

**Біоіндикація на  
найвищих  
ієрархічних рівнях:  
популяція,  
екосистема, біоценоз**

Біоіндикація проводиться на всіх рівнях організації живого: макромолекул, клітин, організмів, популяцій, угруповань і екосистеми.



**У відповідності з організаційними рівнями біологічних систем можна встановити різні рівні біоіндикації:**

1-й рівень: біохімічні і фізіологічні реакції;

2-й рівень: анатомічні, морфологічні, біоритмічні й поведінкові відхилення;

3-й рівень: флористичні і фауністичні зміни;

4-й рівень: ценотичні зміни;

5-й рівень: біогеоценотичні зміни;

6-й рівень: зміна ландшафтів.

Зазвичай з підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і складність будови, й одночасно ускладнюються їхні зв'язки з навколишнім середовищем. При цьому біоіндикація на нижчих рівнях є складовою біоіндикації на вищих рівнях.

У той час як на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі, специфічні види індикації, зв'язані з впливом будь-якого визначеного стресора, на вищих рівнях здійснюється непряма біоіндикація.

Механізми, що лежать в основі пошкодження деяких клітин, організмів, популяцій, або угруповань живих організмів за впливом того самого фактору, що ушкоджує, будуть відрізнятися, тому що кожен із рівнів структури живого описується визначеним набором показників, що належать тільки до цього рівня.



Добір цих показників для біоіндикації проводиться виходячи з визначених критеріїв, що утворюють **три групи**.

**Перша група складається з критеріїв, що характеризують фундаментальність біологічного впливу, це:**

- 1) існування зв'язку між обраною змінною й такими показниками, як ріст, відтворення, виживаність особин, популяцій, угруповань і екосистеми загалом;
- 2) характер зв'язку між змінною, що спостерігається й реакціями на нижчих і вищих рівнях організації;
- 3) специфічність реакції змінної на фактор, що його спричиняє;
- 4) можливість повернення змінної до свого первісного значення після припинення дії фактору;
- 5) специфічність дії фактору для визначеної групи організмів.

**Друга група включає критерії, що оцінюють ефективність біологічних вимірів, це:**

- 1) характер зв'язку реакції змінної з діючим забрудненням;
- 2) інтенсивність діючого фактору, що спричиняє реакцію змінної, що спостерігається
- 3). межі зміни величини діючого фактору, що викликає ефект, що спостерігається;
- 4) величина проміжку часу, упродовж якого формується реакція (години, дні, роки);
- 5) легкість виявлення перевищення реакції над природним фоном;
- 6) точність виміру реакції змінної, що спостерігається.

**Третю групу утворюють критерії, що характеризують практичну цінність змінних, обраних для біоіндикації, це:**

- 1) оцінка вартості виміру реакції змінної, котра включає вартість капітального устаткування, навчання персоналу і штатів;
- 2) оцінка діапазону використання реакції змінної.



## Клітинний і субклітинний рівні

Біоіндикація на цих рівнях заснована на вузьких межах протікання біотичних і фізіологічних реакцій. Її переваги полягають у високій чутливості до порушень, що дозволяє дуже швидко виявити навіть незначні концентрації поллютантів. Саме на цих рівнях можливо найбільш раннє виявлення порушень середовища.

До числа недоліків відноситься те, що біоіндикатори-клітини і молекули вимагають складної апаратури.

Результати дії поллютантів наступні:

- порушення біомембран (особливо їх проникності);
- зміна концентрації та активності макромолекул (ферменти, білки, амінокислоти, жири, вуглеводи, АТФ);
- акумуляція шкідливих речовин;
- порушення фізіологічних процесів в клітині;
- зміна розмірів клітин.

Щоб розробити той чи інший спосіб біоіндикації на цьому рівні, необхідно з'ясувати механізми дії поллютантів

## Вплив полютантів на біомембрани

Розглянемо вплив полютантів на біомембрани на прикладі клітин рослин. Сірчистий газ.  $\text{SO}_2$  проникає в лист через продихи, потрапляє у міжклітинний простір, розчиняється у воді з утворенням  $\text{SO}_3^{2-}/\text{HSO}_3^-$  -іонів, що руйнують клітинну мембрану. У результаті знижується буферна ємність цитоплазми клітини, змінюються її кислотність і редокс-потенціал.

Озон та інші окисники, наприклад, пероксиацетилнітрат порушують проникність мембран. Цей ефект посилюється в присутності іонів важких металів. У всіх випадках особливому впливу піддаються тилакоїдні мембрани хлоропластів. Їх руйнування - основна причина зниження фотосинтезу під впливом полютантів. Процес фотосинтезу дуже чутливий і служить для біоіндикації забруднення середовища. При цьому оцінюють:

- 1) інтенсивність фотосинтезу,
- 2) флуоресценцію хлорофілу.

Як тест-організм часто використовують мох мніум

Зміна концентрації та активності макромолекул (**ферментів**). Дія полютантів на ферменти порушує процес нормального приєднання ферменту до субстрату (утворення субстрат-ферментного комплексу (С-Ф)). **Це може відбуватися трьома різними способами:**

- 1) До ферменту замість субстрату приєднується полютантами-інгібітор з утворенням комплексу Ф-І (наприклад, отруєння СО);
- 2) Полютант інгібує фермент, розщеплюючи його зв'язок з субстратом;
- 3) Приєднуючись до субстрату разом з ферментом, полютантами інгібує його активність - утворюється стійкий комплекс С-Ф-І. У підсумку порушуються різні процеси, наприклад, асиміляція вуглекислого газу в процесі фотосинтезу.

У клітинах рослин під дією різних порушень накопичуються певні захисні речовини. Біоіндикація пов'язана з визначенням концентрації цих речовин у рослинах:

- ✓ **Пролін** - амінокислота, яка вважається індикатором стресу. Її концентрація зростала в листях тису поблизу доріг з інтенсивним рухом транспорту, в листі каштана внаслідок засолення ґрунту;
- ✓ **Аланін** - амінокислота, накопичувалася в клітинах водорості требоуксії, сосни та кукурудзи при забрудненні;
- ✓ **Пероксидаза і супероксиддисмутаза**. Під впливом стресових агентів утворюються токсичні пероксиди, які знешкоджуються пероксидазою. Наприклад, SO<sub>2</sub> викликає збільшення активності пероксидази і поява ізоферментів супероксиддисмутази. Ці зміни можна виявити за допомогою гель-електрофорезу.
- ✓ **Пігменти**. При забрудненні в клітинах рослин відбуваються такі зміни пігментів: зменшується вміст хлорофілу, який послідовно руйнується (до феофетину, феофорбідю, розпадається пірольне кільце); знижується відношення хлорофіл а/хлорофіл в. Відзначається, що, зокрема, у ялини внаслідок хронічного задимлення SO<sub>2</sub>; сповільнюється флуоресценція хлорофілу. При біоіндикації всі ці зміни фіксують за допомогою приладів: хроматографа, спектрофотометра і флуориметра.

У клітинах рослин під дією різних порушень накопичуються певні захисні речовини. Біоіндикація пов'язана з визначенням концентрації цих речовин у рослинах:

- ✓ **Аденозинтрифосфорная кислота.** Значення АТФ - універсального джерела енергії в клітині - важливий показник її життєздатності. Для його кількісної оцінки запропонований показник «енергетичного заряду». АДФ і АМФ — менш насичені енергією молекули аденозиндифосфорної та аденозинмонофосфорної кислот. Показано, що з ростом концентрації SO<sub>2</sub> в повітрі енергетичний заряд клітин рослин (сосна, водорість требоуксія) знижується.
- ✓ **Білки.** При забрудненні в клітинах зменшується концентрація розчинних білків.
- ✓ **Вуглеводи.** З метою біоіндикації може бути використано спостереження зміни вмісту глюкози і фруктози в листі гороху за дії автомобільних викидів.
- ✓ **Ліпіди.** Газові викиди ведуть до зменшення вмісту міристинової, пальмітинової і лауринової кислот та до збільшення лінолевої і ліноленової кислот у складі ліпідів.

## Акумуляція шкідливих речовин

Показником забруднення середовища може служити підвищена концентрація поллютантів в клітинах живих організмів. Так, виявлена кореляція між вмістом свинцю в листках тису і інтенсивністю автомобільного руху в містах. Накопичення ртуті в пір'ї птахів дозволило за допомогою опудал простежити динаміку забруднень ртуттю. Виявлено, що з початку 40-х років ХХ століття вміст ртуті в пір'ї фазана, куріпок, сапсана та інших збільшилася в 10-20 разів, у порівнянні з 1840-1940 рр.

### **Зміна розмірів клітин.**

Показано, що за газодимового забруднення:

- збільшуються клітини смоляних ходів у хвойних дерев;
- зменшуються клітини епідермісу листя.

Порушення фізіологічних процесів в клітині. Плазмоліз. У клітинах рослин під дією кислот і  $SO_2$  цитоплазма відшаровується від клітинної стінки

## Організмний рівень

Ще в давнину деякі види рослин використовували для пошуку руд та інших корисних копалин. Пошкодження рослин димом були відзначені в середині XIX століття навколо содових фабрик Англії та Бельгії.

**Переваги біоіндикації на цьому рівні** - це невеликі витрати праці і відносна дешевизна, оскільки не потрібні спеціальні лабораторії і висока кваліфікація персоналу.

Морфологічні зміни рослин, які використовуються в біоіндикації: **Зміна кольору листя (неспецифічна, рідше специфічна, реакція на різні полютантів):**

- ✓ **Хлороз** - бліде забарвлення листя між жилками. Виявляється за надлишку в ґрунті важких металів і за газодимового забруднення повітря.
- ✓ **Пожовтіння ділянок листя.** Характерно для листяних дерев при засоленні ґрунту хлоридами.
- ✓ **Почервоніння,** пов'язане з накопиченням антоціану. Виникає під дією сірчистого газу.
- ✓ **Побуріння або побронзовіння.** Часто означає початкову стадію некротичних ушкоджень.
- ✓ **Листя немов просякнуті водою** (як при морозних пошкодженнях). Виникає під дією ряду окислювачів, наприклад, пероксиацетилнітрату.
- ✓ **Сріблясте забарвлення листя.** Виникає під дією озону на листі тютюну.





**Некрози** - відмирання ділянок тканини листка, їх форма іноді специфічна. Міжжилковий некроз - це некроз тканин між бічними жилками 1-го порядку. Часто відзначаються при впливі сірчистого газу. Крайові некрози часто зустрічаються на листі липи під впливом солі (хлориду натрію), якою взимку посипають міські вулиці для танення льоду. «Риб'ячий скелет» - поєднання міжжилкових і крайових некрозів. Верхівкові некрози найчастіше зустрічаються у однодольних покритонасінних і хвойних рослин. Наприклад, хвоїнки ялиці і сосни після дії сірчистого газу стають на вершині бурими, верхівки листя гладіолусів після обкурювання фтористим воднем стають білими.



Ожог листя - симптом дії сірчистого газу

**Передчасне в'янення.** Під дією етилену в теплицях не розкриваються квітки у гвоздики, в'януть пелюстки орхідей. Сірчистий газ викликає оборотне в'янення листя малини.



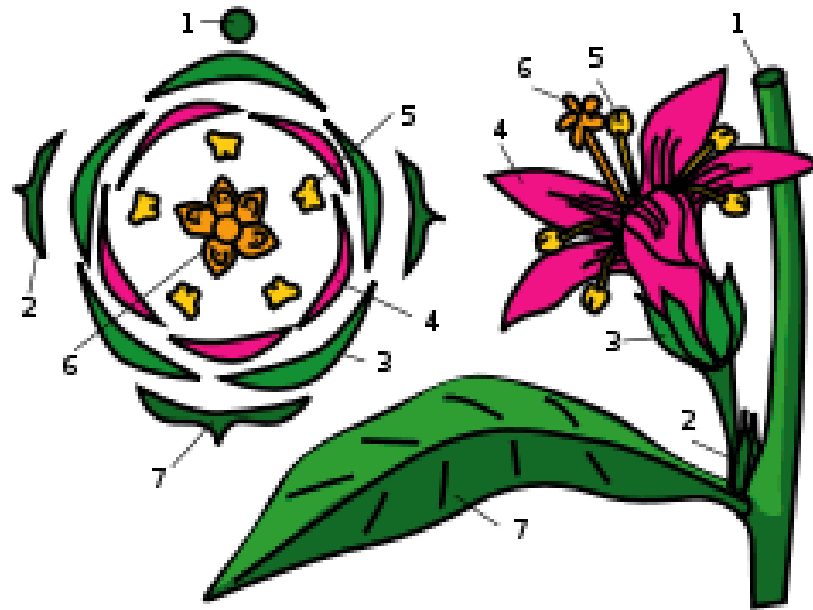
**Дефоліація** - опадання листя. Зазвичай спостерігається після некрозів і хлорозів. Наприклад, осипання хвої у ялини і сосни при газодимових забрудненні повітря, листя лип та кінських каштанів - від солі для танення льоду, агрусу та смородини — під дією сірчистого газу.



**Зміни розмірів органів, зазвичай неспецифічні.** Наприклад, хвоя сосни поблизу заводів добрив подовжується від нітратів і коротшає від сірчистого газу. У ягідних кущів дим викликає зменшення розмірів листків.



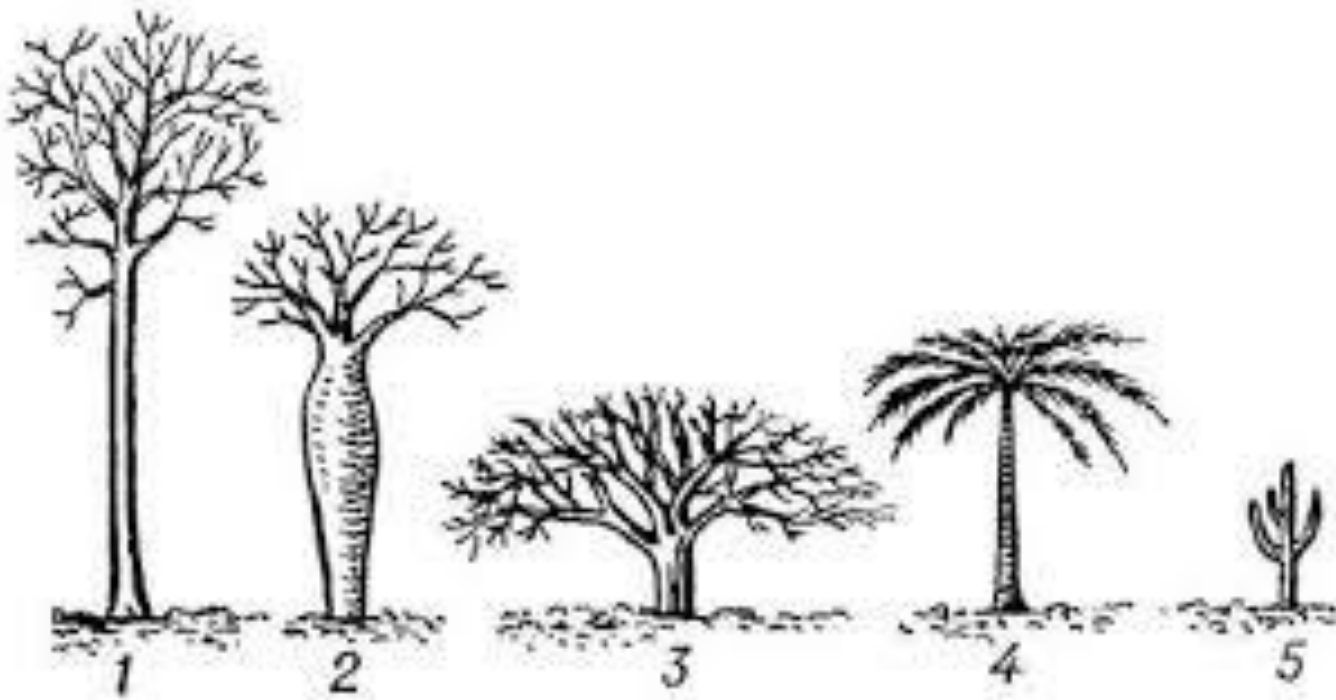
**Зміни форми, кількості та положення органів.** Аномальну форму листа відзначали після радіоактивного опромінення. В результаті локальних некрозів виникає роздування або викривлення листа, зрощення або розщеплення окремих органів, збільшення або зменшення частин квітки.



**Зміна життєвої форми рослини.** Кущувата або подушкоподібна форма зростання властива деревам, особливо липі, за сильного стійкого забруднення повітря.



**Зміна життєвості.** У присутності багатьох полютантів бонітет дерев знижується від 1-2 класу до 4-5. Зазвичай це супроводжується «іржавінням» крони і зменшенням приросту.



**Зміни приросту неспецифічні**, але широко застосовуються. Вимірюють радіальний приріст стовбурів, приріст у довжину пагонів і листя, коріння, діаметр таллома лишайника. Зміна плодючості. Виявлено у багатьох рослин. Наприклад, за дії полютантів зменшується утворення плодових тіл у грибів, знижується продуктивність у чорниці та ялини. Деякі види лишайників не утворюють плодових тіл в сильно забрудненому повітрі, але здатні розмножуватися вегетативно.





# Біоіндикація забруднень наземних екосистем. Ссавці-біоіндикатори

Зараз для біоіндикації забруднення наземних екосистем запропоновано використовувати ряд **ссавців**, які значною мірою відповідають вищенаведеним вимогам.

Використання природних популяцій ссавців як індикаторів видів є виправданим ще і тому, що в медичній токсикології накопичено чимало даних, які стосуються впливу різних ксенобіотиків на лабораторних і домашніх тварин. Це суттєво спрощує вирішення багатьох методологічних проблем саме на ссавцях.

З-поміж уже визнаних і потенційних індикаторних видів є мешканці ґрунту і підстилки, що його вкриває, травоїдні від гризунів до крупних копитних і, нарешті, хижаки.



З-поміж них можна знайти як консументів вищих порядків, так і масові домінантні види консументів нижчих порядків із порівняно коротким життєвим циклом і стійкою динамікою чисельності популяцій. **Із комахоїдних великий інтерес становлять кроти.** Вони широко поширені на всій території лісної зони, є евритопними, осілими і антисинантропними. Кроти є вищою ланкою трофічного ланцюжка по відношенню до ґрунтової мезофауни.

Індикаторний вид	Середя життя	Харчова спеціалізація
Крот ( <i>Talpa europaea</i> L. і <i>T. altaica</i> Nikolsky)	Ґрунт	Комахоїдні, ґрунтова мезофауна
Землерийка-бурозубка ( <i>Sorex araneus</i> L.)	Лісова підстилка	Комахоїдні, мезофауна підстилки
Європейська руда полівка ( <i>Clethrionomus glareolus</i> Schreber) і сибірська червона полівка ( <i>Cl. rutilus</i> Pall.)	Лісова підстилка	Зеленоїдні
Ондатра ( <i>Ondatra zibethica</i> )	Прибережна зона	Зеленоїдні

Косуля ( <i>Capreolus capreolus</i> )	Лісова зона	Зеленоїдні
Куниця ( <i>Martes lupus</i> ) і соболь ( <i>M. ri bell i na</i> )	Лісова зона	Хижаки, лісові гризуни
Лисиця ( <i>Vulpes vulpes</i> )	Лісова зона	Хижаки, лісові і польові гризуни
Песець ( <i>Alopex lagopus</i> )	Тундра і лісотундра	Хижаки, дрібні гризуни
Бурий ведмідь ( <i>Ursus arctos</i> )	Лісова зона	Всеїдний

У підстилці, яка утворена травами, що загинули, і листям, яке опало, живе багато видів комах. Забруднюючі атмосферу компоненти осаджуються насамперед на підстилці. Тому комахи, які харчуються рослинними залишками, і різноманітні зоофаги утворюють харчовий ланцюжок, у якому відбувається швидка біомагніфікація. Вищим хижакам цього компонента екосистем є землерийки роду *Sorex*. Найбільш крупна з них, до того ж із широким ареалом поширення – **бурозубка звичайна** (*S. Araneus* L.).



З-поміж дрібних гризунів найбільший інтерес як біоіндикатори становлять **хом'якоподібні – європейська рижа і сибірська червона полівки**, які мають схожі риси екології та охоплюють усю лісову зону Євразії і в цьому смислі доповнюють один одного, а також широко поширені тварини, які мешкають біля води, – полівка-економка й ондатра. Полівки мають високу і достатньо стійку чисельність, тому використання їх в процесі біоіндикації забезпечує безперервність спостережень



У більшості європейських країн визнання як біоіндикатор отримала **косуля**. Очевидно, парним (таким, що доповнює і взаємозамінює) для неї індикаторним видом може слугувати лось, ареал якого останнім часом поширився.

Промислові хижаки, що харчуються дрібними гризунами, – **куниця і соболь** – є схожими за екологією. Ареал їхнього поширення перекриває всю лісну зону Євразії. Проте для того, щоб використовувати ці види як парні індикатори, необхідно вивчити особливості накопичення ними екотоксикантів у районах спільного життя.



**Соболь**



**Куниця**



Валерий Кисель

Об'єктами промислу слугують також **лисиця і песець**. Характерною особливістю лисиці є те, що значна частина харчового раціону добувається нею на сільськогосподарських угіддях. Тому вона може слугувати індикатором забруднення полів отрутохімікатами сільськогосподарського призначення (різноманітними пестицидами) і важкими мінералами, що містяться в мінеральних добривах.





## Морські екосистеми

Екотоксиканти, що потрапляють до морів та океанів, розподіляються в них нерівномірно. Максимально забрудненими виявляються прибережні води, причому у вмісті токсикантів звичайно спостерігаються мозаїчність і зональність. Багато з них переважно локалізуються на межах розділу фаз (вода – повітря, вода – донні відкладення), де відбуваються складні і різноманітні фізико-хімічні і біологічні процеси.

Поверхня розділу "вода – атмосфера" слугує середовищем життя для сукупності організмів, що утворюють нейстон і плейстон. **Нейстонні** організми живуть біля поверхневої плівки, тому вони більшою мірою зазнають впливу нафтопродуктів і добре розчинних у них поліхлорованих сполук – пестицидів і поліхлорбіфенілів.

Значна частина забруднюючих компонентів, проходячи крізь товщу води у складі суспензій, осаджуються на дно. Тому вміст багатьох токсикантів у придонних і порових водах, а також у донних відкладах є набагато більшим, ніж у водній товщі. Заховані в донних відкладах органічні речовини і сполуки важких металів можуть знову потрапити до води. Таке "вторинне" забруднення зумовлено скаламучуванням осадків донними організмами (молюски, ракоподібні, деякі риби), але особливо інтенсивно воно відбувається при хвильовому і повітряному впливі, а також у процесі апвелінгу.

Унаслідок накопичення екотоксикантів у придонних водах і осадках найбільш уразливими виявляються малорухомі або прикріплені бентосні організми, які живуть у прибережних зонах. Сидячий спосіб життя і локалізація на невеликих глибинах сприяє використанню їх як біоіндикаторів

Як індикаторні організми перевірялося широке коло видів **водоростей, тварин і мікроорганізмів**. Зараз визнається, що для з'ясування рівня забрудненості морських екосистем важкими металами найбільше підходять **бурі водорості-макрофіти і молюски**.

**Бурі водорості** (Phaeophyta) – фукуси, ламінарії, цитозіри, саргаси – накопичують важкі метали в менших кількостях, ніж це характерно для багатьох видів морських зелених і червоних водоростей-макрофітів і фітопланктону. Проте, на відміну від останніх, поглинання бурими водоростями іонів металів лінійно пов'язане з їхніми концентраціями в навколишньому середовищі. Окрім того, вони більш міцно утримують метали в своїх тканинах.

Здатність накопичувати значні кількості токсичних металів і при цьому виживати пов'язують з високим вмістом специфічних для відділу Phaeophyta полісахаридів – полімерів L-гулурунової і D-манурової кислот, що *називаються альгіновими кислотами*. Їхні солі, альгінати, містяться переважно в клітинних стінках сланей, складаючи до 40 % маси сухих водоростей. **Альгінові кислоти** характеризуються високою спорідненістю із двовалентними іонами. Зв'язування ними іонів важких металів з утворенням нерозчинних альгінатів відбувається за механізмом іонного обміну. Тому виділені з бурих водоростей альгінати застосовують для виведення радіоактивного стронцію з організмів людини і домашніх тварин.



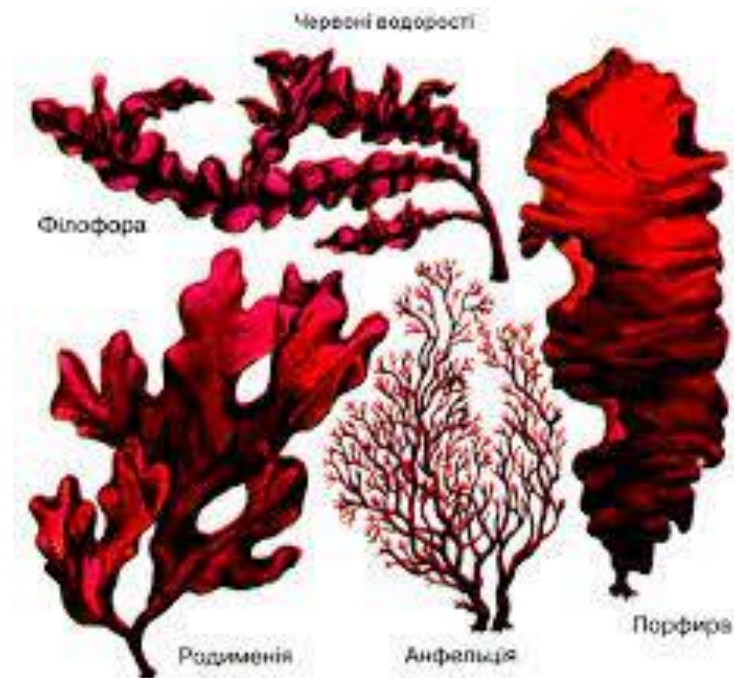
Очевидно, альгінові кислоти виконують не тільки структурні функції (подібно лігніну і целюлозі наземних рослин): ці полісахариди перешкоджають проникненню до клітин водоростей іонів токсичних важких металів. Міцність альгінатів, що утворюються, визначає виключно великий період напіввиведення зв'язаних металів. В експериментах з ізотопами заліза  $^{59}\text{Fe}$  було з'ясовано, що час напіввиведення його для фуксової водорості *Fucus vesiculosus* складає близько 180 діб.



Найбільшу увагу як біоіндикатори привертають **бурі водорості** порядку Fucales, які утворюють три родини: **фукусові** (Fucaceae), **саргасові** (Sargassaceae) і **цистозейрові** (Cystoseiraceae). Це, зокрема, пояснюється їхнім широким поширенням – вони ростуть по всіх морях, окрім Каспійського й Аральського, причому самі стають об'єктом промислу (для отримання альгінатів, виробництва кормової муки і добрива).



Деякі види фукусового добрива вживають у їжу. У прибережних холодних морях західної і східної півкуль широко поширені фукуси (*Fucus vesiculosus*, *F. evanescens*), костарії (*Costaria costata*) і сцитосифон (*Scytosiphon lomentaria*). У більш теплих водах їм на зміну приходять саргаси (*Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *S. tosaene*), пельвеція (*Pelvetia wrightii*) і представники інших родів порядку *Fucales*.



Найбільші концентрації, як і варто було очікувати, були зареєстровані у водоростей, що ростуть біля гирла рік, які виносять значні кількості теригенного матеріалу й антропогенних домішок. Аналогічна картина спостерігалася і при дослідженні хімічного складу бурих водоростей біля узбережжя Англії, Ірландії, Норвегії.

Залізо	22-258	Цинк	20-915
Марганець	2-175	Свинець	0,5-23
Мідь	1-9	Кадмій	0,4-8

Граничні значення концентрацій у водоростях Атлантики були набагато вищими і сягали (мкг/г сухої маси):

Залізо	2400	Цинк	3700
Марганець	250	Свинець	136
Мідь	300	Кадмій	31

Характерним є те, що підвищення вмісту цинку реєструвалося у водоростях із районів, які перебували під сильним антропогенним пресом. Очевидно, цей показник може слугувати своєрідним індикатором освоєння морського узбережжя людиною.



Поруч із водоростями в біоіндикації забруднення морських екосистем важкими металами використовуються **двостулкові (Bivalvia) і черевоногі (Gastropoda) молюски**. Ці безхребетні тварини широко розповсюджені в прибережних водах усіх морів і звичайно утворюють великі популяції. Багато двостулкових молюсків (мідії, устриці, гребінці) вживаються в їжу.



Крупні двостулкові молюски щодобово пропускають крізь мантийну порожнину багато десятків і сотень літрів води, що містить суспендовані часточки. Їхня здатність накопичувати токсиканти з неорганічних суспензій і, таким чином, характеризувати повне забруднення розглядається як перевага **перед біоіндикаторами водоростями**. Проте метали набагато швидше виводяться з організмів цих тварин (гІ/2~ 2 тижні), тобто можливість отримання з їхньою допомогою усереднених за часом показників забрудненості є обмеженою.



Так само, як і у випадку з водоростями, у молюсків існує особливий механізм зв'язування іонів важких металів, який забезпечує високу пластичність і дає їм можливість вижити в умовах як природних геохімічних аномалій, так і сильного антропогенного забруднення вод цими токсинами.



У цитоплазмі молюсків із забруднених вод виявлені великі кількості водорозчинних низькомолекулярних білків-металтіонеїнів, які мають значну спорідненість з іонами металів. Молекулярні маси цих білків коливаються від 6 до 12 тис. При цьому вміст у них цистеїну сягає 30-35 %. Встановлено, що металтіонеїни з молекулярними масами до 25 тис. Д. а. синтезуються і в організмах хребетних тварин у відповідь на введення іонів кадмію, цинку, міді і ртуті.

У морських безхребетних у зв'язуванні, а отже, і в детоксикації деяких важких металів беруть участь не тільки металтіонеїни. У тканинах зябер, мантиї і травної залози мідії *M. galloprovincialis* були виявлені білки, які зв'язують мідь і мають відносно невисокий вміст цистеїну. Навіть у мідій, що не зазнали впливу іонів  $\text{Cu}^{2+}$ , були виявлені такі білки. Очевидно, вони здійснюють не тільки захисну функцію по відношенню до цитотоксичного впливу цього металу, але також грають важливу роль в основному метаболізмі життєво необхідної міді.



**Водорості-макрофіти і молюски** можуть також використовуватися як біоіндикатори забруднення морських екосистем органічними **поліхлорованими сполуками**. Дані про накопичення цих еко-токсикантів у гідробіонтах отримані для багатьох районів Світового океану, у тому числі для східної частини Балтійського моря.



У воді центральної частини Фінської затоки (бухта Колга) найбільші концентрації поліхлорованих біфенілів і суми ДЦТ (ДДТ + ДДД + ДДЕ) у середині 1980-х рр. складали 6,9 і 0,13 нг/л відповідно. У водоростях *Fucus vesiculosus* (у розрахунку на сиру біомасу) середні концентрації ПХБ дорівнювали 9,4 мкг/г ( $V_{cf} = 2170$ ), а суми ДДТ – 6 мкг/г ( $V_{cf} = 46150$ )

Вміст ПХБ і ДДТ у мідії їстівній із різних районів Балтійського моря в ці роки коливався від 33 до 109 і від 26 до 94 мкг/г сирої маси відповідно. Ще більшим він був у тканинах молюска-мулоїда *Macoma baltica*: 78-174 мкг/г ПХБ і 40-110 мкг/г ДДТ. І у водоростях, і в молюсках основні кількості цих ліпофільних екотоксикантів містилися в жирових тканинах.



## Біоіндикація на рівні біосфери

Деякі приклади індикаторів глобальних змін середовища: «повзуча евтрофікація». Присутність в морській воді стічних вод все частіше індукують червоні та бурі припливи. Вони виникають через спалахи чисельності одноклітинних водоростей: токсичних дінофлагелят (червоні) і діатомових водоростей (бурі);



**Глобальне потепління клімату.** Звичайним явищем стає «червоний сніг». З'являється в горах при підвищеній інсоляції завдяки зростанню чисельності одноклітинних водоростей (в основному гемококів).





**Фонове забруднення середовища.** Навіть на заповідних територіях за останні 40 років знизилася різноманітність і чисельність тварин. Регулярне та повсюдне застосування пестицидів призвело до зниження чисельності ґрунтових членистоногих на полях за останні 30 років в кілька разів.



Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій.  
Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни.  
Рівне: Дока-центр, 2018. – 94 с.