

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕНОСТІ 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 фізіолого-біохімічними 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).

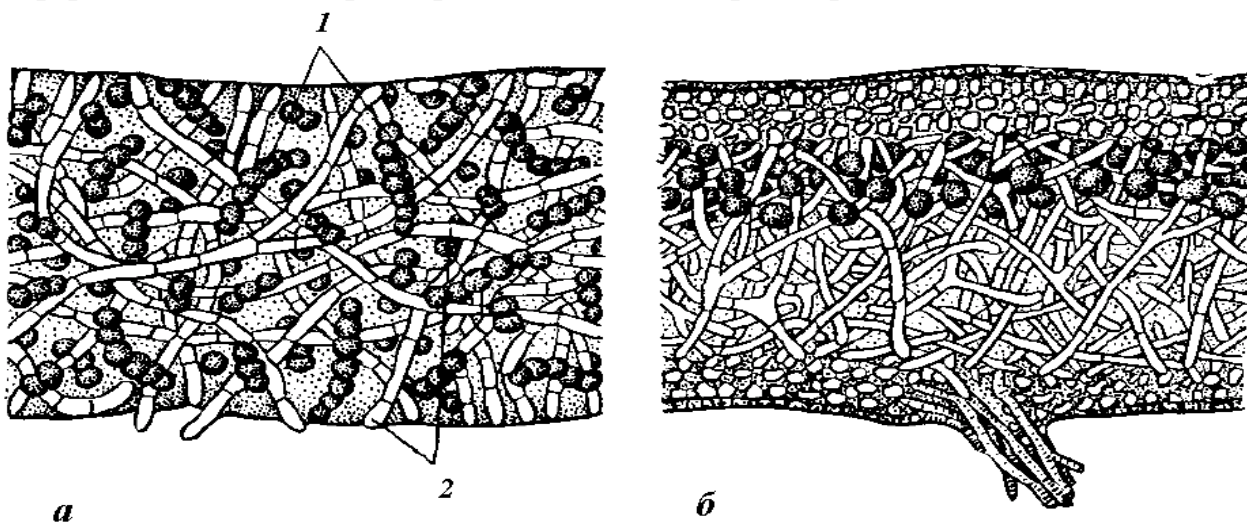


Рис. 6. Клітини водорості, охоплені гіфами гриба:
а – поперечний розріз гомеомірного таллому; б – поперечний розріз гетеромірного таллому (1 – клітини водорості, 2 – гіфи гриба)

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 каміння) (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).

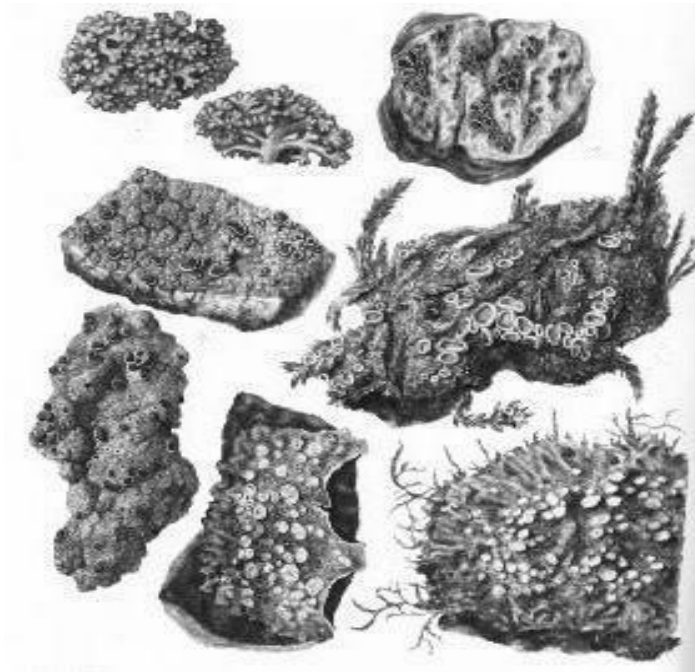


Рис. 7. Накипні лишайники

2. *Листуваті*, таллом яких має вигляд лусочок або листовидних пластинок (рис. 8). Найбільш проста слань листоватих 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 листовата слань, розсічена на безліч дрібних лопастей. Як правило, вони зібрані в округлі розетки, але іноді утворюють слані невизначених, нескінченно різноманітних форм.

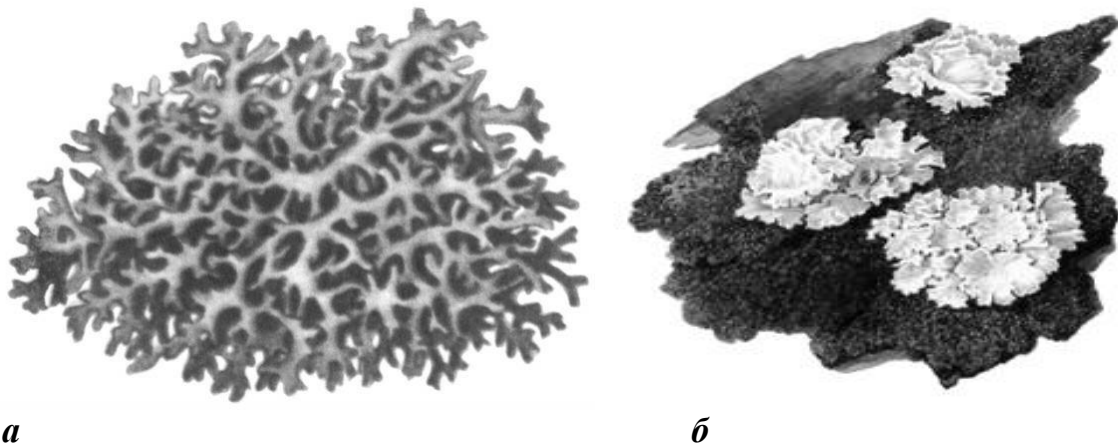


Рис. 8. Листуваті лишайники:
а – пармелія ; б – цетрарія

Характерною рисою нижньої поверхні листоватих лишайників є те, що вона майже завжди утворює особливі органи, за допомогою яких листоватий 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.

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 листуватих форм лишайників, для яких характерний горизонтальний ріст гіфів, у рунистих лишайників спостерігається вертикально спрямований ріст гіфів і верхівковий ріст сланей.

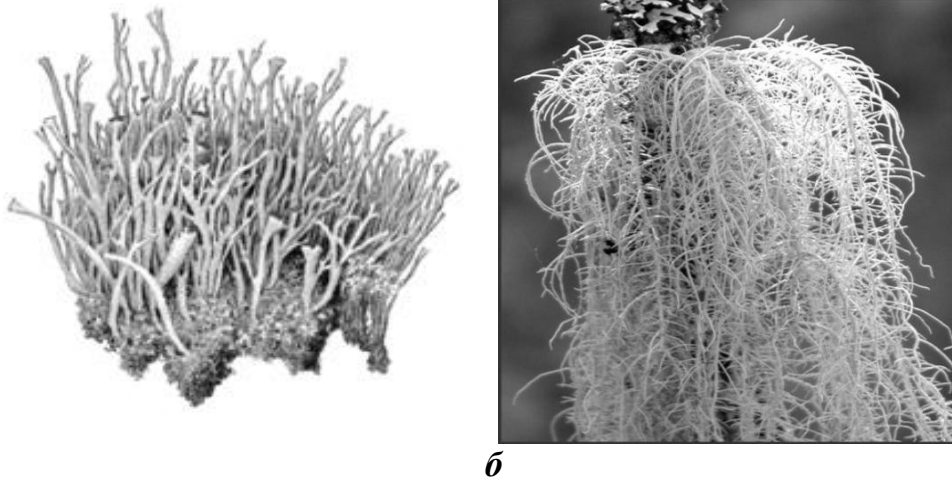


Рис. 9. Рунисті лишайники:
а – кладонія; б – уснея

Рунисті лишайники звичайно прикріплюються до субстрату тільки невеликою ділянкою нижньої частини слані. Прямостоячі рунисті лишайники найчастіше прикріплюються до ґрунту тонкими *ризоїдами* (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 → листуваті → рунисті». Тобто самими витривалими і толерантними є накипні лишайники. Листуваті 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 таллому (% 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 10x10 м, 20x20 м, 50x50 м, 100x100 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 відрізнити їх за формою таллому.

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 10x10 см і клітками 1x1 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.).

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 рунистими лишайниками, %										

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, %.

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 и 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. Шевченка м. Дніпропетровська методами ліхеноіндикації були отримані наступні результати (табл. 7).

Таблиця 7 – Результати ліхеноіндикації парку ім. Шевченка

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 рунистими 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 $s^{виду}$:

$$A^H=120,0\% \quad \rightarrow \quad a^H=5 \quad (\text{дуже часто})$$

$$A^L=70,0\% \quad \rightarrow \quad a^L=5 \quad (\text{дуже часто})$$

$A^K=20,0\%$	\rightarrow	$a^K=2$	(рідко)
$S^H=62,0\%$	\rightarrow	$s^H=5$	(дуже висока)
$S^L=21,0\%$	\rightarrow	$s^L=3$	(середня)
$S^K=1,5\%$	\rightarrow	$s^K=1$	(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. 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 лабораторної 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.

Рекомендована література

1. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга.- М.: изд-во МГУ, 1985.- 160 с.
2. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія: практичний курс. Частина 1. Чернівці.: Рута, 2003. – 320 с.

3. Клименко М.О., Прищепя А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. – К.: Академія, 2006. – 360 с.

4. Білявський Г.О., Бутченко Л.І. Основи екології: теорія та практикум. Навч. посібник. – К.: Лібра, 2004.– 368 с.

5. 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.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

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.

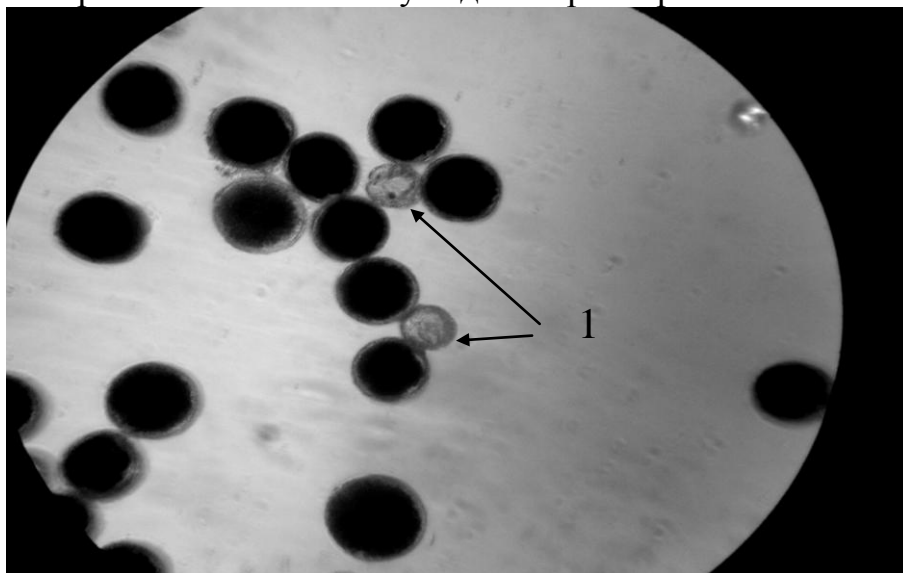


Рис. 10. Клітини пилку Лапчатки прямостоячої (*Potentilla anserine* L.)
1 – стерильні клітини, усі інші клітини пилку є фертильними

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).

Варіанти завдань до лабораторної 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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

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 Валенем. 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 брюхоногих 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 добором 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 фонового 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, транспортир, бланки для записів результатів вимірів, рахункове устаткування (калькулятор або комп'ютер).

При виконанні досліджень виконують наступні операції. Для виміру листок берези поміщають перед собою черевною стороною нагору. Черевною 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.

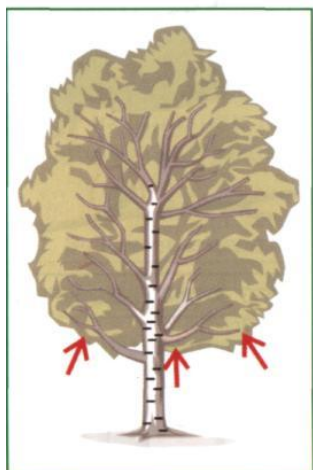


Рис.19. Місце збору листів у кроні дерева

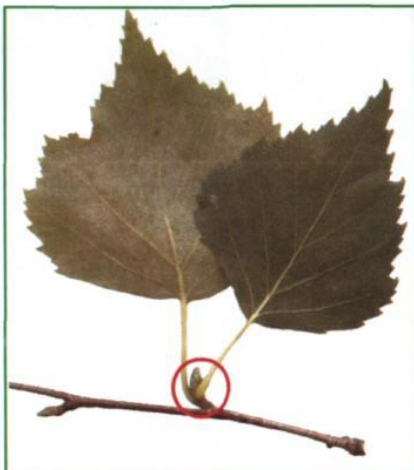


Рис. 20. Укорочений пагін берези

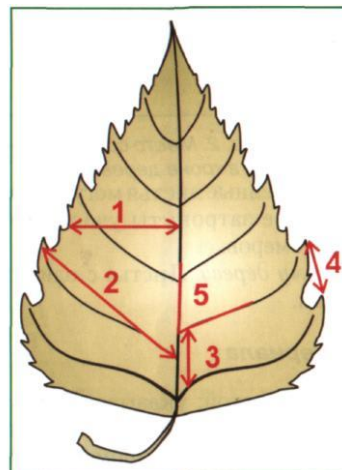


Рис.21. Морфологічні ознаки для оцінки стабільності розвитку

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

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

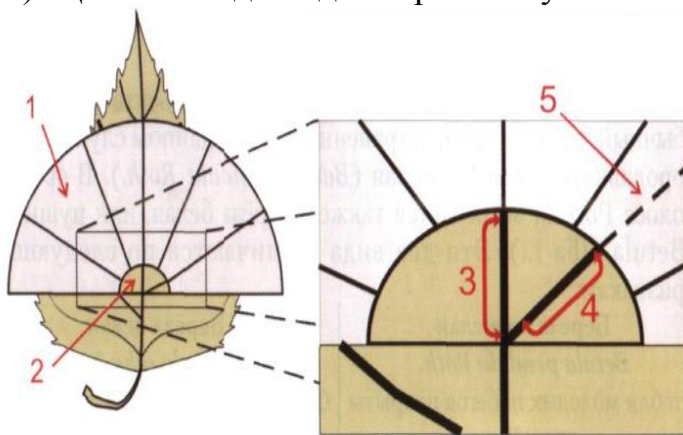


Рис. 22. Вимір кута між жилками листа берези повислої

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 транспортири 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 кожної 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)

Номер ознаки										
№ листа	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 графи 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	
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.

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.

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

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 установленої викладачем ділянки, що характеризується певним типом антропогенного навантаження.

Контрольні запитання

1. Види асиметрії в природі.
2. Що являє собою флуктуюча 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.

Рекомендована література

1. 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.
2. Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захаров В.М. Анализ стабильности развития берёзы повислой в условиях химического загрязнения // Экология, 1996. №6. С.441-444.
3. Методическими рекомендациями 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.