Гикавка сіра	17,29±0,96
	Шипшина українська	20,10±1,27
	Паслін бульбистий	27,50±1,41
1500 м від підприємства	Берізка польова	2,72±0,33
	Цикорій звичайний	4,64±0,63
	Абрикос звичайний	9,35±0,61
	Конюшина повзуча	9,80±0,77
	Персик звичайний	11,13±0,79

Далі переходимо до оцінки якості повітря за умовними показниками ушкодженості.

Для оцінки стану атмосферного повітря на території промислової зони підприємства визначаємо $УПУ_1$ липи широколистої за формулою 4.3. Згідно табл. 8 та 9 липа широколиста відноситься до першої групи чутливості (високо стійкі) та має значення стерильності пилку в комфортних умовах $П_{комф.} = 0,2\%$, а в критичних умовах $П_{крит} = 10\%$. Таким чином, маємо:

$$УПУ_1 = \frac{|П_{реал.1} - П_{комф.1}|}{|П_{крит1} - П_{комф.1}|} = \frac{|6,27 - 0,2|}{|10 - 0,2|} = 0,619$$

Суріпиця звичайна відноситься до другої групи чутливості (стійкі), значення стерильності пилку в комфортних умовах дорівнює $П_{комф.} = 0,5\%$, в критичних умовах $П_{крит} = 20\%$. Звідси:

$$УПУ_2 = \frac{|П_{реал.2} - П_{комф.2}|}{|П_{крит2} - П_{комф.2}|} = \frac{|11,67 - 0,5|}{|20 - 0,5|} = 0,573$$

Аналогічним чином обчислюємо умовні показники ушкодженості для інших біоіндикаторів.

Далі визначаємо інтегральний показник, що характеризує стан атмосферного повітря на території промислової зони за формулою 4.4:

$$\begin{aligned} ІУПУ_1 &= \frac{1}{5} \cdot (УПУ_1 + УПУ_2 + УПУ_3 + УПУ_4 + УПУ_5) = \\ &= \frac{1}{5} \cdot (0,619 + 0,573 + 0,641 + 0,642 + 0,549) = 0,605 \end{aligned}$$

Аналогічно визначаємо ІУПУ для територій, що знаходяться на відстані 500 м і 1500 м від підприємства, та заносимо результати в табл. 13.

Таблиця 13 – Результати розрахунків умовних показників ушкодженості біоіндикаторів

Місце відбору зразків	Біоіндикатор	УПУ	ІУПУ
Промислова зона підприємства	Липа широколиста	0,619	0,605
	Суріпиця звичайна	0,573	
	Бузина чорна	0,641	
	Акація біла	0,642	
	Ясень звичайний	0,549	
500 м від підприємства	Слива колюча	0,500	0,519
	Береза повисла	0,521	
	Гикавка сіра	0,562	
	Шипшина українська	0,483	
	Паслін бульбистий	0,531	
1500 м від підприємства	Берізка польова	0,257	0,233
	Цикорій звичайний	0,212	
	Абрикос звичайний	0,288	
	Конюшина повзуча	0,216	
	Персик звичайний	0,190	
Середнє на досліджуваній території			0,452

Потім обчислюємо середній інтегральний умовний показник ушкодженості біоіндикаторів на досліджуваній території за формулою 4.5:

$$IPIU_{\text{заг}} = \frac{1}{3} \cdot (0,605 + 0,519 + 0,233) = 0,452$$

Після цього, за допомогою оціночної шкали (табл. 10) визначаємо стан атмосферного повітря на території промислової зони підприємства і на різних відстанях від нього та заносимо результати у табл. 14.

Таблиця 14 – Інтегральна оцінка загальної токсичності атмосферного повітря на території підприємства та на різних відстанях від нього

Місце відбору зразків	Рівень ушкодженості біоіндикаторів	Стан біоіндикаторів	Екологічна ситуація
Промислова зона підприємства	Високий	Критичний	Катастрофічна
500 м від підприємства	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
1500 м від підприємства	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
Досліджувана територія	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна

Висновки:

1. Аналіз даних табл. 12 вказує на те, що стерильність пилку індикаторних рослин на досліджуваній території змінюється в значних інтервалах. Найбільші значення стерильності пилку від 6,27 до 28,35%, спостерігаються на території промислової зони підприємства, найнижчі – на території, яка знаходиться на відстані 1500 м від підприємства (змінюються від 2,72 до 11,13%).

2. Числові значення умовних показників ушкодженості клітин пилку рослин-індикаторів на досліджуваній території змінюються від 0,190 до 0,642 у.о., що вказує на зміну стану біоіндикаторів від «насторожуючого» до «критичного». На території промислової зони підприємства практично всі біоіндикатори мають «загрозливий» та «критичний» стан, а на відстані 500 м від підприємства біоіндикатори знаходяться у «загрозливому» стані. Стан рослин, що ростуть на відстані 1500 м від підприємства, оцінений як «насторожуючий» та «конфліктний».

3. Аналіз інтегральних показників ушкодженості біоіндикаторів виявив: – «критичний» стан біоіндикаторів на території промислової зони;

– «загрозливий» стан біоіндикаторів на відстані 500 м від підприємства;

– «насторожуючий» стан біоіндикаторів на відстані 1500 м від підприємства.

4. Екологічна ситуація на досліджуваній території за рівнем токсичності атмосферного повітря наступна: «катастрофічна» – промзона підприємства; «незадовільна» – відстань 500 м і «задовільна» – відстань 1500 м від нього.

5. Загальна екологічна ситуація на території, що зазнає впливу промислового підприємства, оцінена як «незадовільна» із «загрозливим» станом біоіндикаторів та рівнем їх ушкодженості «вище середнього».

Таким чином, промислове підприємство негативно впливає на стан атмосферного повітря на території промислової зони підприємства та на відстані 500 м від нього.

Контрольне завдання

Оцінити токсичність атмосферного повітря в зоні впливу промислового підприємства за результатами тесту «Стерильність пилку рослин». Вихідні дані наведені в додатку 3.

Контрольні запитання

1. Сутність тесту «Стерильність пилку рослин».
2. Чим відрізняються стерильні клітини пилку рослин від фертильних?
3. Яким методом визначають фертильність пилку рослин?
4. Принцип обробки експериментальних даних.
5. Як і для чого обчислюються умовні показники ушкодження біоіндикаторів?
6. Групи стійкості рослин до дії несприятливих екологічних факторів.

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ЗА ТЕСТАМИ «АБЕРАНТНІСТЬ ХРОМОСОМ» ТА «ВЕЛИЧИНА МІТОТИЧНОГО ІНДЕКСУ»

Мета роботи: навчитися оцінювати якість ґрунтів за допомогою тестів «Аберантність хромосом» та «Величина мітотичного індексу» в меристематичних клітинах індикаторних рослин.

Токсичність — це отрутність, здатність деяких хімічних елементів та сполук, а також речовин біогенної природи, чинити негативний вплив на організм людини, тварин, рослин, грибів і мікроорганізмів. Такі речовини називають токсикантами. *Мутагенність* — це здатність викликати мутації, тобто спадкові зміни структури молекул ДНК, що змінюють морфологічні та (або) фізіологічні (і навіть поведінкові для тварин) ознаки організмів. Якщо під впливом деяких речовин у живих організмів виникають мутації — це мутагени.

Меристема (від грец. *meristos* — ділений) — це утворювальна тканина рослин, що довго зберігає здатність до ділення та виникнення нових клітин, а також відрізняється високою метаболічною активністю. Відомо, що меристематичні клітини, які активно поділяються, дуже вразливі до дії будь-яких негативних факторів. Якщо в ґрунті та воді присутні токсиканти, інтенсивність клітинного поділу в меристемах індикатора пригнічується. Тобто, зниження величини мітотичного індексу в клітинах рослини свідчить про *токсичність* ґрунту або води.

Якщо в досліджуваних зразках присутні мутагени, у меристематичних клітинах фітоіндикаторів виникають *хромосомні аберації* (від лат. *aberratio* — відхилення) — патологічні, аномальні фігури мітозу. Це кільця і фрагменти в метафазах, мости і фрагменти в анафазах і телофазах, а також злипання і пульверизація хромосом у метафазі, що представлені на рисунках 12–15.

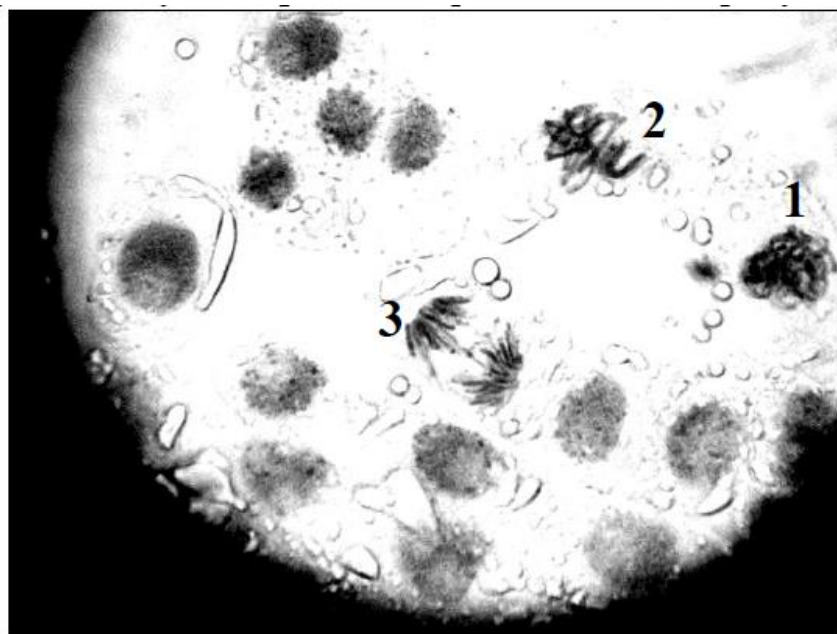


Рис. 12. — Клітини кореневої меристеми *Allium cepa* L.:
1 — нормальна профаза, 2 — нормальна метафаза, 3 — нормальна анафаза; усі інші клітини знаходяться в інтерфазі

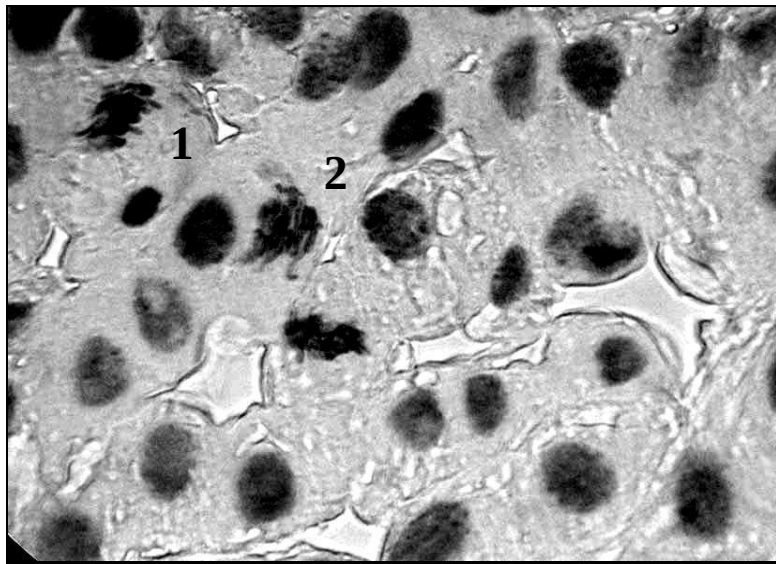


Рис. 13. - Клітини кореневої меристеми *Allium cepa* L.: 1, 2, 3 – злипання хромосом у метафазі; усі інші клітини знаходяться в інтерфазі

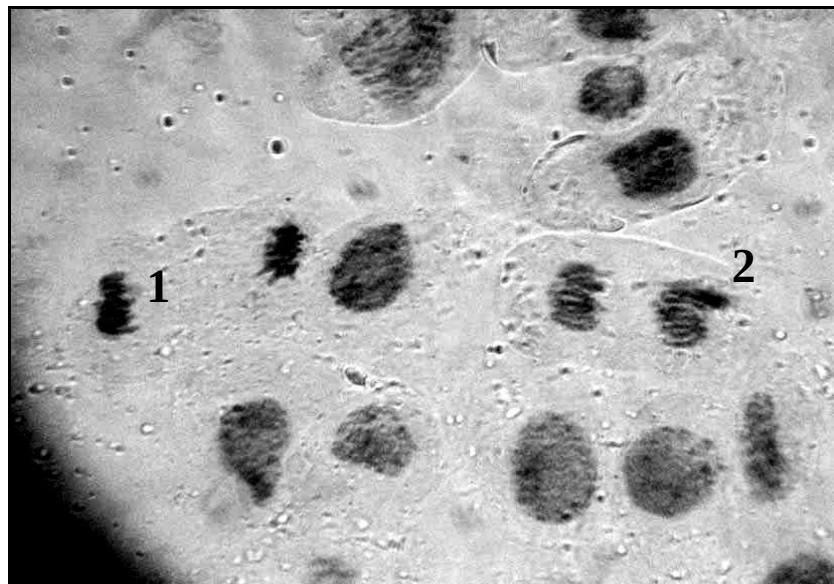


Рис 14. – Клітини кореневої меристеми *Allium cepa* L.: 1 – нормальна телофаза; 2 – фрагмент у телофазі; усі інші клітини знаходяться в інтерфазі

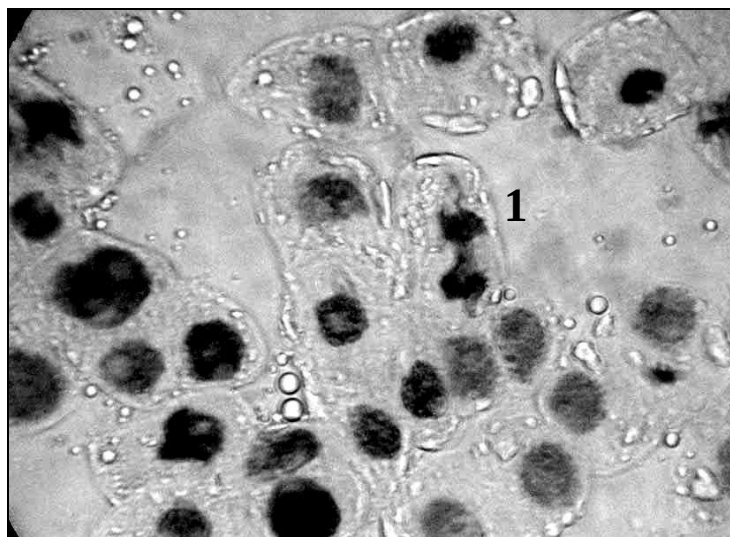


Рис. 15. – Клітини кореневої меристеми *Allium cepa* L.: 1 – міст у телофазі; усі інші клітини знаходяться в інтерфазі

Між величиною мітотичного індексу і частотою зустрічаємості хромосомних аберацій існує сильний зворотно пропорційний зв'язок. Тобто, якщо мітотичний індекс знижується, кількість клітин з хромосомними патологіями зростає, і навпаки. Тому низький мітотичний індекс, водночас із високим рівнем зустрічаємості хромосомних аберацій, свідчить про токсикомутагенну активність ґрунту чи води.

Під мутагенним фоном розуміється сукупність фізичних, хімічних і біологічних мутагенних факторів природного чи антропогенного походження, від спільного впливу яких залежить рівень мутаційної мінливості організмів на даній території.

Токсико-мутагенний фон визначають за загально-токсичними і мутагенними проявами у клітинах біоіндикаторів, що виникають під впливом шкідливих факторів, присутніх в навколишньому середовищі.

Для біоіндикації токсикантів та мутагенів в ґрунтах чи водних джерелах найбільш широко застосовується цитогенетичний аналіз клітин таких тестоб'єктів, як сільськогосподарські рослини – *Allium cepa* L. (цибуля звичайна), *Pisum sativum* (горох), *Vicia faba* (боби), *Sinapis alba* (гірчиця біла), *Triticum sativum* (пшениця) та ін.

Класичним об'єктом для вивчення цитогенетичного впливу фізичних, хімічних та інших факторів навколишнього середовища є меристематичні клітини первинних корінців цибулі звичайної – *Allium cepa* L.

Опис методу. Для визначення токсико-мутагенної активності зразків різних субстратів (води, мулу, суспендованих у воді зразків ґрунту та ін.), на них проводять пророщування насіння цибулі на фільтрувальному папері в чашках Петрі при температурі 25 °С.

При оцінці якості проб ґрунтів в чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, на який насилають 1 грам висушеного та подрібненого ґрунту і рівномірно розподіляють по чашці. Потім ґрунт зволожують 5 мл дистильованої води і на нього висаджують по 50 насінин індикаторної рослини.

При оцінці якості водних зразків в чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, зволожують його 5 мл проби водного зразка і також висаджують по 50 насінин. Через кожні шість годин проводять провітрювання, відкривши на кілька хвилин чашки. Дослід триває 72 години. В якості контролю використовується дистильована вода.

При появі первинних корінців довжиною 7-9 мм, їх фіксують в ацетоалкоголі протягом 1 години, а потім переносяться у етанол 70% концентрації для зберігання.

Фіксатор готують шляхом змішування 96% етилового спирту і крижаної оцтової кислоти у співвідношенні 3:1 безпосередньо перед фіксацією біоб'єктів.

Фарбування корінців проводять реактивом Шиффа за Фельгеном з попереднім гідролізом у 0,1 н соляній кислоті при температурі 60°C. Після фарбування біопроби промивають у трьох порціях сірчаних вод і закріплюють фарбування під проточною водою. Пофарбовані корінці зберігають у 70% етиловому спирті.

Цитологічні препарати готують із 1 мм кінчиків корінців (меристем), поміщених у краплю 45%-ної оцтової кислоти. Препарат накривають накривним склом для отримання моношару клітин. Краї покривного скла заливають розплавленим парафіном. Препарат готовий до мікроскопічних досліджень. Приготовлений таким чином препарат використовують для мікроскопічного аналізу на мікроскопі («Біолам» Р-14) зі збільшенням 15х60.

На цитологічних препаратах враховують усі фігури мітозу: профазу, метафазу, анафазу, телофазу, що зустрічаються серед 5-6 тис. переглянутих меристематичних клітин.

Величину мітотичного індексу визначають як відношення кількості клітин, що діляться, до загальної кількості переглянутих клітин, та виражають у промілях:

$$MI = \frac{m}{n} \cdot 1000, \quad \% \quad (5.1)$$

де n – кількість досліджуваних клітин; m – кількість клітин, що діляться. Абсолютний розкид визначається за формулою

$$\text{Абсолютний розкид} = MI \cdot A, \% \quad (5.2)$$

де A – відносна помилка, яка визначається за формулою

$$A = 1,385 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (n - m)}{n \cdot m}}, \quad (5.3)$$

де 1,385 – коефіцієнт при вимірах більше 100.

Зниження мітотичного індексу, в порівнянні з контролем, вважається результатом загально-токсичної дії забруднювачів ґрунтів. На цих же препаратах враховуються клітини з аберантними (патологічними) хромосомами:

Загальну аберантність хромосом визначають у відсотках за формулою 5.4.

$$\text{Абер.хром.} = \frac{G}{m} \cdot 100, \% \quad (5.4)$$

де G – кількість аберантних клітин; m – кількість клітин, що діляться. Абсолютний розкид визначається, виходячи з величини відносної помилки, яку обчислюють за формулою:

$$\text{Абс.розкид} = \sqrt{\frac{\text{Абер.хром.} \cdot (100 - \text{Абер.хром.})}{m}}, \% \quad (5.5)$$

По зростанню кількості патологічних фігур мітозу, в порівнянні з контролем, судять про збільшення мутагенності ґрунтів.

Таким чином, якість ґрунтів за токсико-мутагенним фоном може бути оцінена за частотою зустрічальності меристематичних клітин з хромосомними аберациями та рівнем їх мітотичної активності. Але ці показники мають різні одиниці виміру (% та ‰). Тому для інтегральної оцінки якості ґрунтів їх необхідно привести до єдиної безрозмірної форми умовних показників ушкодженості:

$$УПУ^i = \frac{|P_{\text{реал}} - P_{\text{комф.}}|}{|P_{\text{крит.}} - P_{\text{комф.}}|}, \quad (5.6)$$

де $УПУ^i$ – умовний показник ушкодженості біопараметру; $P_{\text{комф.}}$ і $P_{\text{крит.}}$ – значення біопараметру в комфортних та критичних умовах, відповідно; $P_{\text{реал.}}$ – реальне значення біопараметра; i – номер проби (варіанта).

Інтегральний показник, що характеризує стан ґрунтів за загальним токсико-мутагенним фоном, обчислюється за формулою:

$$ІУПУ^i = \frac{1}{2} (УПУ_{\text{токс}}^i + УПУ_{\text{мутаг}}^i), \quad (5.7)$$

де $УПУ_{\text{токс}}^i$ – умовний показник ушкодженості біопараметра, спричинений токсичною дією ґрунту; $УПУ_{\text{мутаг}}^i$ – умовний показник ушкодженості біопараметру, спричинений мутагенною дією ґрунту.

Середній інтегральний умовний показник ушкодженості, спричинений токсичною та мутагенною дією ґрунту, обчислюється за формулами

$$ІУПУ_{\text{токс}} = \frac{1}{n} (УПУ_{\text{токс}}^1 + УПУ_{\text{токс}}^2 + \dots + УПУ_{\text{токс}}^n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n УПУ_{\text{токс}}^i, \quad (5.8)$$

$$ІУПУ_{\text{мутаг}} = \frac{1}{n} (УПУ_{\text{мутаг}}^1 + УПУ_{\text{мутаг}}^2 + \dots + УПУ_{\text{мутаг}}^n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n УПУ_{\text{мутаг}}^i, \quad (5.9)$$

де n – кількість проб (варіантів).

Середній інтегральний умовний показник ушкодженості біосистем досліджуваної території обчислюється за формулою:

$$ІУПУ = \frac{1}{n} (ІУПУ^1 + ІУПУ^2 + \dots + ІУПУ^n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ІУПУ^i. \quad (5.10)$$

Значення умовних показників ушкодженості ($УПУ$ та $ІУПУ$) змінюються в межах від 0,000 (комфортні для життєдіяльності умови) до 1,000 (критичні умови). За нормативні

значення показників ушкодженості, які задовольняють умовам стійкого розвитку території, приймають 30% від їх комфортних значень (тобто 0,300 – нормативне значення показників ушкодження).

Для оцінки рівня ушкодженості біосистем, стану біосистем та екологічної ситуації використовується єдина уніфікована шкала (табл. 15).

Таблиця 15 – Шкала оцінки екологічної ситуації

Діапазон числових значень УПУ	Рівень ушкодженості біосистем	Стан біосистем	Оцінка екологічної ситуації
0,000 ÷ 0,150	Низький	Сприятливий	Еталонна
0,151 ÷ 0,300	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
0,301 ÷ 0,450	Середній	Конфліктний	Незадовільна
0,451 ÷ 0,600	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
0,601 ÷ 0,750	Високий	Критичний	Катастрофічна
0,751 і вище	Максимальний	Небезпечний	Катастрофічна

Приклад розрахунку

Для збагачувальних фабрик, як підприємств третього класу небезпеки, встановлюється розмір санітарно-захисної зони 300 м. Для дослідження якості ґрунту на території, прилеглої до Орджонікідзевської збагачувальної фабрики, були відібрані проби на відстані 300 м від будівлі фабрики та на кордоні санітарно-захисної зони. Для більш детального аналізу проби відбиралися у восьми напрямках світу за правилом конверта. На зразках ґрунту пророщували насіння цибулі звичайної *Allium cepa L.* та отримали наступні результати (табл. 16).

Таблиця 16 – Результати тестів «Величина мітотичного індексу» та «Аберантність хромосом» в меристематичних клітинах *Allium cepa L.*

№ п/п	Місце відбору зразків	Кількість досліджених клітин	Кількість клітин, що діляться за фазами мітозу / з них аберантних			
			Профаза	Метафаза	Анафаза	Телофаза
1	Північ	6000	313	107/18	66/25	291/0
2	Північний схід	5600	352	125/25	64/15	164/1
3	Схід	4800	203	94/21	67/18	205/4
4	Південний схід	6000	304	69/35	52/14	254/6
5	Південь	6000	178	108/21	78/24	191/5
6	Південний захід	7800	304	127/55	40/23	188/1
7	Захід	8000	199	100/53	43/24	256/2
8	Північний захід	6000	138	37/21	21/20	119/4
9	Контроль (дистильована вода)	9600	470	256/15	232/10	388/2

Для першої проби (північ) за формулою 5.1 обчислюємо величину мітотичного індексу. Для цього вираховуємо m .

$$m = 313 + 107 + 66 + 291 = 777;$$

$$MI = \frac{m}{n} \cdot 1000 = \frac{777}{6000} \cdot 1000 = 129,50 \text{‰}.$$

За формулою 5.3 знаходимо відносну помилку А.

$$A = 1,385 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (n - m)}{n \cdot m}} = 1,385 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (6000 - 777)}{6000 \cdot 777}} = 0,066.$$

За формулою 5.2 визначаємо абсолютний розкид.

$$Абс.розкид = MI \times A = 129,50 \times 0,066 = 8,49 \text{‰}.$$

За формулою 5.4 визначаємо загальну аберантність хромосом, для чого вираховуємо

G.

$$G = 18 + 25 + 0 = 43;$$

$$Абер.хром. = \frac{G}{m} \cdot 100 = \frac{43}{777} \cdot 100 = 5,53\%.$$

За формулою 5.2 розраховуємо абсолютний розкид для аберантності.

$$Абс.розкид = \sqrt{\frac{Абер.хром. \cdot (100 - Абер.хром.)}{m}} = \sqrt{\frac{5,53 \cdot (100 - 5,53)}{777}} = 0,82 \text{‰}.$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для всіх наступних варіантів, враховуючи контроль.

Для контролю маємо:

$$m = 470 + 256 + 232 + 388 = 1346;$$

$$MI = \frac{m}{n} \cdot 1000 = \frac{1346}{9600} \cdot 1000 = 140,21 \text{‰};$$

$$A = 1,385 \sqrt{\frac{2 \cdot (n - m)}{n \cdot m}} = 1,385 \sqrt{\frac{2 \cdot (9600 - 1346)}{9600 \cdot 1346}} = 0,050.$$

$$Абс.розкид = MI \cdot A = 140,21 \cdot 0,050 = 6,94 \text{‰}$$

$$G = 15 + 10 + 2 = 27;$$

$$Абер.хром. = \frac{G}{m} \cdot 100 = \frac{27}{1346} \cdot 100 = 2,01\%.$$

$$Абс.розкид = \sqrt{\frac{Абер.хром. \cdot (100 - Абер.хром.)}{m}} = \sqrt{\frac{2,01 \cdot (100 - 2,01)}{1346}} = 0,38 \text{‰}.$$

Щоб визначити наскільки досліджені параметри відрізняються від контролю, значення мітотичного індексу та аберантності хромосом у контролі приймаємо за 100%, і визначаємо ці параметри пропорційно у відсотках від контролю. Для першого варіанту (північ):

$$MI(\%контр) = \frac{129,50 \cdot 100}{140,21} \approx 92\%;$$

$$Абер.хром.(\%контр) = \frac{5,53 \cdot 100}{2,01} \approx 276\%.$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для всіх наступних варіантів. Результати розрахунків заносимо у табл. 17.

Із табл. 17 бачимо, що мітотичний індекс знижений відносно контролю у всіх досліджуваних варіантах (у діапазоні від 8 до 63%). Тобто інтенсивність клітинного поділу в меристематичних клітинах цибулі звичайної, вирощеної на ґрунті санітарно-захисної зони Орджонікідзевської збагачувальної фабрики, набагато нижча, ніж в контролі.

Таблиця 17 – Результати тестів «Величина мітотичного індексу» та «Аберантність хромосом» у меристематичних клітинах *Allium cepa* L.

№ п/п	Місце відбору зразків	Загальний мітотичний індекс		Аберантні клітини	
		%	% від контролю	%	% від контролю
1	Північ	129,50±8,49	92	5,53±0,82	276
2	Північний схід	125,89±8,68	90	5,82±0,88	290
3	Схід	118,54±9,14	85	7,56±1,11	377
4	Південний схід	113,17±8,01	81	8,10±1,05	404
5	Південь	92,50±7,33	66	9,0±1,22	449
6	Південний захід	84,49±6,17	60	11,99±1,27	598
7	Захід	74,75±5,76	53	13,21±1,38	659
8	Північний захід	52,50±5,64	37	14,29±1,97	712
9	Контроль	140,21±6,94	100	2,01±0,38	100

Так, у варіанті з ґрунтом, відібраним у північно-західному напрямку, мітотичний індекс складає лише 37% від контролю; у західному напрямку – 53%, удвічі менше, ніж у контролі; у південно-західному напрямку – 60% і т.д. Це вказує на те, що ґрунт у цій зоні має токсичні властивості і негативно впливає на процеси клітинного поділу у меристемах біоіндикатора.

Частота зустрічаємості клітин з хромосомними абераціями в кілька разів перевищує контроль в усіх досліджуваних варіантах. Таким чином, аберантність в меристемах клітин *Allium cepa* L., вирощеної на ґрунтах санітарно-захисної зони Орджонікідзевської збагачувальної фабрики, значно вище, ніж в контролі. У варіанті з ґрунтом, відібраним у північно-західному напрямку, аберантність хромосом перевищує контроль у 7 разів, у західному напрямку – у 6 разів, у південно-західному – також у 6 разів і т.д. Це вказує на те, що ґрунт на межі СЗЗ має мутагенні властивості та викликає суттєві порушення у хромосомного апарату біоіндикатора.

Для інтегральної оцінки токсико-мутагенного фону ґрунтів досліджуваної території обчислюємо умовні показники ушкодженості за токсичністю та мутагенністю для кожного варіанту за формулою 5.6.

Для умовного показника ушкоджень, спричинених токсичною дією ґрунту $УПУ_{токс}$ значення біопараметру в комфортних умовах $П_{комф}$ дорівнює 140%. Тобто в оптимальних для біоіндикатора умовах величина мітотичного індексу складає 140%, а в критичних умовах значення цього біопараметра $П_{крит}$ майже втричі менше та становить 50%. $П_{реал}$ в цьому випадку – це реальна величина мітотичного індексу в першому досліджуваному варіанті (північ).

Таким чином, отримуємо:

$$УПУ^i = \frac{|129,5 - 140,0|}{|50,0 - 140,0|} = 0,117.$$

Для умовного показника ушкодженості, спричинених мутагенною дією ґрунту $УПУ_{мутаг}$ значення біопараметра в комфортних умовах $П_{комф}$ становить 2%. Тобто в сприятливих умовах у меристемах біоіндикатора зустрічається 2% клітин з хромосомними

абераціями. У критичних умовах значення цього біопараметра $P_{крит}$ дорівнює 20%, тобто вдесятеро більше. $P_{реал}$ у цьому випадку – це реальна частота зустрічаємості хромосомних аберацій у першому варіанті. Звідси:

$$УПП^1_{мутаг} = \frac{|P_{реал} - P_{комф}|}{|P_{крит} - P_{комф}|} = \frac{|5,53 - 2,0|}{|20,0 - 2,0|} = 0,196.$$

Інтегральний показник, що характеризує стан ґрунтів за загальним токсико-мутагенним фоном, обчислюємо за формулою 5.7.

$$ІУПУ^1 = \frac{1}{2}(0,117 + 0,196) = 0,157$$

Таким чином, скориставшись оціночною шкалою, встановлюємо, що на території, прилеглої до СЗЗ Орджонікідзевської збагачувальної фабрики з півночі, рівень ушкодження біосистем «нижче середнього», стан біосистем «насторожуючий», а загальна екологічна ситуація «задовільна».

Аналогічні розрахунки виконуємо для всіх наступних варіантів, після чого обчислюємо середнє $ІУПУ_{токс}$ та $ІУПУ_{мутаг}$ за формулами 5.8 та 5.9, а також інтегральний показник ушкодженості $ІУПУ$ для досліджуваної території за формулою 5.10:

$$ІУПУ_{токс} = \frac{1}{8}(0,117 + 0,157 + \dots + 0,972) = 0,457;$$

$$ІУПУ_{мутаг} = \frac{1}{8}(0,196 + 0,212 + \dots + 0,683) = 0,413;$$

$$ІУПУ = \frac{1}{8}(0,157 + 0,184 + \dots + 0,827) = 0,435.$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 18 та відображаємо на рис.16.

Таблиця 18 – Оцінка токсико-мутагенного фону території, що прилягає до санітарно-захисної зони Орджонікідзевської збагачувальної фабрики

Місце відбору зразків	$УПУ^i_{токс}$	$УПУ^i_{мутаг}$	$ІУПУ^i$	Рівень ушкодженості біосистем	Стан біосистем	Оцінка екологічної ситуації
Північ	0,117	0,196	0,157	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
Північний схід	0,157	0,212	0,184	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
Схід	0,238	0,309	0,274	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
Південний схід	0,298	0,339	0,319	Середній	Конфліктний	Незадовільна
Південь	0,528	0,389	0,459	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Південний захід	0,617	0,555	0,586	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Захід	0,725	0,623	0,674	Високий	Критичний	Катастрофічна
Північний захід	0,972	0,683	0,827	Максимальний	Небезпечний	Катастрофічна
Середнє	0,457	0,413	0,435	Середній	Конфліктний	Незадовільна
Контроль	0,002	0,000	0,001	Низький	Сприятливий	Еталонна

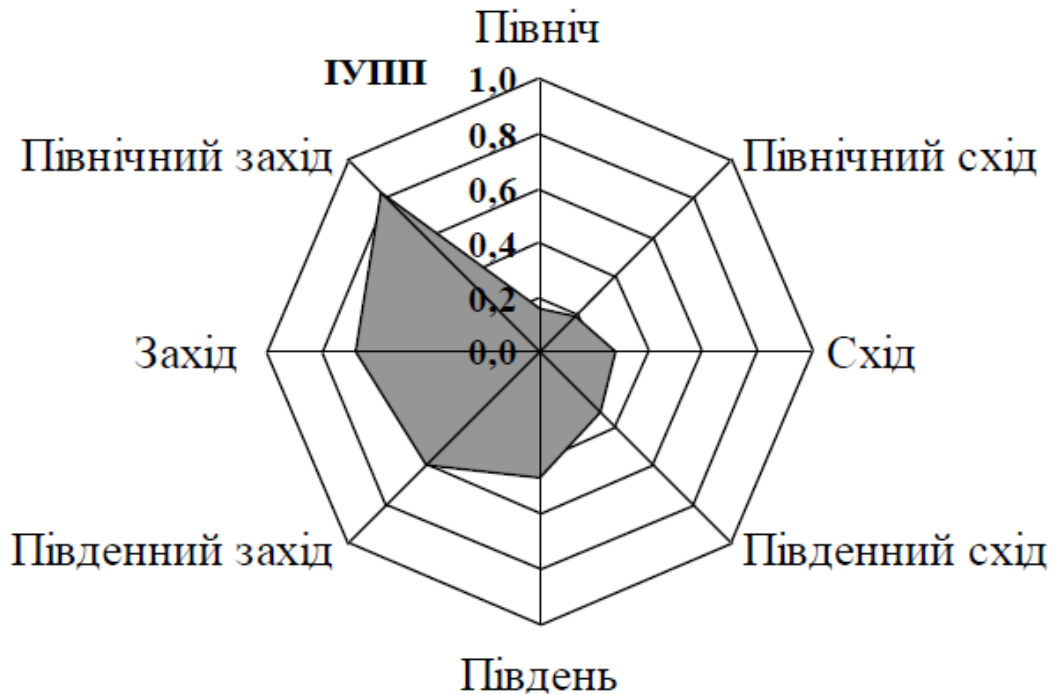


Рис. 16. Екологічний стан ґрунтів, відібраних на відстані 300 м від Орджонікідзевської збагачувальної фабрики, за їх токсико-мутагенним фоном

Висновки:

1. Значення умовних показники ушкодженості, що характеризують токсичність (табл. 18), свідчать про те, що у чотирьох напрямках світу (південь, південний захід, захід, північний захід) вони значно перевищують нормативне значення (УПУ=0,300). Найбільша токсичність спостерігається у північно-західному напрямку, де рівень ушкодженості біосистем «максимальний», їх стан «небезпечний», а екологічна ситуація за показником токсичності — «катастрофічна». Також «катастрофічна» екологічна ситуація відмічена на заході та південному заході, але рівень ушкодженості біосистем тут «високий» із «критичним» їх станом. У південному напрямку екологічний стан ґрунтів «незадовільний» із «загрозливим» станом біосистем. У північному напрямку відмічено низький рівень ушкодженості біосистем із «еталонним» станом ґрунтів. У всіх інших напрямках стан ґрунтів «задовільний» із «насторожуючим» станом біосистем і рівнем ушкодження «нижче середнього».

В цілому стан території санітарно-захисної зони збагачувальної фабрики за токсичністю оцінено як «незадовільний» із «загрозливим» станом біосистем та рівнем їх ушкодженості «вище середнього».

2. Результати оцінки мутагенності свідчать про те, що найбільші її прояви спостерігається у ґрунтах на західному та північно-західному напрямку. Тут екологічна ситуація «катастрофічна» із «високим» рівнем ушкодженості біоіндикаторів. Найменша мутагенність відмічена на північному та північно-східному напрямках, де екологічна ситуація «задовільна» із «насторожуючим» станом біосистем та рівнем ушкодженості «нижче середнього». У всіх інших напрямках екологічна ситуація «незадовільна» із «конфліктним» станом біосистем та «середнім» рівнем ушкодженості. Виключення складає південнозахідний напрям, де стан біосистем «загрозливий», а рівень ушкодженості «вище середнього». Стан території за мутагенною активністю «незадовільний» з «середнім» рівнем ушкодженості та «конфліктним» станом біосистем.

В цілому стан території санітарно-захисної зони збагачувальної фабрики за мутагенністю оцінено як «незадовільний» із «конфліктним» станом біосистем та «середнім» рівнем їх ушкодженості.

3. Аналіз інтегральних умовних показників ушкодженості (рис. 16), що характеризують загальну токсико-мутагенну активність ґрунтів, виявив «катастрофічну» екологічну ситуацію у північно-західному і західному напрямках. Причому, у північно-

західному напрямку рівень ушкодженості біосистем «максимальний» із «небезпечним» їх станом, а в західному напрямку - «високий» із «критичним» станом біосистем. «Незадовільна» екологічна ситуація із «загрозливим» станом біосистем та рівнем ушкодженості «вище середнього» відмічена на півдні і південному заході. На південному сході рівень ушкодженості біосистем «середній», екологічна ситуація «незадовільна». У всіх інших напрямках екологічна ситуація «задовільна», стан біосистем «насторожуючий», а рівень їх ушкодженості «нижче середнього». Слід відмітити, що в північному напрямку екологічна ситуація близька до «еталонної» (ІУПУ=0,157).

Загальний стан території, що прилягає до санітарно-захисної зони Орджонікідзевської збагачувальної фабрики за токсико-мутагенним фоном оцінено як «незадовільний» із «середнім» рівнем ушкодженості біосистем та «небезпечним» їх станом.

Контрольне завдання

Виконати оцінку якості ґрунтів, що прилягають до промислового об'єкта, за результатами тестів «Величина мітотичного індексу» та «Аберантність хромосом» у меристематичних клітинах *Allium cepa* L.. Вихідні дані приведені в додатку 4.

Контрольні запитання

1. Що таке токсичність?
2. Що таке мутагенність?
3. Що таке меристема?
4. Що таке хромосомні аберації? Наведіть приклади.
5. Що таке токсико-мутагенний фон?
6. У чому полягає сутність тестів «Величина мітотичного індексу» та «Аберантність хромосом» у меристематичних клітинах *Allium cepa* L.?
7. Про що свідчить зниження або збільшення величини мітотичного індексу, у порівнянні з контролем?
8. Про що свідчить зниження або збільшення частоти зустрічаємості хромосомних аберацій, у порівнянні з контролем?
9. Для чого обчислюється умовний показник ушкодженості УПУ?
10. Що характеризує середній інтегральний умовний показник ушкодженості ІУПУ?

**БІОТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ
РАЧКІВ ВИДУ *Daphnia magna* S.**

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 (серед них звичайні *Daphnia magna* Straus, *D. pulex* de Geer, *D. longispina* O.F. Muller і *D. carinata* King). 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 яєць 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 досліді проводять у термолюміністаті з оптимальним температурним режимом 20±2°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 короточасне 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.

Досліді проводять у трьох повторностях наступним чином: у кожену 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 короточасному біотестуванні дафній не годують.

Час загибелі рачків відзначають за фактом настання нерухомості (імобілізації): дафнії лежать та дні склянки, плавальні рухи відсутні і не відновляються при легкому

дотику струменем води або погойдуванні склянки. Особин вважають вижившими, якщо вони вільно пересуваються в товщі води або спливають із 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 дослідях, 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 дослідів 20 і більше діб.

Оцінка результатів дослідів (у % відносно контролю) проводиться за наступною формою: виживаність під час дослідів; плодючість (реальна і потенційна, в перерахуванні на одну дафнію під час дослідів); 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. 19).

В першу чергу знаходимо середнє значення кількості дафній, що вижили, у кожному варіанті і виражаємо у відсотках відносно контролю (табл. 20).

Таблиця 19 – Вживаність 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 20 – Вживаність дафній відносно контролю

Час, годин	Контроль		Розведення 1: 3		Розведення 1: 5		Розведення 1: 10		Розведення 1: 15	
	Середнє	% до контролю	Середнє	% до контролю	Середнє	% до контролю	Середнє	% до контролю	Середнє	% до контролю
	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 y відкладаємо вживаність дафній через 96 год. у відсотках стосовно контролю, а по осі x – логарифми концентрацій (табл. 21).

Таблиця 21 – Вихідні дані для побудови графіка залежності вживаності 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 продовжуємо отриману пряму до перетинання з горизонталлями, що відповідають 50 і 100% вживаності (рис. 17).

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

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

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

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

$$\text{ЛКР}_{100} = 10^{1,35} = 22,4.$$

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% дафній).

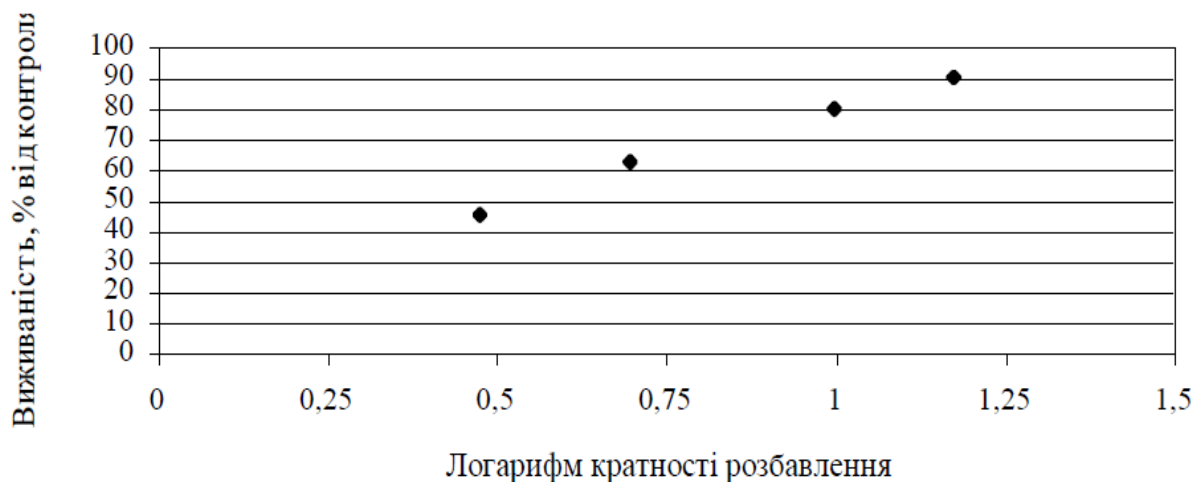


Рис.17. – Графік залежності виживаності від кратності розбавлення

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 TL_{50} будуємо графіки для кожного варіанта розведення (рис. 18). Для цього на осі абсцис відкладаємо час, а на осі ординат – виживаність у % для кожного розведення (табл. 22).

Таблиця 22 – 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

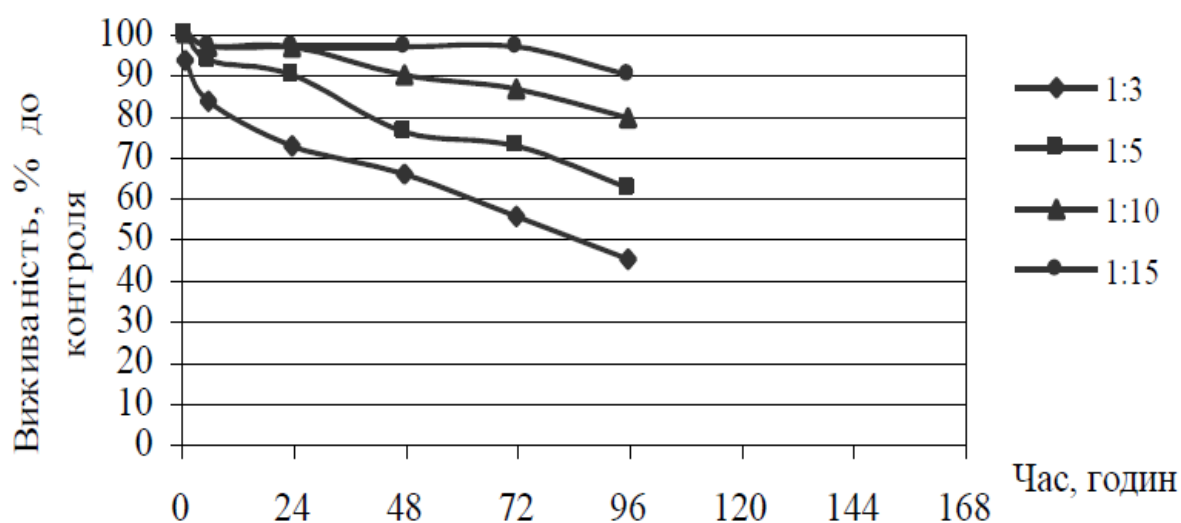


Рис. 18. – Графіки залежності виживаності від часу

Знаходимо точки 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. $LK_{p50}=3,3$, $LK_{p0}=22,4$; 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.

Контрольне завдання

Виконати оцінку ступеня токсичності шахтних вод за результатами, отриманими при біотестуванні за допомогою рачків *Daphnia magna* S. Варіанти вихідних даних наведено в додатку 5.

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?

**ОЦІНКА СТАБІЛЬНОСТІ РОЗВИТКУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ЗА РІВНЕМ АСИМЕТРІЇ МОРФОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР
(на прикладі берези повислої *Betula pendula* L.)**

Мета роботи: навчитися оцінювати якість навколишнього середовища за допомогою морфо-фізіологічних змін листя рослин-індикаторів.

При роботі з біологічними об'єктами часто використовується поняття *асиметрії*, запропоноване Ван Валеном. Виділяють декілька типів характерних ознак асиметрії:

1– *спрямована асиметрія*, коли якась структура розвинена на одній стороні більше, ніж на іншій: серце ссавців; візуальний розвиток в одних крабів лівої клішні, в інших – правої; наявність ліво- або правобічної асиметрії в будові тіла камбалоподібних або закрученості раковини у черевоногих моллюсків та ін.;

2– *антисиметрія* – характеризується більшим розвитком структури то на одній, то на іншій стороні тіла, що відповідає негативному зв'язку прояву ознаки на різних сторонах тіла. Як приклад, «лівша» і «правша» у популяції людини;

3– *флуктуюча асиметрія* – незначні ненаправлені відхилення (розходження) між правою й лівою (R-L) сторонами різних морфологічних структур від строгої білатеральної симетрії.

З різних форм асиметрії білатеральних ознак живих організмів особливо виділяється *флуктуюча асиметрія* (ФА), що дозволяє оцінити нестабільність розвитку цілого організму або його частини. При флуктуючій асиметрії розходження між сторонами не є строго генетично детермінованими. Такі розходження, зазвичай, є результатом помилок в ході розвитку організму. Флуктуюча асиметрія (на відміну від інших типів асиметрії) не має самостійного адаптивного значення, а є вираженням незначних ненаправлених порушень симетрії, які перебувають у межах певного люфту. Це допускається природним добром і не впливає на життєздатність. Значні розходження між сторонами можуть мати місце в природі лише в тому випадку, якщо вони носять пристосувальний характер. При нормальних умовах їхній рівень мінімальний, а зростає тільки при будь-якому стресовому впливі, що і призводить до збільшення асиметрії.

Опис методу.

Робота починається з вибору моніторингових точок – чотирьох-п'яти площадок, які перебувають на одній лінії по мірі віддалення від потенційного джерела забруднення (населеного пункту, промислового підприємства або автомагістралі). Бажано розташовувати площадки по одній лінії, відповідно до рози вітрів (переважного напрямку вітру).

Відстань між площадками залежить від потужності джерела забруднення. Якщо це великий населений пункт із промисловими підприємствами й численним автотранспортом, то відстані між площадками можуть бути в межах 1 км. У випадку невеликої котельні відстані між площадками можуть бути в межах 400-800 метрів, автотраси – 20-200 метрів (залежно від інтенсивності потоку автотранспорту).

Для досягнення найкращих результатів площадки варто закладати рівномірно по всій місцевості, або по лінії зменшення передбачуваного негативного впливу.

Вимоги до досліджуваних ділянок:

1. Для фонових моніторингу використовуються декілька площадок у різних за природними умовами біотопах.

2. Для оцінки наслідків антропогенного впливу площадки вибираються з максимально подібних за природними умовами біотопів з різним ступенем антропогенного навантаження, а також таких, що не зазнають впливу антропогенного впливу для оцінки умовного фонового рівня.

Об'єкти дослідження.

Теоретично дослідження флуктуючої асиметрії можна проводити на будь-яких білатеральних (симетрично організованих) об'єктах – будь то тварини або рослини. Однак, чим простіше влаштований організм і чим він крупніше, тим простіше проводити виміри. Виходячи з цього, зручним для організації подібних досліджень модельним об'єктом є листя листопадних дерев. Це можуть бути такі види дерев, як клени, тополі або берези.

В якості основного об'єкту для вивчення рівнів флуктуючої асиметрії пропонується використати один з її видів: березу повислу (*Betula pendula* Roth.) або березу пухнату (*B. alba* L.). Якщо в місцевості, де планується виконувати дослідження, немає даних видів берези, можна провести оцінку на інших видах листопадних дерев.

Умови вибору екземплярів для дослідження.

При зборі матеріалу для біоіндикаційних досліджень варто враховувати наступні правила:

1. При виборі дерев враховується чіткість визначення приналежності рослини до досліджуваного виду. За даними деяких авторів береза повисла здатна схрещуватися з іншими видами та утворювати міжвидові гібриди, які мають ознаки обох видів. Для запобігання помилок варто вибирати дерева із чіткими ознаками виду.

2. Листя повинні бути зібрані з рослин, що перебувають в подібних екологічних умовах (враховується рівень освітленості, зволоження та ін.). Наприклад, одна з порівнюваних вибірок не повинна перебувати на узліссі, а інша в лісі. При цьому рекомендується вибирати дерева, що ростуть на відкритих ділянках (галявинах, узліссях), тому що умови затінення є стресовими для берези й істотно знижують стабільність її розвитку.

3. При зборі матеріалу треба враховувати віковий стан дерев. Для дослідження вибираються дерева, що досягли генеративного вікового стану (середньовікові рослини), уникаючи молодих та старих екземплярів.

Період збору матеріалу. Збір матеріалу варто проводити після зупинки інтенсивного росту листя до періоду його опадання (у середній смузі це приблизно період з кінця травня до кінця серпня).

Збір листя з рослини. У берези повислої збирають листи з нижньої частини крони дерева на рівні піднятої руки, з максимальної кількості доступних гілок рівномірно навколо дерева (рис. 19). При цьому, намагаються задіяти гілки різних напрямків, умовно – з півночі, півдня, заходу й сходу.

У берези збирають листя тільки з укорочених пагонів (рис. 20). Тип пагонів не повинен змінюватися в серії порівнюваних вибірок.

Листя намагаються відбирати приблизно одного, середнього для даного виду розміру. Ушкоджені листки можуть бути використані в дослідженні тільки в тому випадку, якщо не порушені ділянки, з яких будуть зніматися значення промірів (рис. 21). Однак, щоб уникнути помилок, ушкоджені листи краще оминати.

Обсяг вибірки. Збір листів проводиться з 10 поблизу зростаючих дерев, по 10 листків з кожного дерева (усього – 100 листів з однієї площадки). Варто брати трохи більше листків, чим потрібно, на той випадок, якщо частина листків через ушкодження не зможе бути використана для аналізу.

Підготовка (лабораторна обробка) та зберігання матеріалу. Всі листки, зібрані для однієї вибірки, поміщають в поліетиленовий пакет, який помічається етикеткою: вказують дату, місце збору (максимально докладна прив'язка на місцевості), номер площадки, а також автора (авторів) збору.

Листки з однієї рослини зберігаються окремо, щоб надалі можна було проаналізувати отримані результати індивідуально для кожної особини (зібрані з одного дерева листки зв'язують ниткою за черешки).

Зібраний матеріал бажано почати обробляти відразу ж, поки листки не зів'яли. Для нетривалого зберігання зібраний матеріал слід упакувати в поліетиленовий пакет та помістити на нижню полицю холодильника (максимальний строк зберігання – тиждень).

Для більш тривалого зберігання використовують фіксатор – спирт, розведений на 1/3 гліцерином або водою.

Виконання досліджень (вимірювання). Для обробки зібраного матеріалу необхідні: лінійка, циркуль-вимірник, транспортір, бланки для записів результатів вимірів, рахункове устаткування (калькулятор або комп'ютер).

При виконанні досліджень виконують наступні операції. Для виміру листок берези поміщають перед собою червонною стороною нагору. Червонною стороною листка називають сторону, повернену до верхівки пагону. З кожного листка знімають показники по п'яти промірах (параметрах) з лівої та правої сторін листа (рис. 22):

- 1 – ширина половинки листа. Для виміру лист складають поперек навпіл, сполучаючи верхівку з основою листової пластинки. Потім розгинають лист і по складці, що утворилася, вимірюється відстань від границі центральної жилки до краю листа, мм;
- 2 – довжина другої жилки другого порядку від основи листа, мм;
- 3 – відстань між основами першої та другої жилок другого порядку, мм;
- 4 – відстань між кінцями першої та другої жилок другого порядку, мм;
- 5 – кут між головною жилкою та другою від основи листка жилкою другого порядку, град.

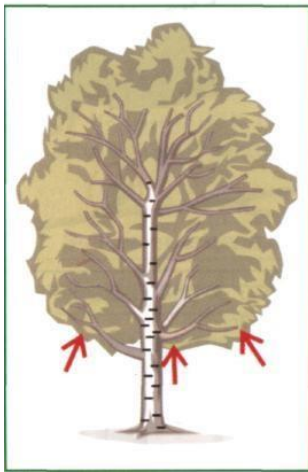


Рис. 19. - Місце збору листів у кроні дерева

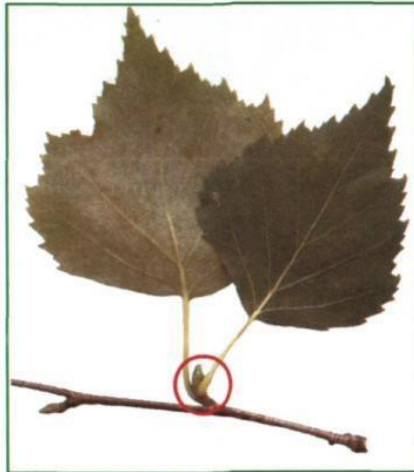


Рис. 20. - Укорочений пагін берези

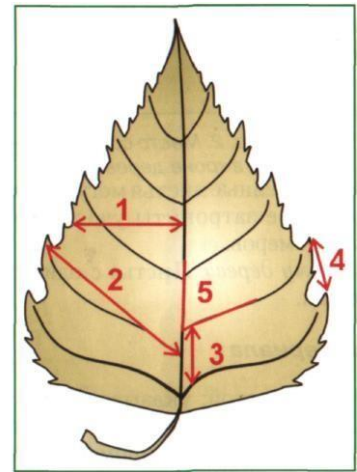


Рис. 21. - Морфологічні ознаки для оцінки стабільності розвитку

Параметри 1-4 знімаються циркулем-вимірником (якщо його немає – виміри можна проводити лінійкою із чіткими міліметровими розподілами), кут між жилками (ознака 5) вимірюється транспортером (рис. 22). Зручно використовувати прозорі пластмасові транспортири.

При вимірі кута транспортір (поз. 1 рис. 22) розташовують так, щоб центр основи віконця транспортера (поз. 2 рис. 22) сполучався із точкою відгалуження другої жилки другого порядку від центральної жилки (поз. 4 рис. 22). Ця точка відповідає вершині кута.

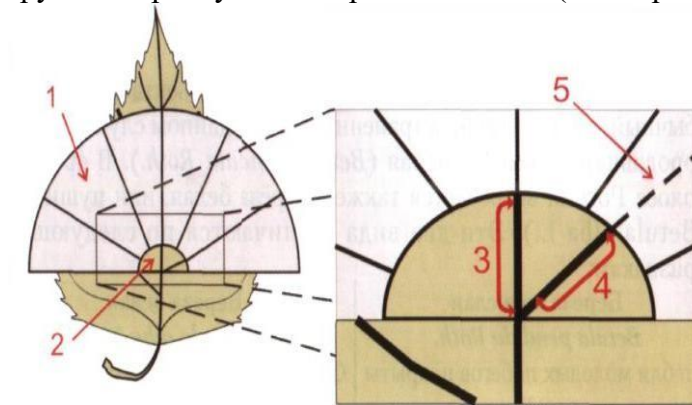


Рис. 22. – Вимір кута між жилками листа берези повислої

Виходячи з того, що жилки не прямолінійні, а звивисті, кут вимірюють у такий спосіб: ділянку центральної жилки (поз. 3 рис. 22), що перебуває в межах віконця транспортира (поз. 2 рис. 22), сполучають із центральним променем транспортира, що відповідає 90°, а ділянку жилки другого порядку (поз. 4 рис. 22) продовжують до градусних значень транспортира (поз. 5 рис. 22), використовуючи лінійку.

Бажано, щоб всі листи з однієї вибірки вимірялися однією людиною – для запобігання впливу суб'єктивних помилок. Якщо виміри проводять декілька людей (одна вибірка обробляється однією людиною), то необхідно простежити щоб лінійки й транспортери були однаковими.

Варто пам'ятати, що інтерес представляють не абсолютні розміри параметрів, а різниця між лівою й правою половинками. Тому, на техніку вимірів лівої й правої сторін листа варто постійно звертати увагу (положення лінійки й транспортира, освітлення та ін.). Дані вимірів заносять в таблицю.

Обробка й оформлення результатів досліджень.

Для мірних ознак величина асиметрії у рослин розраховується як розходження в промірах ліворуч і праворуч, віднесене до суми промірів на двох сторонах.

Інтегральним показником стабільності розвитку для комплексу мірних ознак є середня величина відносного розходження між сторонами на ознаку. Цей показник розраховується як середнє арифметичне суми відносної величини асиметрії за всіма ознаками у кожній особини, віднесене до числа використовуваних ознак.

У табл. 23 та 24 на прикладі берези повислої приводиться розрахунок середньої відносної величини асиметрії на ознаку для 5 промірів листа у 10 рослин.

Таблиця 23 – Зразок таблиці для обробки даних з оцінки стабільності розвитку рослини з використанням мірних ознак (проміри листа)

№ листа	Номер ознаки									
	1		2		3		4		5	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
1	18	20	32	33	4	4	12	12	46	50
2	20	19	33	33	3	3	14	13	50	49
3	18	18	31	31	2	3	12	11	50	46
4	18	19	30	32	2	3	10	11	49	49
5	20	20	30	33	6	3	13	14	46	53
6	12	14	22	22	4	4	11	9	39	39
7	14	12	26	25	5	3	11	11	34	40
8	13	14	25	23	5	3	10	8	39	42
9	12	14	24	25	5	5	9	9	40	32
10	14	14	25	25	4	4	9	8	32	32

Примітка: – значення промірів листа берези повислої ліворуч (Л) і праворуч (П)

Розрахунок середньої відносної величини асиметрії на ознаку для 5 промірів листа у 10 рослин проводиться за наступною методикою:

1. Спочатку для кожного листа обчислюється відносна величина асиметрії для кожної ознаки. Для цього модуль різниці між промірами ліворуч (Л) і праворуч (П) поділяють на суму цих же промірів: $|Л-П| / |Л+П|$.

Наприклад: лист № 1, ознака 1 (див. табл. 23),

$$|Л-П| / |Л+П| = |18-20| / |18+20| = 2/38 = 0,052$$

Отримані величини заносяться в допоміжну таблицю 24 у графі 1-6.

2. Потім обчислюють показник асиметрії для кожного листа. Для цього підсумовують значення відносних величин асиметрії за кожною ознакою і ділять на їх число.

Наприклад, для листа 1 (див. табл. 24):

$$(0,052+0,015+0+0+0,042)/5=0,022$$

Результати обчислень заносять у графу 7 таблиці 24.

3. На останньому етапі обчислюється інтегральний показник стабільності розвитку – величина середнього відносного розходження між сторонами на ознаку. Для цього обчислюють середню арифметичну всіх величин асиметрії для кожного листа (графа 7 табл. 24), значення якої округляється до третього знаку після коми.

У нашому випадку ця величина дорівнює:

$$X = (0,022+0,015+0,057+0,061+0,098+0,035+0,036+0,045+0,042+0,012)/10=0,042$$

Таблиця 24 – Зразок заповнення допоміжної таблиці для розрахунку інтегрального показника флуктуючої асиметрії берези повислої у вибірці

№ листа	Номер ознаки					Величина асиметрії листа
	1	2	3	4	5	6
1	0,052	0,015	0	0	0,042	0,022
2	0,026	0	0	0,037	0,010	0,015
3	0	0	0,2	0,044	0,042	0,057
4	0,027	0,032	0,2	0,048	0	0,061
5	0	0,048	0,33	0,037	0,071	0,098
6	0,077	0	0	0,1	0	0,035
7	0,077	0,019	0	0	0,081	0,036
8	0,037	0,042	0	0,111	0,037	0,045
9	0,077	0,020	0	0	0,111	0,042
10	0	0	0	0,059	0	0,012
Величина асиметрії у вибірці						X=0,042

Статистична значимість розходжень між вибірками за величиною інтегрального показника стабільності розвитку (величина середнього відносного розходження між сторонами на ознаку) визначається по *t*-критерію Стьюдента.

Для оцінки ступеня виявлених відхилень від норми та їх місця в загальному діапазоні можливих змін показника використовується шкала (табл. 25). Весь діапазон між граничними рівнями в таблиці ранжується в порядку зростання значень показника.

Таблиця 25 – Шкала оцінки відхилень стану організму від умовної норми за величиною інтегрального показника стабільності розвитку

Стабільність розвитку в балах	Величина показника стабільності розвитку	Якість середовища
1	<0,040	Умовно нормальне
2	0,040-0,044	Початкові (незначні) відхилення від норми
3	0,045-0,049	Середній рівень відхилення від норми
4	0,050-0,054	Істотні (значні) відхилення від норми
5	>0,054	Критичний стан

Діапазон значень інтегрального показника асиметрії, що відповідає умовно нормальному фоновому стану, приймається як перший бал (умовна норма). Він відповідає даним, отриманим в природних популяціях при відсутності видимих несприятливих впливів (наприклад, на природно-заповідних територіях). Однак треба звернути увагу на той факт, що на практиці при оцінці якості середовища в регіоні з підвищеним антропогенним навантаженням фоновий рівень порушень у вибірці рослин або тварин (навіть в точці умовного контролю), не завжди перебуває в діапазоні значень, що відповідають першому балу.

Висновки. Діапазон значень, що відповідає критичному стану, приймається за п'ятий бал. Він відповідає тим популяціям, де відмічений явний несприятливий вплив факторів довкілля і такі зміни стану організму, що призводять до його загибелі.

Контрольне завдання

Для виконання досліджень за даною методикою студенти поділяються на групи. Кожна група проводить збір листя рослин з установленної викладачем ділянки, що характеризується певним типом антропогенного навантаження.

Контрольні запитання

1. Види асиметрії в природі.
2. Що являє собою флюктуюча асиметрія?
3. Напрямки використання асиметрії для оцінки якості середовища.
4. Основні положення методики оцінки стабільності розвитку деревних рослин за рівнем асиметрії морфологічних структур.
5. Принцип обробки експериментальних даних.
6. Шкала оцінки відхилень стану організму від умовної норми за величиною інтегрального показника стабільності розвитку.

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ ЗА ЗМІНАМИ ВИДОВОГО БІОРІЗНОМАНІТТЯ ҐРУНТОВИХ БЕЗХРЕБЕТНИХ ТВАРИН

Мета роботи: навчитися оцінювати екологічний стан ґрунтового покриву на досліджуваній території за зміною видового біорізноманіття безхребетних тварин.

Для дослідження стану ґрунтового покриву використовуються переважно представники мезо- і макрофауни.

Мезофауна об'єднує різноманітну і численну частину ґрунтового тваринного населення з розмірами, які дозволяють бачити цих тварин неозброєним оком, або під лупою, і збирати вручну. Основну масу мезофауни складають членистоногі: дрібні види комах, багатоніжки-сімфіли, мокриці, павуки, а також дрібні черви енхітреїди. Живуть вони в ґрунтових порожнинах і здатні до вертикальної міграції по пустотах і крупних порах.

Макрофауна представлена в ґрунті дощовими хробаками, багатоніжками і личинками комах. Для них ґрунт виступає у якості щільного середовища, при пересуванні в якому необхідно активно прокладати собі ходи. Ці тварини риють норки, або ж просуваються по природним пустотам, розширюючи їх простір.

Опис методу. Вибірка тварин проводиться за методом ґрунтових розкопок. Розміри обраної пробної площадки залежать від ступеня зволоженості ґрунту (найчастіше $0,5 \times 0,5$ м, в сухих районах до $1-2$ м²). Чим більше закладено ґрунтових розкопок, тим точніше виявлення видового складу та кількості тварин. Відстань між розкопками $5-10$ м. Глибина розкопок складає $30-50$ см, в сухих місцях на легких ґрунтах – до 100 см і більше. Ґрунт вибирається пошарово.

Розкопки проводять наступним чином: визначають розміри майданчика, забивають по кутах кілочки, натягують між ними мотузку. Потім від кордонів відведених майданчиків прибирають опад та підстилку (якщо проба береться у лісі) або суху землю поверхневого шару. Поруч з майданчиком поміщають клейонку або щільну тканину, на яку кладуть вибраний з розкопки ґрунт. Спочатку з майданчика знімають опад та інші рослинні залишки, які ретельно вручну перебирають, враховуючи всіх знайдених при цьому тварин, а траву вищипують для того, щоб полегшити розбірку ґрунту з верхнього шару. Тварин, знайдених на поверхні ґрунту, враховують окремо від тих, яких вибирають безпосередньо з нього.

Після видалення розібраних рослинних залишків приступають до викопування ґрунту лопатою. Невеликі порції ґрунту, що викидаються на розкладену поруч з майданчиком клейонку, ретельно перетираються руками, розбиваються великі грудки, розривається дерновини. Весь ґрунт з шару порція за порцією перетирають між долонями, ретельно вибираючи тварин. Тварин збирають окремо з кожної проби і кожного шару.

Видове біорізноманіття – найбільш часто використовуваний показник, що враховує два компоненти – видове різноманіття (кількість видів, які спостерігаються в природних умовах проживання на певній площі або об'ємі) і кількісний розподіл за видами.

Кількісно видове різноманіття (ВР) характеризують за допомогою індексів. Найбільш широко використовують індекс Сімпсона, при обчисленні якого використовують чисельність організмів i -го виду n_i , знайдених на майданчику біоіндикації, і загальну чисельність всіх видів N .

Методика забезпечує виявлення зон екологічних аномалій на місцевості з імовірною помилкою не більше 20% . Величина похибки гарантується при дотриманні наступних норм біоіндикації:

- кількість майданчиків, що обстежуються – $3-5$;
- розмір площадки біоіндикації ґрунтового покриву не менше 1 м²;
- розміри ґрунтової прикопки: $0,25 \times 0,25$ м на глибину зустрічальності безхребетних 20 см.

Індекс Сімпсона розраховується за формулою

$$D_i = 1 / (P_1^2 + \dots + P_i^2), \quad (8.1)$$

де D_i – індекс Сімпсона, розрахований для кожної площадки біоіндикації;

$P_1 \dots P_i$ – частка кожного виду в сумарному біорізноманітті, взятому за одиницю.

P_i розраховують таким чином:

$$P_i = n_i / N, \quad (8.2)$$

де n_i – чисельність i -го виду на майданчику біоіндикації;

N – загальна чисельність всіх видів на майданчику біоіндикації.

Відносний показник видового біорізноманіття на майданчику біоіндикації досліджуваної території розраховують за формулою:

$$D_i = D_i / D_{\text{контр}} \times 100 \quad (8.3)$$

Для проведення оцінки необов'язково використовувати дані по всій фауні, можна обмежитися аналізом характерних груп видів, за якими отримана надійна інформація.

Шляхом порівняння отриманих значень відносного показника видового біорізноманіття з критеріальними параметрами (табл. 26), отримуємо оціночний показник екологічної обстановки на досліджуваній території.

Таблиця 26 – Критерії оцінки екологічного стану ґрунтового покриву

Показник	Параметр		
	Екологічне лихо	Надзвичайна екологічна ситуація	Відносно задовільна ситуація
Відносні зміни видового біорізноманіття, D_i	менше 25	25-50	більше 50

Приклад розрахунку.

Результати дослідження чисельності та видового складу безхребетних тварин на досліджуваних територіях приведені в табл. 27.

Таблиця 27 – Чисельність і видовий склад ґрунтових безхребетних тварин на досліджуваній та «умовно чистій» (контрольній) території

Номер прикопки	Дошові черв'яки		Молюски (слимаки, равлики)		Багатоніжки (геофіли)		Павукоподібні		Рівноногі (мокриці)		Комахи	
	К	Д	К	Д	К	Д	К	Д	К	Д	К	Д
1	9	9	4	3	5	2	5	1	4	5	5	4
2	10	8	5	2	4	2	4	1	5	3	4	1
3	8	8	3	3	4	0	6	0	7	1	6	2

Примітка: К – контроль; Д – дослід.

Використовуючи данні таблиці 27, розрахуємо показник зміни видового біорізноманіття (індекс Сімпсона) для *контрольної території*.

Майданчик № 1.

Розраховуємо частку кожного виду у сумарній кількості тварин на майданчику за формулою 8.2.

Кількість *дошових черв'яків* на майданчику біоіндикації – 9. Загальна кількість усіх тварин на майданчику біоіндикації контрольної території – 32. Звідси $P_1 = 9/32 = 0,28$.

Кількість *молюсків* на майданчику – 4, звідси $P_2 = 4/32 = 0,126$.

Кількість *багатоніжок* на майданчику – 5, звідси $P_3 = 5/32 = 0,156$.

Кількість *павукоподібних* на майданчику – 5, звідси $P_4 = 5/32 = 0,156$.

Кількість *мокриць* на майданчику – 4, звідси $P_5 = 4/32 = 0,126$.

Кількість *комах* на майданчику біоіндикації – 5, звідси $P_6 = 5/32 = 0,156$.

Підставляємо знайдені значення у формулу 8.1:

$$D_1 = 1/(0,28^2 + 0,126^2 + 0,156^2 + 0,156^2 + 0,126^2 + 0,156^2) = 5,45.$$

Аналогічно розраховуємо показник зміни видового біорізноманіття на інших майданчиках біоіндикації.

Отримані результати екологічного обстеження контрольної території представлені в табл. 28.

Таблиця 28 – Результати біоіндикації контрольної території

Номер майданчику біоіндикації	1	2	3
Показник зміни видового біорізноманіття (індекс Сімпсона D_o)	5,45	5,17	5,50

Далі аналогічним чином розраховується відносний показник зміни видового біорізноманіття для досліджуваної території. Відносний показник зміни видового біорізноманіття на даному майданчику біоіндикації розраховують за формулою 8.3:

$$D = (4,45/5,45) \times 100 = 77,7.$$

Отримане значення показника видового біорізноманіття згідно критеріальної шкали (табл. 26) свідчить про «відносно задовільну ситуацію» по відношенню до якості досліджених ґрунтів. По інших майданчиках біоіндикації розрахунки проводяться аналогічним чином. За результатами розрахунку проводиться оцінка екологічного стану ґрунтового покриву на досліджуваній території. Отримані значення заносяться в табл. 29.

Таблиця 29 – Результати оцінки екологічного стану ґрунтового покриву за видовим біорізноманіттям

Номер майданчика	1	2	3
Відносний показник зміни видового біорізноманіття D_i	77,7	67,3	45,7
Параметри екологічного стану ґрунту	Відносно задовільна ситуація	Відносно задовільна ситуація	Надзвичайна екологічна ситуація

Висновки. Екологічний стан досліджуваних ґрунтів за показником зміни видового біорізноманіття безхребетних тварин на першій та другій ділянці характеризується як «відносно задовільний». На третій ділянці виявлено «надзвичайний» екологічний стан ґрунтів.

Контрольне завдання

Виконати оцінку екологічного стану ґрунтового покриву за результатами дослідження видового різноманіття. Вихідні дані приведені в додатку 6.

Контрольні запитання

1. Яких тварин відносять до мезофауни?
2. Яких тварин відносять до макрофауни?
3. Що розуміється під видовим біорізноманіттям?
4. Як проводиться вибірка безхребетних тварин для оцінки стану ґрунтового покриву за видовим біорізноманіттям?
5. Основні положення методики оцінки стану ґрунтового покриву за видовим біорізноманіттям.
6. Принцип обробки експериментальних даних.

СОСНА В ЯКОСТІ ТЕСТ-ОБ'ЄКТА В РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ І ЗАГАЛЬНО-ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Індикаторні рослини можуть використовуватися як для виявлення окремих забруднень повітря, так і для оцінки загального стану повітряного середовища.

Факт винятково високої радіочутливості хвойних деревних порід був відзначений у багатьох дослідженнях зарубіжних і російських вчених (табл. 30). Сосна по радіочутливості близька до людини ($LD_{50} = 20$ Гр), тому вона є одним з основних природних тест-систем в радіоекологічних і загально-екологічних дослідженнях.

Таблиця 30 - Радіаційні ефекти в рослинному співтоваристві (Д. А. Криволуцкий, 1988)

Характер пошкодження	Доза опромінення, Гр		
	весною	восени	Хронічне опромінення
Загибель голонасінних	10	15	50
Часткове пригнічення трав'яних рослин	25	50	100
Ураження листяних дерев	—	50	100
Загибель листяних дерев	—	125	200
Часткова загибель трав'янистих рослин	200	325	530
Повна гибель рослинності	3 000	6 000	—

Радіаційні ефекти оцінюються за такими критеріями: загибель і відновлення дерев; терміни відновлення; морфологічні зміни хвої та пагонів; кількісні характеристики (радіальний і вертикальний приріст, маса і розмір хвої та пагонів). Репродуктивна здатність оцінюється по мінливості насіння.

Більшість виявлених морфологічних змін (морфозов) сосни, яка виростала в радіоактивно забруднених районах, пов'язані зі змінами в меристемних тканинах - це група клітин в стадії активного ділення і зростання. Така тканина являє собою два типи клітин: одна з високою репродуктивною здатністю, інша з різним ступенем диференціації. Відомо, що чутливість клітин прямо пропорційна ступеню їх диференціації. Саме тому при високих дозах опромінення спостерігаються загибель верхівкових пагонів і поява пагонів з бічних нирок, що знаходяться на ранніх стадіях диференціації. Більш глибокі причини відмінностей радіочутливості меристемних тканин слід пов'язати з біохімічними порушеннями в метаболізмі клітин. При радіоактивному опроміненні спостерігаються: загибель бруньок, хвої, пагонів; гальмування росту пагонів і хвої; подвійний приріст протягом одного року вегетації; нерівномірне зростання хвої на пагонах; скороченість пагонів при інтенсивному зростанні хвої («мітлоподібні» пагони); багатобруньковість (поява на пагонах верхніх мутовок до 30 бруньок замість 5-6 в нормі); порушення орієнтації хвої та пагонів у просторі (поява «м'ятої» хвої); викривлення пагонів; зміна форми хвої; поява гігантизму і карликовості пагонів і хвої. Відомо, що репродуктивні органи сосни звичайної більш чутливі до опромінення, ніж вегетативні. Особливо високою радіочутливістю володіють чоловічі генеративні органи. Підтвердження цьому фахівці спостерігали в зоні сильного і середнього радіоактивного забруднення після аварії на Чорнобильській АЕС: чоловічі квітки відсутні протягом перших двох років після аварії, жіночі квітки також були частково або повністю вражені.

Хвойні породи, крім їх високої радіочутливості, особливо сильно страждають від сірчистого газу. Чутливість до нього убиває в послідовності:

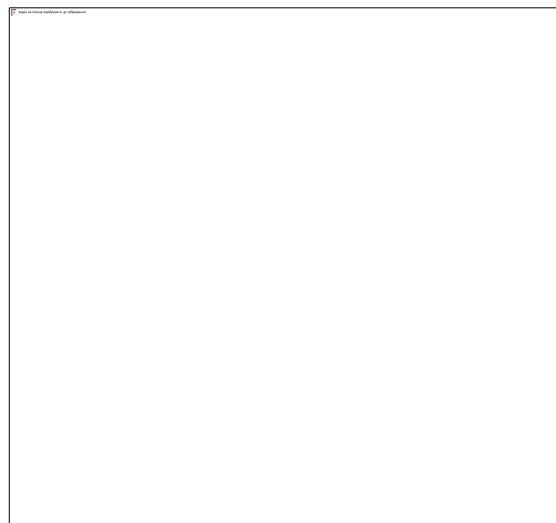
ялина → ялиця → сосна Веймутова → сосна звичайна → модрина.

Тривалість життя хвої сосни в нормальних умовах становить 3-4 роки. За цей час вона накопичує таку кількість сірчистого газу, яка істотно перевищує порогове значення. Під впливом токсиканта хвоя сосни в зонах сильного забруднення стає темно-червоною,

забарвлення поширюється від основи голки до її вістря, і, проіснувавши всього один рік, хвоя відмирає і опадає. Модрина, щорічно скидає хвою, значно стійкіше до сірчистому газу. Тому за тривалістю життя хвої сосни і характером некрозів можна визначити ступінь ураження соснових насаджень **сірчистим газом (SO_2)**.



a

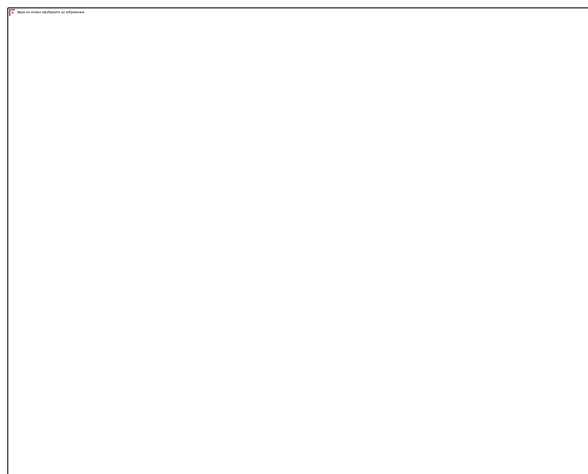


б

Рис. 23. – Сосна Веймутова (*Pinus strobus* L.): *a* – загальний вигляд; *б* – хвоя



a



б

Рис. 24. – Модрина, або сибірська модрина (*Larix*): *a* – загальний вигляд; *б* – хвоя

За спостереженням вчених товщина воскового шару на хвої сосни тим більше, чим вище концентрація або тривалість впливу на неї сірчистого газу. Це послужило підставою для розробки кількісного методу індикації даної речовини в атмосфері. Суть методу «помутніння за Гертелем» полягає в тому, що ступінь помутніння екстракту хвої прямо пропорційна кількості воску, що покриває хвою. Чим вище каламутність, встановлювана фотоколориметрично, тим більше концентрація сірчистого газу в повітрі. Однак сучасні дослідження показали, що помутніння водного екстракту з хвої викликано не тільки воском, але і цілим рядом інших речовин, присутніх в рослинних тканинах. У зв'язку з цим виникли сумніви щодо достовірності результатів тесту Гертеля. Тим часом накопичення епікутикулярного воску під впливом сірчистого газу виявлено і у інших рослин, наприклад

у райграсу. З цієї причини, можливо, слід визначати не інтенсивність помутніння екстракту, а безпосередньо вміст воску в рослинному матеріалі.

Разом з тим двоокис сірки викликає у сосни звичайної характерні зміни у вмісті фенольних сполук, які спостерігаються задовго до появи видимих симптомів ушкодження.

Принцип запропонованого в практичній роботі методу заснований на виявленні залежності ступеня пошкодження хвої (некрозів і всихання) від забруднення повітря в районі виростання сосни звичайної.

Мета роботи: експрес-оцінка якості повітря станом хвої *Pinus sylvestris*.

Для вибору відповідних дерев (тест-об'єктів для визначення ступеня всихання та пошкодження хвої в польових умовах) знадобляться збільшувальні скла (або лупи), олівець, блокнот, компас.

Порядок роботи наступний:

1. Вибрати сосонки висотою 1-1,5 м на відкритій місцевості з 8-15 бічними пагонами. Вибірку хвої необхідно робити з кількох близько зростаючих дерев на площі 10×10 м². У блокнот вносяться відомості про місце збору і наявності поблизу можливого інтенсивного руху транспорту; вказується також час огляду хвої. Дуже важливий при виборі дерев показник вигоптаності ділянки виростання сосни. Ступінь вигоптаності ділянки оцінюється балами 1-4: 1 - вигоптування немає; 2 - вигоптані стежки; 3 - немає ні трави, ні чагарників; 4 - залишилося трохи трави навколо дерев. При вигоптаності території, оцінюваної балами 3 і 4, експрес-оцінка повітряного забруднення неможлива.

2. Оглянути у кожного дерева хвоїнки попереднього року (другий зверху колотівки). Якщо дерева дуже великі, то обстеження проводити на бічному пагоні у четвертій зверху мутовці (рис. 23). Всього збирають або оглядають не менше 30 хвоїнок. Шипик хвоїнки завжди світліше. Він не оцінюється. За ступенем пошкодження і всихання хвої виділяють кілька класів (рис. 26).

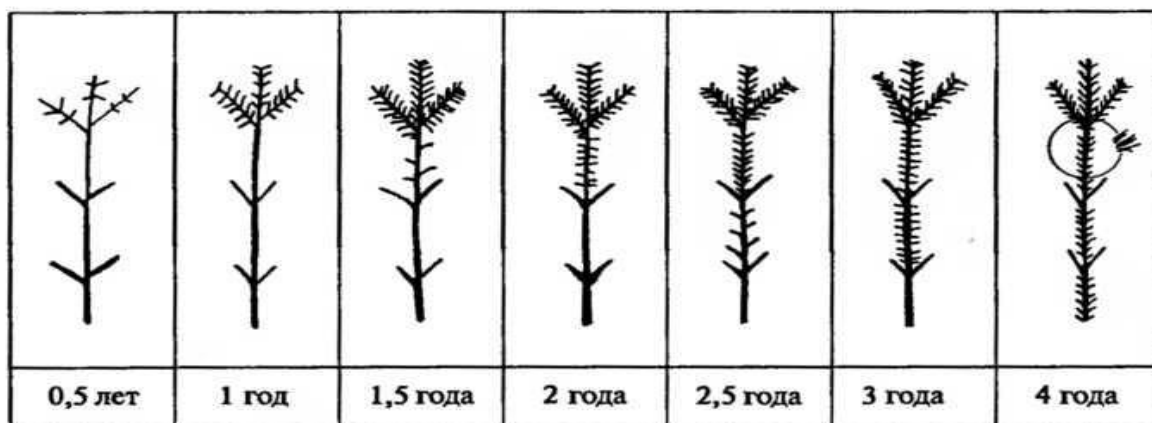


Рис. 25. – Ділянка гілки, на якій проводять дослідження хвої експрес-аналіза якості повітря

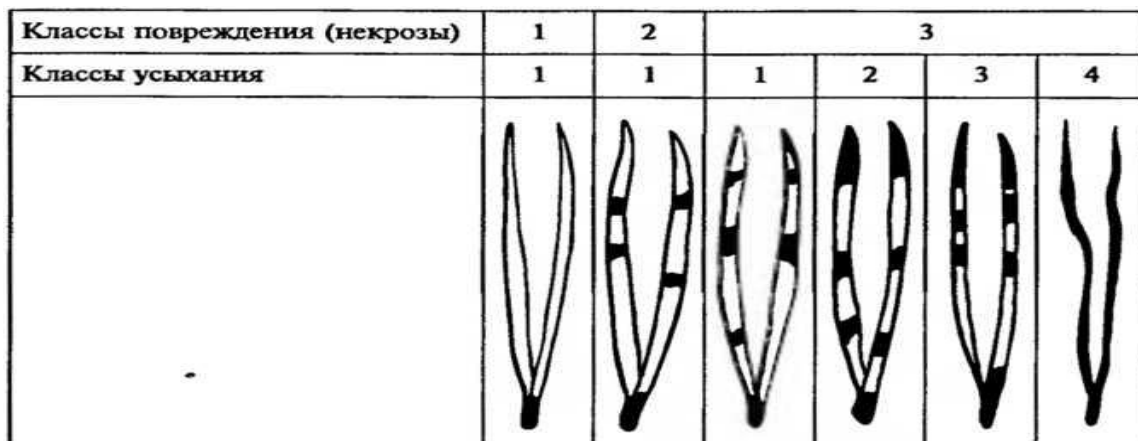


Рис. 26. – Класи пошкодження і всихання хвої

Класи пошкодження: 1 - хвоїнки без плям; 2 - хвоїнки з невеликою кількістю дрібних плям; 3 - хвоїнки з великою кількістю чорних і жовтих плям.

Класи всихання: 1 - на хвоїнках немає сухих ділянок; 2 - на хвоїнках усю кінчик 2-5 мм; 3 - всохла 1/3 хвоїнки; 4 - вся або велика частина хвоїнки суха.

3. Визначити тривалість життя хвої. Обстежити верхівкову частину стовбура за останні роки: кожна колотівка, вважаючи зверху, - це рік життя (див. рис. 23).

4. Провести оцінку ступеня забруднення повітря за оціночною шкалою, що включає вікові характеристики хвої, а також класи пошкодження хвої на пагонах другого року життя за допомогою рис. 23.

Обладнання та матеріали: лупа, стенди з хвоєю різного ступеня пошкодженості, індивідуальне завдання на картці.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати у викладача завдання на картці.
2. Оцінити, користуючись рис. 24, клас пошкодження (некроз) і всихання хвоїнок сосни. Занести дані по всіх хвоїнках у зошит. Провести статистичну обробку даних.
3. Визначити тривалість життя хвої, використовуючи рис. 23
4. Провести експрес-оцінку забруднення повітря по класу пошкодження хвої на пагонах другого року життя з урахуванням віку хвої за допомогою табл. 31.

Таблиця 31 – Експрес-оцінка забруднення повітря (I-VI) з використанням сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)

Максимальний вік хвої, роки	Клас пошкодження хвої на гілках другого року життя		
4	I	I-II	III
3	I	II	III-IV
2	II	III	IV
2	—	IV	IV-V
1	—	IV	V-VI
1	—	—	VI

Примітка. I - повітря ідеально чисте; II - чисте; III - відносно чисте («норма»); IV - забруднене («тривога»); V - брудне («небезпечно»); VI - дуже брудне («шкідливо»); — неможливі поєднання.

За зібраними зразками зробити аналіз і результати досліджень записати в зошит, зробивши при цьому відповідні висновки.

Контрольне завдання

Дослідити стан хвої дерев поблизу вашого навчального закладу, зробити висновок про екологічний стан довкілля.

Контрольні запитання

1. Які хвойні рослини найбільш поширені у вашому регіоні ?
2. В чому полягають особливості використання хвойних рослин в якості біоіндикаторів стану навколишнього середовища ?
3. Суть методу «помутніння за Гертелем» ?

ВИЗНАЧЕННЯ ХЕМОТАКСИЧНОЇ РЕАКЦІЇ ІНФУЗОРІЙ

Мета: визначення ступеня забруднення атмосфери за рівнем токсичності 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. 27). Ці найпростіші мають розміри від 30 мкм до 1–2 мм, за формою нагадують туфельку (рис. 26). 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).

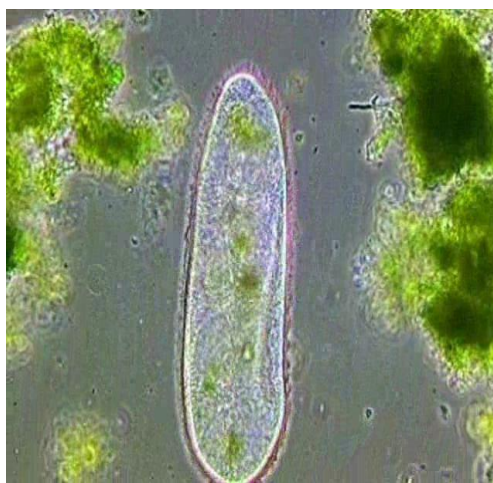
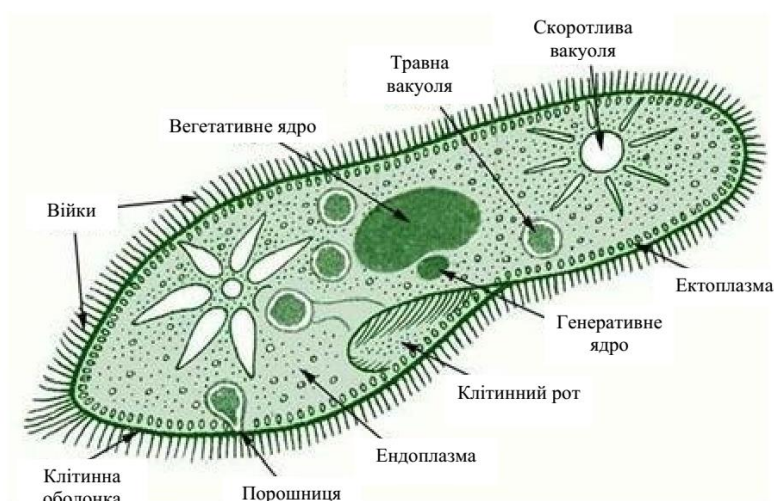
Рисунок 27 – Інфузорія-туфелька (*Paramecium Caudatum*)

Рисунок 28 – 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 пробєю.

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. 29).

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 (T) 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.

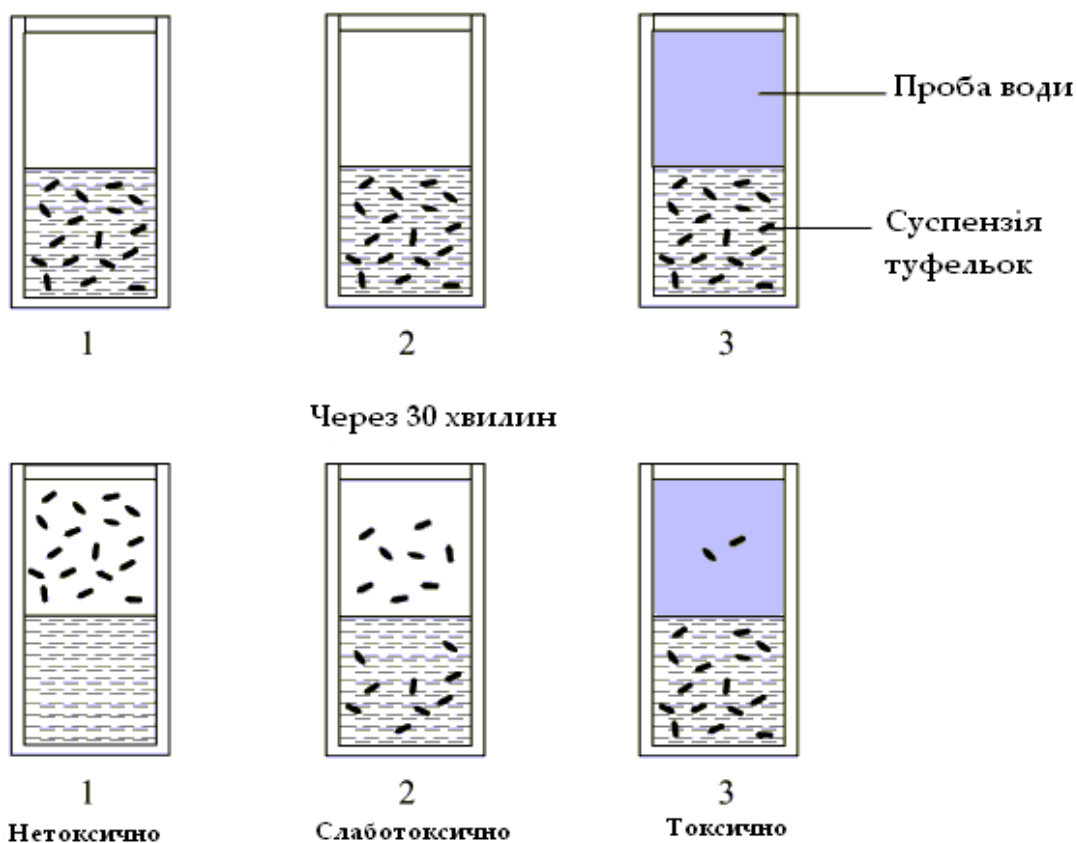


Рисунок 29 – Визначення динаміки поширення інфузорій у товщі водного середовища

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.

Контрольне завдання

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

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?

Варіанти завдань до практичної роботи № 2

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 місця 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
Суша маса 10 проростків, мг	185		212		185		185		212	
1500 м від місця 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
Суша маса 10 проростків, мг	203		226		203		203		229	

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

Варіанти завдань до практичної роботи № 2

Місце відбору проб	Варіант									
	6		7		8		9		10	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місця 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
Суша маса 10 проростків, мг	212		301		250		242		237	
500 м від місця 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
Суша маса 10 проростків, мг	170		160		170		195		155	
1000 м від місця 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
Суша маса 10 проростків, мг	185		185		190		228		171	
1500 м від місця 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
Суша маса 10 проростків, мг	203		203		205		234		182	

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

Варіанти завдань до практичної роботи № 2

Місце відбору проб	Варіант									
	11		12		13		14		15	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місця 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
Суша 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 № 3

Варіант	Ознаки лишайників	Дерева									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Кількість накипних	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	70	90	60	60	50	50	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	30	30	0	40	30	10	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рунистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	5	0	5	0	10
2	Кількість накипних	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	0	50	100	60	60	50	40	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	20	30	30	0	40	30	0	0	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рунистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3	Кількість накипних	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих лишайників	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	50	90	60	60	50	40	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	10	30	30	0	30	30	40	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рунистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10
4	Кількість накипних	2	1	2	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	50	90	60	60	50	40	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	30	30	0	0	30	40	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рунистими лишайниками, %	10	0	0	0	0	0	0	5	0	10

Варіанти завдань до практичної роботи № 3

Варіант	Ознаки лишайників	Дерева									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Кількість накипних	3	1	1	1	1	1	3	1	1	1
	Кількість листуватих	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Кількість рунистих	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	100	50	90	60	60	70	80	80	60	70
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	20	30	30	50	40	30	40	20	60	70
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	20	0	30	0	0	0	5	0	10
6	Кількість накипних	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Кількість листуватих	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	Кількість рунистих	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	100	90	60	60	50	40	80	60	70
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	80	30	30	0	40	30	40	70	70	80
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	50	50	0	0	0	0	50	60	0	10
7	Кількість накипних	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
	Кількість листуватих	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	0	50	90	60	60	50	0	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	0	30	0	0	30	20	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
8	Кількість накипних	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
	Кількість листуватих	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	0	0	0	60	60	50	0	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	0	0	0	40	30	0	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Варіанти завдань до практичної роботи № 3

Варіант	Ознаки лишайників	Дерева									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Кількість накипних	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	0	50	90	60	60	50	40	80	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	30	30	0	40	30	40	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	20	0	40
11	Кількість накипних	1	1	3	1	1	1	3	1	1	2
	Кількість листуватих	1	1	1	2	1	1	1	1	0	2
	Кількість рунистих	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	50	90	60	60	50	40	80	60	70
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	20	30	30	30	40	30	40	20	0	20
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	10	0	15	5	0	0	30	5	0	10
12	Кількість накипних	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2
	Кількість листуватих	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Кількість рунистих	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	80	50	90	60	60	50	10	80	60	100
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	50	30	30	45	40	30	40	20	50	60
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	15	0	0	0	0	0	0	15	20	15
13	Кількість накипних	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	60	20	40	60	60	50	40	20	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	0	30	0	40	30	40	20	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
14	Кількість накипних	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Кількість листуватих	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	Кількість рунистих	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
	Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %	30	50	50	60	60	50	50	30	60	0
	Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %	0	30	10	0	20	30	10	5	0	0
	Ступінь покриття площі рамки рулистими лишайниками, %	0	0	0	0	0	5	0	5	0	10

Варіанти завдань до практичної роботи № 4

Місце відбору зразків	Біоіндикатор	Варіант						
		1	2	3	4	5	6	7
Промислова зона підприємства	Липа широколиста	$\frac{3000}{200}$	$\frac{3200}{210}$	$\frac{3200}{190}$	$\frac{2800}{221}$	$\frac{3200}{250}$	$\frac{4200}{210}$	$\frac{3000}{111}$
	Суріпиця звичайна	$\frac{1600}{145}$	$\frac{1300}{145}$	$\frac{1300}{125}$	$\frac{1300}{150}$	$\frac{1200}{190}$	$\frac{1300}{149}$	$\frac{1600}{125}$
	Бузина чорна	$\frac{1200}{235}$	$\frac{1200}{257}$	$\frac{1200}{201}$	$\frac{1300}{247}$	$\frac{1100}{280}$	$\frac{1500}{245}$	$\frac{1200}{156}$
	Акація біла	$\frac{1000}{262}$	$\frac{1100}{275}$	$\frac{1100}{225}$	$\frac{1100}{287}$	$\frac{1000}{312}$	$\frac{1300}{272}$	$\frac{1100}{200}$
	Ясень звичайний	$\frac{2100}{600}$	$\frac{1800}{589}$	$\frac{1800}{504}$	$\frac{1700}{514}$	$\frac{2000}{680}$	$\frac{1800}{503}$	$\frac{1800}{468}$
500 м від підприємства	Календула лікарська	$\frac{2000}{82}$	$\frac{2500}{124}$	$\frac{2500}{104}$	$\frac{2800}{135}$	$\frac{2600}{152}$	$\frac{2500}{104}$	$\frac{3000}{108}$
	Чистотіл великий	$\frac{1600}{123}$	$\frac{4200}{448}$	$\frac{4200}{405}$	$\frac{4500}{452}$	$\frac{1400}{157}$	$\frac{4200}{404}$	$\frac{4500}{345}$
	Каштан кінський	$\frac{1500}{178}$	$\frac{3500}{560}$	$\frac{3500}{526}$	$\frac{3500}{512}$	$\frac{1500}{247}$	$\frac{3500}{525}$	$\frac{3700}{421}$
	Вишня звичайна	$\frac{1100}{155}$	$\frac{2200}{400}$	$\frac{2050}{380}$	$\frac{2100}{421}$	$\frac{1300}{278}$	$\frac{2200}{412}$	$\frac{2500}{374}$
	Гречка їстівна	$\frac{1500}{270}$	$\frac{2000}{500}$	$\frac{2000}{489}$	$\frac{2000}{478}$	$\frac{1500}{358}$	$\frac{2000}{504}$	$\frac{2200}{405}$
1500 м від підприємства	Берізка польова	$\frac{2200}{72}$	$\frac{2500}{100}$	$\frac{2900}{121}$	$\frac{2700}{142}$	$\frac{2200}{68}$	$\frac{2400}{111}$	$\frac{2900}{75}$
	Цикорій звичайний	$\frac{1000}{70}$	$\frac{1600}{121}$	$\frac{1600}{135}$	$\frac{2500}{205}$	$\frac{1000}{500}$	$\frac{1600}{207}$	$\frac{2000}{150}$
	Абрикос звичайний	$\frac{2300}{250}$	$\frac{2400}{258}$	$\frac{2900}{325}$	$\frac{2500}{378}$	$\frac{5000}{195}$	$\frac{2400}{385}$	$\frac{2900}{201}$
	Конюшина повзуча	$\frac{1400}{168}$	$\frac{3000}{405}$	$\frac{3000}{405}$	$\frac{2800}{378}$	$\frac{1400}{195}$	$\frac{3000}{385}$	$\frac{3000}{201}$
	Персик звичайний	$\frac{1400}{214}$	$\frac{1600}{302}$	$\frac{1600}{288}$	$\frac{1700}{268}$	$\frac{1400}{238}$	$\frac{1600}{267}$	$\frac{1600}{152}$

Примітка: у чисельнику – загальна кількість досліджених клітин, у знаменнику – кількість стерильних клітин

Варіанти завдань до практичної роботи № 4

Місце відбору зразків	Біоіндикатор	8	9	10	11	12	13	14	15
Промислова зона підприємства	Липа широколиста	<u>3000</u> 198	<u>3000</u> 202	<u>4000</u> 225	<u>4500</u> 420	<u>3000</u> 146	<u>2800</u> 165	<u>3000</u> 222	<u>7800</u> 542
	Суріпиця звичайна	<u>1250</u> 165	<u>1000</u> 127	<u>1250</u> 124	<u>1200</u> 200	<u>1600</u> 142	<u>1250</u> 142	<u>1000</u> 154	<u>1250</u> 157
	Бузина чорна	<u>1350</u> 245	<u>1300</u> 254	<u>1400</u> 225	1000 278	<u>2000</u> 365	<u>1350</u> 204	<u>1300</u> 276	<u>2000</u> 280
	Акація біла	<u>1200</u> 302	<u>1100</u> 287	<u>1400</u> 245	<u>1300</u> 502	<u>1000</u> 194	<u>1250</u> 279	<u>1100</u> 287	<u>1200</u> 304
	Ясень звичайний	<u>1750</u> 523	<u>1800</u> 645	<u>1900</u> 458	<u>1200</u> 468	<u>4000</u> 911	<u>1750</u> 523	<u>1700</u> 600	<u>1700</u> 470
500 м від підприємства	Календула лікарська	<u>3100</u> 152	<u>3800</u> 178	<u>3000</u> 101	<u>2500</u> 124	<u>2700</u> 78	<u>3000</u> 152	<u>3800</u> 147	<u>2800</u> 88
	Чистотіл великий	<u>4500</u> 407	<u>1600</u> 127	<u>4000</u> 378	<u>4200</u> 436	<u>4500</u> 345	<u>4250</u> 407	<u>1600</u> 137	<u>4100</u> 378
	Каштан кінський	<u>3500</u> 471	<u>1700</u> 204	<u>3600</u> 503	<u>3400</u> 512	<u>3700</u> 421	<u>3500</u> 471	<u>1700</u> 168	<u>3600</u> 503
	Вишня звичайна	<u>2100</u> 387	<u>1200</u> 254	<u>2300</u> 400	<u>1000</u> 124	<u>2200</u> 324	<u>2100</u> 387	<u>1200</u> 214	<u>2500</u> 400
	Гречка їстівна	<u>2200</u> 502	<u>1250</u> 306	<u>2100</u> 456	<u>2300</u> 563	<u>1800</u> 369	<u>22500</u> 475	<u>1100</u> 306	<u>2100</u> 423
1500 м від підприємства	Берізка польова	<u>3500</u> 78	<u>2300</u> 65	<u>2500</u> 76	<u>2000</u> 76	<u>2500</u> 63	<u>7000</u> 178	<u>2300</u> 65	<u>2600</u> 84
	Цикорій звичайний	<u>3000</u> 142	<u>2000</u> 125	<u>2000</u> 124	<u>1200</u> 101	<u>1900</u> 78	<u>3000</u> 142	<u>2000</u> 114	<u>2000</u> 124
	Абрикос звичайний	<u>3000</u> 215	<u>2800</u> 250	<u>2200</u> 205	<u>2400</u> 264	<u>2700</u> 165	<u>3000</u> 215	<u>2800</u> 216	<u>2200</u> 205
	Конюшина повзуча	<u>2800</u> 324	<u>1800</u> 211	<u>3100</u> 345	<u>2600</u> 345	<u>2400</u> 205	<u>2800</u> 305	<u>1800</u> 207	<u>3000</u> 323
	Персик звичайний	<u>1750</u> 245	<u>2000</u> 287	<u>1700</u> 241	<u>1600</u> 278	<u>1400</u> 163	<u>1600</u> 214	<u>2000</u> 235	<u>1800</u> 324

Примітка: у чисельнику – загальна кількість досліджених клітин, у знаменнику – кількість стерильних клітин

Варіанти завдань до практичної роботи № 5

Варіант	Місце відбору зразків	Кількість досліджених клітин	Кількість клітин, що діляться за фазами мітозу / з них аберантних						
			Профаза	Метафаза		Анафаза		Телофаза	
1	Північ	8100	300	51	10	66	15	199	0
	Північний схід	6500	412	125	25	64	15	164	13
	Схід	5000	203	94	10	67	18	205	3
	Південний схід	6100	304	69	35	52	21	254	6
	Південь	6200	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	7800	304	127	55	40	36	188	1
	Захід	8500	354	100	53	43	24	256	43
	Північний захід	7000	412	37	21	21	20	119	25
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
2	Північ	7200	313	181	18	66	1	291	11
	Північний схід	6900	353	125	10	64	0	164	2
	Схід	6300	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	7500	304	69	35	52	32	101	6
	Південь	6200	178	108	21	78	24	100	51
	Південний захід	7800	304	127	55	40	36	188	1
	Захід	8500	354	151	3	55	11	256	43
	Північний захід	7000	412	111	8	99	20	119	4
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
3	Північ	5000	200	181	18	66	1	100	11
	Північний схід	6900	353	125	10	64	0	164	10
	Схід	5900	203	141	12	101	5	205	9
	Південний схід	6100	304	125	25	52	32	101	6
	Південь	6200	178	199	21	78	24	100	51
	Південний захід	7800	199	156	35	40	36	56	1
	Захід	8500	354	108	21	55	11	256	43
	Північний захід	7000	412	111	8	99	20	119	4
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
4	Північ	6900	200	181	18	66	1	59	11
	Північний схід	6900	353	125	10	64	0	164	10
	Схід	5900	203	141	12	101	5	205	9
	Південний схід	5200	304	125	25	52	32	101	6
	Південь	5000	178	199	21	78	24	100	51
	Південний захід	7800	199	156	35	40	36	56	1
	Захід	8100	156	108	21	55	11	142	43

	Північний захід	8500	140	111	8	99	20	119	4
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2

Варіанти завдань до практичної роботи № 5

Варіант	Місце відбору зразків	Кількість досліджених клітин	Кількість клітин, що діляться за фазами мітозу / з них аберантних						
			Профаза	Метафаза		Анафаза		Телофаза	
5	Північ	6900	300	51	21	66	15	60	29
	Північний схід	8950	412	125	51	64	45	164	29
	Схід	5900	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	5200	304	69	35	52	21	254	47
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	7800	304	127	21	40	19	188	1
	Захід	8100	354	100	19	43	16	256	23
	Північний захід	6750	412	37	21	21	20	119	25
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
6	Північ	8300	291	51	21	66	15	60	29
	Північний схід	6500	139	125	25	64	15	164	13
	Схід	5900	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	6100	304	69	35	52	21	254	6
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	5200	304	127	21	40	19	188	1
	Захід	6500	354	199	19	43	16	256	23
	Північний захід	7000	412	37	21	21	20	119	25
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
7	Північ	7900	300	51	21	66	15	60	29
	Північний схід	7150	412	125	51	64	15	164	29
	Схід	5650	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	6100	304	69	35	52	21	254	6
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	6750	304	127	21	40	19	188	1
	Захід	8550	354	100	19	43	16	256	23
	Північний захід	7650	412	37	21	21	20	119	25
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
8	Північ	7950	291	51	21	66	15	60	29
	Північний схід	6500	139	125	25	64	40	164	29
	Схід	5900	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	6100	304	69	21	52	17	254	31
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	5100	304	127	21	40	19	188	1
	Захід	6250	354	199	19	43	16	256	23
	Північний захід	5450	412	37	21	21	20	119	11
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2

Варіанти завдань до практичної роботи № 5

Варіант	Місце відбору зразків	Кількість досліджених клітин	Кількість клітин, що діляться за фазами мітозу / з них аберантних						
			Профаза	Метафаза		Анафаза		Телофаза	
9	Північ	7950	300	51	21	65	15	39	29
	Північний схід	6500	139	125	25	64	40	164	29
	Схід	5900	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	6100	299	69	21	52	17	254	31
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	5100	308	127	21	40	19	188	1
	Захід	6250	354	199	19	43	16	256	23
	Північний захід	5450	412	37	21	21	20	119	11
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
10	Північ	7950	300	51	21	65	15	39	29
	Північний схід	6500	139	125	25	49	40	164	29
	Схід	7800	142	56	21	67	18	132	27
	Південний схід	8150	122	69	21	52	17	143	31
	Південь	6000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	6700	308	127	21	40	19	188	1
	Захід	7200	354	199	19	43	16	256	23
	Північний захід	5450	412	37	21	21	20	119	11
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
11	Північ	6900	200	181	18	66	1	59	11
	Північний схід	7900	200	125	39	64	31	164	25
	Схід	6850	171	100	41	101	39	205	18
	Південний схід	6770	304	125	25	52	32	101	6
	Південь	5000	178	199	21	78	24	100	51
	Південний захід	7800	199	156	35	40	36	56	1
	Захід	8100	156	108	21	55	11	142	43
	Північний захід	8500	140	111	8	99	20	119	4
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
12	Північ	7950	155	112	54	66	11	154	26
	Північний схід	8100	200	69	15	55	21	121	34
	Схід	6300	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	7500	304	69	35	52	32	101	6
	Південь	6200	178	108	21	78	24	100	51
	Південний захід	7800	304	127	55	40	36	188	1
	Захід	8500	354	151	3	55	11	256	43
	Північний захід	7890	322	99	33	78	20	119	4
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2

Варіанти завдань до практичної роботи № 5

Варіант	Місце відбору зразків	Кількість досліджених клітин	Кількість клітин, що діляться за фазами мітозу / з них аберантних						
			Профаза	Метафаза		Анафаза		Телофаза	
13	Північ	7950	155	112	54	66	11	154	26
	Північний схід	8100	200	69	15	55	21	121	34
	Схід	6300	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	5200	304	100	35	77	32	101	6
	Південь	5000	255	144	12	78	11	100	11
	Південний захід	5150	304	127	11	69	33	188	1
	Захід	6500	354	151	3	55	11	256	43
	Північний захід	7890	322	99	33	78	20	119	4
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
14	Північний схід	6500	139	125	25	64	40	164	29
	Схід	5900	203	94	21	67	18	205	27
	Південний схід	6100	304	69	21	52	17	254	31
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	5100	304	127	21	40	19	188	1
	Захід	6250	354	199	19	43	16	256	23
	Північний захід	5450	412	37	21	21	20	119	11
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2
15	Північ	5350	291	99	10	66	8	89	11
	Північний схід	5000	222	125	10	79	9	200	15
	Схід	5100	203	94	9	88	18	205	18
	Південний схід	6100	304	69	21	52	17	254	31
	Південь	5000	178	108	21	78	24	191	5
	Південний захід	5100	304	127	21	40	19	188	1
	Захід	6250	354	199	19	43	16	256	23
	Північний захід	5450	412	37	21	21	20	119	11
	Контроль	9600	470	256	15	232	10	388	2

Варіанти завдань до практичної роботи № 6

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
5	1	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	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 № 6

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

Варіанти завдань до практичної роботи № 8

Варіант	пр Никомперки	До че щ рв ов ,я : ки		М сл ра ол им вл юс ак вл ки и, (и) ск		) ге Ба ні оф га жкл то и и		Па по ву ді ко бн і		) Рм і о (		Ко ма хи	
		К*	Д*	К	Д	К	Д	К	Д	К	Д	К	Д
1	1	5	1	8	3	8	2	5	7	6	1	8	2
	2	1	5	2	7	1	7	3	6	2	3	1	4
	3	4	0	4	1	2	9	3	0	3	4	1	2
2	1	5	1	0	3	8	2	5	7	5	1	7	2
	2	1	2	2	0	4	7	3	5	6	3	8	4
	3	4	0	4	0	2	9	3	1	4	3	2	2
3	1	5	1	0	3	3	2	2	0	6	1	5	2
	2	2	2	4	1	5	7	3	6	6	0	8	3
	3	10	0	8	2	7	9	5	0	6	1	8	2
4	1	5	1	0	3	4	2	2	1	5	1	4	0
	2	3	2	4	1	5	5	3	6	4	0	8	2
	3	11	0	9	2	7	9	7	0	6	1	8	1
5	1	8	1	0	3	4	1	2	1	3	0	5	1
	2	7	2	4	0	8	5	3	5	4	0	4	1
	3	10	0	8	1	7	10	5	0	6	1	9	0
6	1	8	1	7	2	6	1	1	4	2	3	5	1
	2	7	1	5	2	8	9	5	5	4	0	4	1
	3	9	0	7	1	7	10	5	0	5	1	8	0
7	1	5	1	6	2	4	2	2	4	2	1	5	3
	2	6	1	4	2	8	8	5	3	4	1	6	2
	3	8	0	7	1	6	9	6	0	6	1	7	0
8	1	5	2	6	2	1	2	2	4	2	7	5	0
	2	6	1	5	2	4	8	5	3	6	1	7	1
	3	9	0	5	10	5	0	6	1	6	1	8	0
9	1	5	2	3	2	1	3	2	5	2	7	5	1
	2	6	1	5	1	4	7	5	1	7	1	5	1
	3	7	0	5	11	5	0	5	1	6	1	8	0
10	1	5	1	3	2	0	3	3	5	1	8	6	1
	2	6	1	4	1	4	7	5	1	7	1	4	1
	3	5	0	5	12	5	0	5	0	5	1	6	1
11	1	5	1	3	2	3	3	2	6	1	7	0	1
	2	4	1	4	2	4	7	5	1	6	0	4	2
	3	3	0	5	11	6	0	4	1	5	1	7	0
12	1	2	1	3	5	3	4	2	5	1	6	2	1
	2	5	1	4	2	6	7	4	1	4	0	4	2
	3	4	0	6	10	6	0	6	1	5	1	7	0
13	1	9	1	2	5	2	7	2	4	5	2	6	1
	2	6	1	4	2	5	7	4	1	3	0	4	2
	3	3	0	6	10	5	0	5	1	4	0	6	1

Примітка: К* – контроль; Д* – дослід.

Література

1. Аніскіна-Левчук Р. В. Оцінка стану атмосферного повітря по наявності, густоті та видовому різноманіттю лишайників // Матеріали I міжнародної науково-практичної конференції «На шляху до сталого розвитку регіонів», Полтава, 18-19 листопада 2004 р, С.163-166.
2. Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. - М.: Наука, 1986.
3. Бабьева, И. П. Биология почв / И. П. Бабьева, Г. М. Зенова ; под ред. Д.Г. Звягинцева. — М. : Изд-во МГУ, 1989. — 336 с.
4. Безуглая Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах.- Л.: Гидрометеиздат, 1989.
5. Биоиндикация и биомониторинг /Отв. Ред. Д.А. Криволуцкий. М., 1991. 214 с.
6. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Методы биоиндикации / С. М. Чеснокова ; Владим. гос. ун-т. — Владимир : Издво Владим. гос. ун-та, 2007. — 84 с.
7. Биотестирование как метод оценки природной среды / А.Н. Мисюра, Ю.Б. Смирнов, В.Я. Гасов // Проблемы фундаментальной та прикладной екології: матеріали II Всеукраїнської конференції 9-10 грудня 1997 р. — Кривий Ріг, 1997. — Ч.1. — С. 42-43.
8. Білявський Г.О., Бутченко Л.І. Основи екології: теорія та практикум. Навч. посібник. — К.: Либідь, 2004.— 368 с.
9. Бурдин, К.С. Основы биологического мониторинга / К.С. Бурдин. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. — 158 с.
10. Гарибова Л. В. Водоросли, лишайники и мохообразные СССР / Л.В. Гарибова [и др.]. — М.: Мысль, 1978.
11. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень: Теорія, методи, практика використання / за ред. И.Т. Олексієва, Л.П. Брагинського. - Львів: Світ, 1995. -С.7-39.
12. Горова А.І. Методологічні аспекти оцінки генетичних наслідків техногенезу Зб. наук. праць «Екологія і природокористування». Вип.3, Дніпропетровськ, 2001. — С. 143-152.
13. ГОСТ 12071-2000 Грунты. Відбір, упакування, транспортування і зберігання зразків.
14. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.
15. ГОСТ 17.2.6.01-86 Охрана природы. Атмосфера. Приборы для отбора проб воздуха населенных пунктов.
16. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем (гідрохімія, гідробіологія, гідрологія, управління). - Рівне: ППФ «Волинські обереги», 1999.- Т.І, II,
17. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы.— Днепропетровск: Изд-во «Континент», 2002.— 208 с.
18. ДСТУ ISO 5667-6-2001 Якість води. Відбір проб. Частина 6. Настанови щодо відбору проб води з річок та інших водотоків.
19. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г., Баранов А.С. и др. Здоровье среды: практика оценки. М.: Изд. Центра экол. политики России, 2000. — 318 с.
20. Калінін М.І., Єлісєєв В.В. Біометрія: Підручник для студентів вузів біологічних та екологічних напрямків. — Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2000. — 204 с.
21. Клименко М.О., Гріховина Ю.Р. Оцінка екологічного стану водних систем річок басейну Прип'ять за вищими водними рослинами. - Рівне: НУВГП, 2005.
22. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. — К.: Академія, 2006. — 360 с.
23. Кравкина И.М. Влияние атмосферных загрязнений на структуру хвои / И.М. Кравкина // Растения и промышленная среда: научная конференция: тезисы докладов. — Днепропетровск, 1990. — С. 102-103.
24. Криволуцкий Д.А. Биоиндикация радиационных загрязнений. М., 1999. с. 128.
25. Криволуцкий Д.А. Экологическое нормирование на примере радиоактивного загрязнения экосистем // Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. — М.: Наука, 1988.

26. Криволуцкий, Д.А. Биоиндикация и биомониторинг / Д.А. Криволуцкий. – М.: Наука, 1991. – 288 с.
27. Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захаров В.М. Анализ стабильности развития берёзы повислой в условиях химического загрязнения // Экология, 1996. - №6. - С. 441-444.
28. Кубланов С.Х., Шпаківський Р.В. Моніторинг довкілля: Навч.-метод. пос. - К., 1998.
29. Лебедева Н.В. Биологическое разнообразие: учебное пособие / Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволуцкий. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2004. – 432 с.
30. Лесные травянистые растения. Биология и охрана: справочник / Ю.Е. Алексеев, М.Г. Важрамеева, Л.В. Денисова, С.В. Никитина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 233 с.
31. Меннинг У. Дж., Федер У. А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / Под ред. Л.М. Филипповой. - Л.: Гидрометеиздат, 1985.
32. Методики биологических исследований по водной токсикологии / Сборник, Наука, М.: Гидрометеиздат – 1971. – 300 с.
33. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Утверждено Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. – 28 с.
34. Методичні рекомендації «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів» для студентів напряму підготовки 6.040106 / А.І. Горова, С.А. Риженко, Т.В. Скворцова та ін. Д.:НГУ, 2007. - 25 с.
35. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи: словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков. – К.: Знання, 2007. – 624 с.
36. Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг / М.М. Мусієнко // Екологія рослин: підручник / М.М.Мусієнко. – К., 2006. – С. 344-404.
37. Мэннинг У.Дж., Фредер У.А. Биомониторинг атмосферы с помощью растений.– Л.: Гидрометеиздат, 1985.–144 с.
38. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методом фитоиндикации. М., 1998. с.97
39. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. Изд-во С.-Петербургского университета, 2004. – 266 с.
40. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.
41. Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды / под ред. В. М. Захарова, Е.Ю. Крысанова. — М.: Моск. отд. Международного фонда «Биотест», 1996.
42. Реймес Н.Ф. Экологический мониторинг / Н.Ф. Реймес // География в школе. – 2000. – № 3. – С. 31-35.
43. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія: практичний курс. Частина 1. Чернівці.: Рута, 2003. – 320 с.
44. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: навч. посіб. для студ. вищ.навч. заклад. / Т.А. Сафранов. – Львів: Новий Світ-2000, 2003. – 248 с.
45. Сметана О.М. Зооіндикація антропогенного навантаження на степові біоценози Криворіжжя / О.М. Сметана, Н.М. Сметана // Еколого-біологічні дослідження: наукова конференція. – Кривий Ріг, 2002. – С. 390-396.
46. Сніжко СІ. Оцінка та прогнозування якості природних вод. - К.: Ніка-центр, 2001.
47. Сынзыныс Б. И. Экологическая диагностика качества атмосферного воздуха с помощью лишайников / Б. И. Сынзыныс, Е. И. Егорова. — М.: Русполиграф, 1997.
48. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — Т.7.
49. Федоренко О.І. Моніторинг навколишнього середовища / О.І.Федоренко, О.І.Бондар, А.В.Кудін // Основи екології: підручник / О.І. Федоренко, О.І. Бондар, А.В. Кудін. – К., 2006. – С. 306-318.
50. Школьный экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.: АГАР, 2000. – 386 с.

Навчально-методичне видання

Лисиця Андрій Валерійович

**«Біоіндикація і біотестування
забруднених територій»
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
*ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ***

Видавництво «Дока-центр»

33000, м. Рівне, вул. Ст. Бандери, 20
телефон: (0362)63-54-02
моб. телефон:(096) 515-22-26
e-mail:dokarivne@gmail.co

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
До Державного реєстру видавців, виробників
і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія РВ № 54 від 9 вересня 2011 р.

Підписано до друку 16.02.2018.
Умовних друк. аркушів - 5.
Тираж 100 прим.