

($K_c = 1,0-0,95$); 2) висока ($K_c = 0,95-0,8$); 3) середня ($K_y = 0,8-0,5$); 4) низька ($K_c = 0,5-0,1$); 5) нестійка ($K_c = 0,1-0$).

2.3.5 Біоіндикація як метод оцінювання стану біоценозів і довкілля

Біоіндикація – оцінка якості НПС за станом її біоти. Біоіндикація заснована на спостереженні за складом і чисельністю видів-індикаторів.

Біоіндикація ґрунтується на адекватному відображенні живим організмом умов середовища, в яких він розвивається і на зміну яких відповідним чином реагує. Біоіндикатори – види, групи видів або угруповання, за наявності, ступенем розвитку, зміною морфологічних, структурно-функціональних, генетичних характеристик яких судять про якість НПС і стан екосистем.

Біоіндикацію часто плутають з біотестуванням. Але якщо при біоіндикації організми вилучаються з природи і по їх стану оцінюють ступінь забруднення, то при біотестуванні якість води, ґрунтів тощо оцінюється за допомогою лабораторних об'єктів (тварин, рослин, мікроорганізмів), які розміщують в тестованому середовищі вже в лабораторії.

Основним завданням біоіндикації є розробка методів і критеріїв, які могли б адекватно відбивати рівень антропогенного впливу з урахуванням комплексного характеру забруднення і діагностувати ранні порушення в найбільш чутливих компонентах біотичних співтовариств.

Вважається, що використання методу біоіндикації дозволяє вирішувати завдання екологічного моніторингу в тих випадках, коли сукупність чинників антропогенного впливу важко або незручно вимірювати безпосередньо.

На жаль, сучасна практика біоіндикації носить значною мірою феноменологічний характер, виражений в просторовому викладі помічених дослідником фактів поведінки різних видів організмів в конкретних умовах середовища. Іноді ці описи супроводжуються не завжди обґрунтованими висновками, що носять, як правило, суто оцінний характер (типу «добре / погано», «чисто / брудно»), та ґрунтуються на чисто візуальних методах порівняння або використання недостатньо достовірних індексів. Найчастіше такий «прогноз» робиться, коли «громадська» думка по кінцевому результату оцінки якості екосистеми вже заздалегідь відома, наприклад, по прямих або непрямих параметрах середовища. В результаті цього роль біоіндикації виявилася зведеною до такої сукупності дій, що технологічно співпадає з біомоніторингом:

- виділяється один або декілька досліджуваних чинників середовища (за літературними даними або у зв'язку з наявною програмою моніторингових досліджень);

- збираються польові і експериментальні дані, що характеризують біотичні процеси в даній екосистемі, причому теоретично ці дані повинні вимірюватися в широкому діапазоні варіювання досліджуваного чинника (наприклад, в умовно-чистих і в умовно-брудних районах);

- деяким чином робиться висновок про індикаторну значущість якого-небудь виду або групи видів.

Функції індикатора виконує той вид, який має вузьку амплітуду екологічної толерантності по відношенню до якого-небудь чинника. Переважно індикаторами є рослини – організми, не здатні до активного переміщення. Ряд рослин-індикаторів певним видимим чином реагує на підвищення або зниження концентрації мікро- і макроелементів в ґрунті. Це явище використовується для попередньої оцінки ґрунтів, визначення можливих місць пошуку корисних копалини.

Індикатором забруднення може бути вміст важких металів в організмі хребетних тварин, особливо ссавців. У воді це може бути наступний ланцюжок: вода – донні відкладення – водні рослини – водні безхребетні – плотва – судак.

Оцінка забруднення атмосферного повітря методом ліхеноіндикації. Одним з найбільш використовуваних видів у біоіндикації є лишайники. Епіфітні лишайники широко використовуються в якості біоіндикаторів забруднення атмосферного повітря, особливо сірчистим ангідридом. Причини низької стійкості до забруднення атмосферного повітря: 1) висока чутливість водоростевого компонента; 2) відсутність захисних покривів; 3) чутливість до кислотності субстрату; 4) невеликі розміри і значна тривалість життя.

По мірі впливу антропогенних чинників на різні види лишайників було виділено 10 класів їх полеотолерантності. Вид відноситься до того класу полеотолерантності, за антропогенних умов якого він найчастіше зустрічається, має найвищі показники покриття і чисельності. Наприклад, перший клас: природні ландшафти без антропогенного впливу; десятий клас: міські і індустріальні ландшафти з дуже сильним антропогенним впливом.

На основі цього розроблений метод ліхеноіндикаційного картування забрудненості атмосферного повітря.

Індекс полеотолерантності *Траса*:

$$I.P. = \sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot c_i}{C_n}, \quad (2.48)$$

де a_i – клас полеотолерантності виду (екологічний індекс);

c_i – покриття виду, визначається по 10 бальній шкалі (наприклад, 1 бал – 3 %, 10 балів – 80-100%);

C_n – загальне покриття видів, також дається за 10-бальною шкалою.

У одному місці життя береться не менше 20 дерев одного виду. Для кожного дерева і місця життя в цілому обчислюються середні значення індексу, який коливається від 0 до 10. Чим більше $I.P.$, тим більше забруднено повітря у відповідному місці життя. Розроблена шкала відповідності значень $I.P.$ концентрації діоксиду сірки (табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Концентрації діоксиду сірки, що відповідають певним значенням $I.P.$

$I.P.$	1-2	2-5	5-7	7-10
Концентрація SO_2 , мкг/м ³	0	10-30	30-80	100-300

Індекс чистоти атмосферного повітря (де Слуйвер і Леблан):

$$И.А.Ч. = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot f_i}{10}, \quad (2.49)$$

де Q_i – екологічний індекс кожного виду (міра стійкості до забруднення, змінюється від 1 до 30 і визначається по середніх значеннях кількості видів, які траплялися в досліджуваному районі);

f_i – комбінований показник частоти зустрічаємості-покриття кожного виду, змінюється від 1 до 5 і визначається візуально (В. Г. Каплін, 2001, В. П. Кучерявий, 2001).

Сапробіологічний аналіз поверхневих вод. Одним з методів біоіндикації, що застосовуються для оцінки екологічного стану водних об'єктів є сапробіологічний аналіз. Спочатку під сапробністю розумілася здатність організмів розвиватися при більшому або меншому вмісті у воді органічних ЗР. Потім експериментально було доведено, що сапробність організмів обумовлена як його потребою в органічному живленні, так і пристосуванням до існування в забруднених водах з продуктами розпаду і дефіцитом кисню.

У системі сапробіологічного аналізу існують спеціально розроблені списки індикаторних організмів з вказівкою їх приналежності до тієї або іншої зони сапробності.

Організми-індикатори ділять на чотири групи: 1) організми сильно забруднених вод – *полісапроби* або *полісапробіонти*; 2) організми помірно забруднених вод – *мезосапробіонти* або *мезосапроби* (α і β); 3) організми слабо забруднених вод – *олігосапроби* або *олігосапробіонти*; 4) організми абсолютно чистих природних вод – *ксеносапроби* або *ксеносапробіонти*.

За *Г. І. Швєбсом* (2003) під *сапробністю* розуміється насиченість природної води та донних відкладів водойм і водотоків органічними речовинами, здатними розкладатися.

Органічні речовини можуть проявити токсичний вплив на організми-індикатори (біоту) відразу ж після скиду у водне середовище зворотних вод. Після порушення екосистеми настає період релаксації, бо окислення органічних сполук здійснюється за допомогою вільнорадикальних процесів. Рослини справляються з ними за допомогою антиокислювачів, у водному середовищі поступово знижується токсичність і відновлюється біологічна повноцінність. Це підтверджує множинність шляхів прояву самоочисної здатності водного середовища.

Вперше систему оцінювання сапробності вод за сукупністю індикаторних організмів розробили *Р. Колквітс* і *М. Марссон*. Забрудненість вони умовно поділили на три характерні зони сапробності: полісапробну (дуже забруднену), мезосапробну (альфа-мезосапробну – значно забруднену, бета-мезосапробну – помірно забруднену) та олігосапробну (слабо забруднену).

Одним з найбільш зручних індексів для обробки результатів сапробіологічного аналізу є індекс сапробності *S* (*Р. Пантле*, *Т. Бук*, *Сладечек*). Для його визначення приймають так звану індикаторну значимість (S_i) для олігосапробних організмів за 1, бета-мезосапробних – 2, альфа-мезосапробних – 3, полісапробних – 4 одиниці. Кількість особин кожного виду (h_i) оцінюють також відносними величинами: випадкові особини – 1, які часто зустрічаються – 3, масова кількість – 5 одиниць. З урахуванням цього індекс сапробності визначають за формулою:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (2.50)$$

де S_i – індикаторна значимість i -го виду;

h_i – відносна численність i -го виду;

n – кількість видів-індикаторів.

Залежно від значення S , вода відноситься до певного типу сапробності (табл. 2.14). Отримані значення S корелюють з показником БСК.

Деякі дослідники відмічають, що застосування індексу сапробності *Р. Пантле* і *Т. Бука* не завжди дає об'єктивне пояснення біологічних явищ у річці та водоймі і його не можна вважати вичерпаним.

Наприклад, коли із водних джерел надходить вже сформований комплекс організмів зоопланктону, оцінка якості води за індикаторними організмами не бажана. Для цього більш доцільне використання індексів видового різноманіття.