

**Методи
біоіндикаційних
досліджень**

План

1. Методи виявлення та оцінки індикаторів.
2. Біологічний і біохімічний методи досліджень.
3. Еколого-фізіологічний метод.
4. Експериментальний метод.
5. Польовий геоботанічний метод.
6. Картографічний метод.
7. Порівняльно-географічний метод.
8. Математичні і статистичні методи аналізу результатів біоіндикації.
9. Обробка та інтерпретація результатів біологічної оцінки стану навколишнього середовища.
10. Прилади і обладнання у біоіндикації.
11. Технічне забезпечення біоіндикації

У сучасній екології широко застосовують дуже багато різних **фізико-хімічних методів аналізу**: діаліз, центрифугування, оптичні методи, різні види хроматографії, рН-метрію, гравіметрію, рефрактометрію, мас-спектрометрію, радіоімунні методи досліджень та інші.

Контактні методи (фізико-хімічні ...) вимагають досить складного і дорогого обладнання, спеціальних лабораторій і добре навченого персоналу. В країнах із слаборозвиненою матеріально-технічною базою ці аналізи часто доволі тривалі по часу, матеріало- і трудовитратні.

Інтерпретація результатів не завжди адекватна екологічній ситуації.

Крім того, користуючись **інструментальними методами дослідження**, можна визначити ті чи інші характеристики об'єкту дослідження (проби повітря, води, ґрунту, біоматеріалу тощо) **лише на момент відбору проб.**

Однак лишайники, наприклад, здатні накопичувати радіоактивні елементи, мікроелементи, вміст радіонуклідів у них може бути у 10 разів вищий, ніж у трав'янистих рослинах. Лишайники нагромаджують газоподібні й тверді речовини з атмосфери практично постійно і необмежено. Тому, відстежуючи процеси їх накопичення або відсутність, можна оцінити рівень забруднення середовища.

Біоіндикація дозволяє визначати не лише зміни окремих фізичних або хімічних параметрів, а й цілісні системні зміни в біоценозах, прогнозувати подальший розвиток подій.



Рослинність може бути використана не лише як індикатор окремих факторів середовища, а також як показник сумарних умов: *типів ґрунту чи клімату, гірських порід, сільськогосподарських угідь*



Біоіндикатор (від bios - життя і пізньолат. indicator - показчик) - організм, вид або біоценоз, за наявністю і станом якого можна судити про властивості середовища, в тому числі про присутність і концентрацію забруднювачів.



Виділяють дві форми реакції живих організмів, що використовують як біоіндикатори - **специфічну і неспецифічну.**



У першому випадку відбуваються зміни, пов'язані з дією одного якогось фактора. При неспецифічній біоіндикації різні антропогенні фактори викликають однакові реакції.

У залежності від типу відповідної реакції біоіндикатори поділяють на **чутливі** і **кумулятивні**.



Чутливі біоіндикатори реагують на стрес значним відхиленням від життєвих норм, а **кумулятивні** накопичують антропогенний вплив, що значно перевищує нормальний рівень в природі, без видимих змін.

Організм-індикатор повинен задовольняти ряду вимог:

- бути типовим для даних умов;
- мати високу чисельність в досліджуваному екотопі;
- мешкати в даному місці протягом ряду років, що дає можливість простежити динаміку забруднення;
- перебувати в умовах, зручних для відбору проб.

Так, **кропива** є індикатором високої концентрації в ґрунті кальцію; багато **рослин-галофілів** вказують на високий ступінь **засолення ґрунту**.



Деякі водні організми свідчать про ступінь забруднення води (наприклад, малощетинкові черв'яки роду Tubifex, личинки двокрилих комах родів Chironomus, Eristalis та ін.);



Про чистоту води судять по нормальному розвитку **вищих ракоподібних** - наприклад, бокоплавів роду *Gammarus*, водоростей роду *Fontinalis* та ін.



При виборі біоіндикаторів необхідно мати на увазі, що:

- ❖ стеноойкні види більш надійні, ніж евріойкні;
- ❖ багаторічні краще, ніж однорічні;
- ❖ великі організми краще, ніж дрібні;
- ❖ біоценози з домінуванням таких видів вельми надійні.

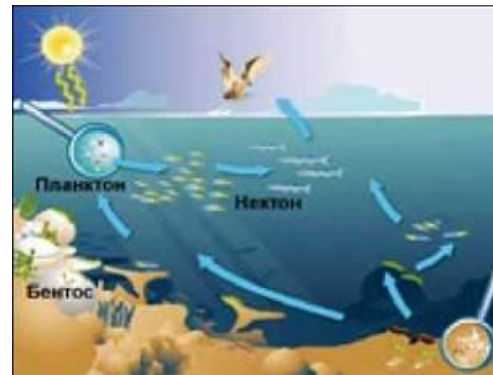
Багато організмів досить чутливі і вибагливі по відношенню до різних факторів середовища проживання (хімічного склад ґрунту, води, атмосфери, кліматичних і погодних умов, присутності інших організмів тощо) і можуть існувати тільки в певних, часто вузьких межах зміни цих факторів.



Наприклад, скупчення морських рибоїдних птахів свідчить про підхід косяків риб.



Специфічні організми планктону і бентосу вказують на походження водних мас і течій, характеризують певні параметри середовища проживання (солоність, температуру тощо).



Лишайники і деякі хвойні дерева є біоіндикаторами чистоти повітря.



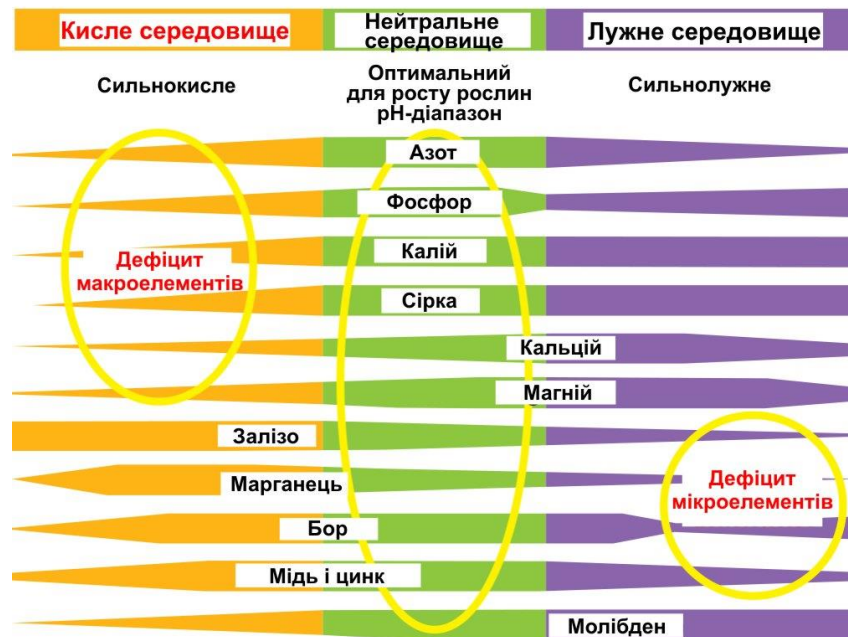
Ряд ґрунтових мікроорганізмів і індикаторні рослини служать біоіндикаторами при пошуках різних корисних копалин.

За комплексами ґрунтових тварин можна визначати типи ґрунтів і їх зміни під впливом господарської діяльності людини.



Локальні внутрішньовидові угруповання у багатьох тварин, наприклад у риб, характеризуються в залежності від району проживання різними комплексами паразитів-індикаторів.

За допомогою біоіндикаторів встановлюють вміст в субстраті вітамінів, антибіотиків, гормонів та інших біологічно активних речовин, а також визначають інтенсивність різних хімічних (рН, вміст солей та ін.) і фізичних (радіоактивність та ін.) факторів середовища.



рН ґрунту і доступність поживних речовин

Важливий аспект застосування біоіндикаторів - оцінка з їх допомогою ступеня забруднення навколишнього середовища, постійний контроль (моніторинг) його якості і змін.



Зазвичай рослини-біоіндикатори використовуються для оцінки забруднення повітря



Зазвичай тварини-біоіндикатори використовуються для оцінки забруднення ВОДИ.



При екологічному моніторингу використання біоіндикаторів часто дає більш цінну інформацію, ніж колишня оцінка забруднення приладами, так як біоіндикатор реагує відразу на весь комплекс забруднень. Крім того, маючи «пам'ять», вони своїми реакціями відображають забруднення за тривалий період.

На листках дерев при забрудненні атмосфери з'являються некрози (відмираючі ділянки).



По присутності деяких стійких до забруднення видів та відсутності нестійких видів (наприклад, лишайників) визначається рівень забруднення атмосфери міст.



Здатність деяких видів біоіндикаторів акумулювати забруднюючі речовини дозволила Швеції виявити наслідки аварії на Чорнобильській АЕС при аналізі лишайників.



Для виявлення забруднюючих речовин використовуються різні види біологічних індикаторів:

- ✓ для загального забруднення - лишайники і мохи
- ✓ для забруднення важкими металами - слива і квасоля
- ✓ діоксидом сірки - ялина і люцерна
- ✓ Амоніаком – соняшник
- ✓ сірководнем - шпинат і горох
- ✓ поліциклічними ароматичними вуглеводнями (ПАВ) - недоторка та ін.

Використовуються і так звані «живі прилади» - рослини-індикатори, висаджені на грядках, поміщені в вегетаційні судини або в спеціальні коробочки (в останньому випадку використовуються мохи, коробочки з якими називаються біометрами). «Живі прилади» встановлюють в найзабрудненіших частинах міста.



При оцінці забруднення водних екосистем як біоіндикатори можуть використовуватися вищі рослини або мікроскопічні водорості, організми зоопланктону (інфузорії-туфельки) і зообентосу (молюски та ін.). У середній смугі у водоймах при забрудненні води розростається кушир, рдест плаваючий, ряска, а в чистій воді - водокрас жаб'ячий і сальвінія.



За допомогою біологічних індикаторів можна оцінювати засолення ґрунту, інтенсивність випасу, зміни режиму зволоження і т.і. У цьому випадку весь склад фітоценозу використовується як біоіндикатор.



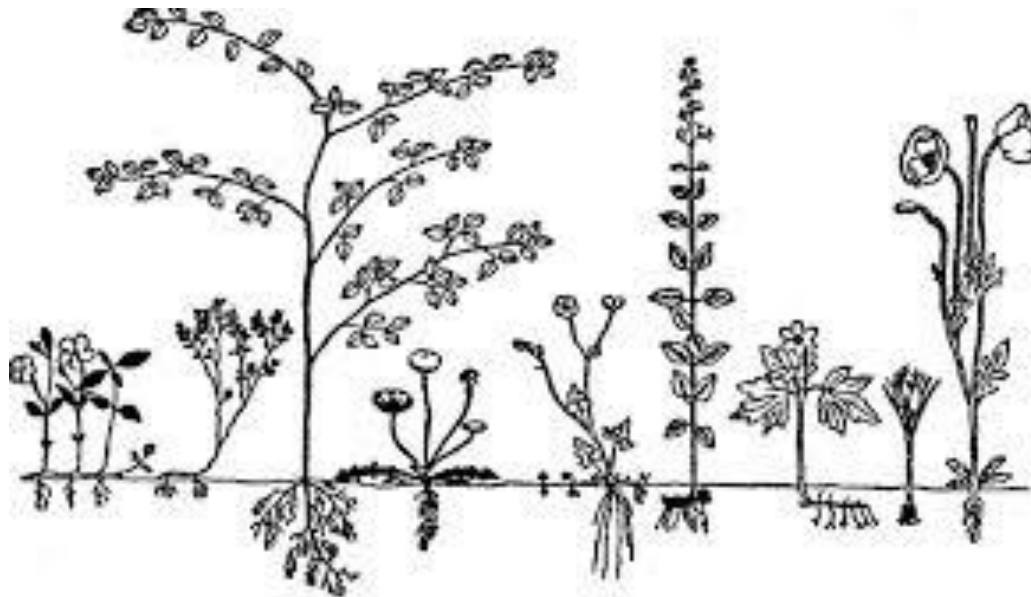
Кожен вид рослин має певні межі поширення (толерантності) по кожному фактору середовища, і тому сам факт їх спільного зростання дозволяє достатньо повно оцінювати екологічні фактори. Широке поширення набуло використання дерев як біоіндикаторів зміни клімату та рівня забруднення навколишнього середовища



Враховується товщина річних кілець: в роки, коли випадало мало опадів або в атмосфері підвищувалася концентрація забруднюючих речовин, утворювалися вузькі кільця. Таким чином на спилі стовбура можна бачити відображення динаміки екологічних умов.

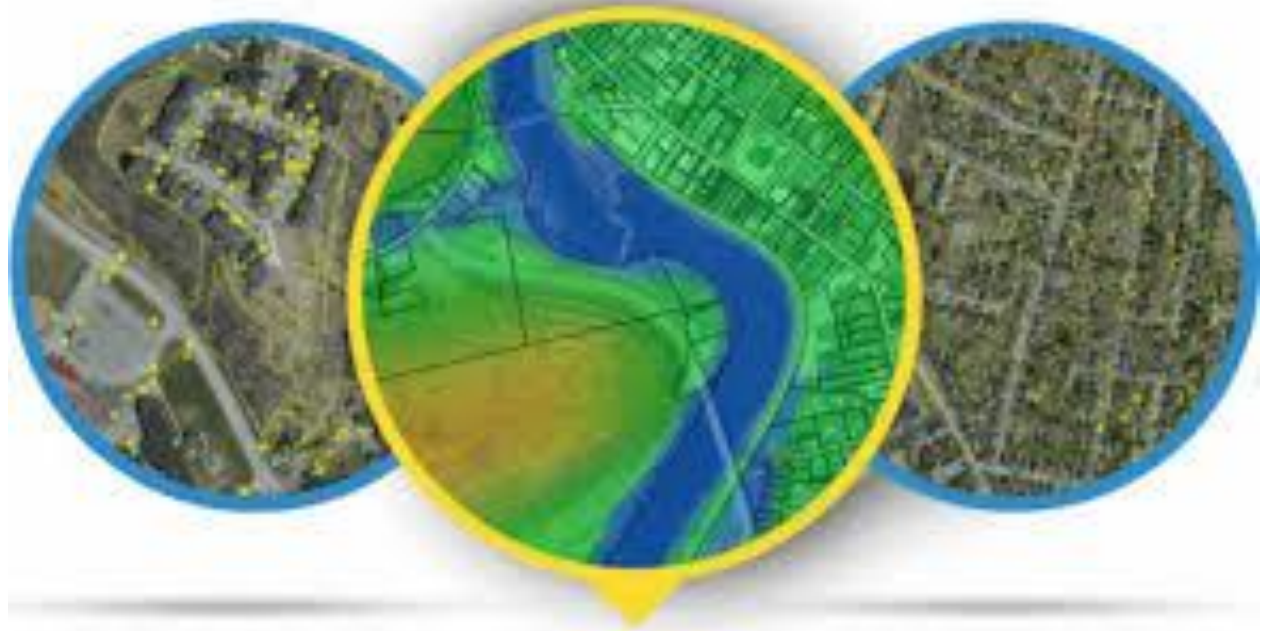


Можливості оцінки середовища за рослинності вивчаються спеціальним розділом ботаніки - **індикаційною геоботанікою**. Її основний метод - використання екологічних шкал, тобто спеціальних таблиць, в яких для кожного виду вказані межі його поширення по факторам зволоження, багатства ґрунту, засолення, випасу і т.і. У СРСР екологічні шкали були складені Л. Г. Раменським.

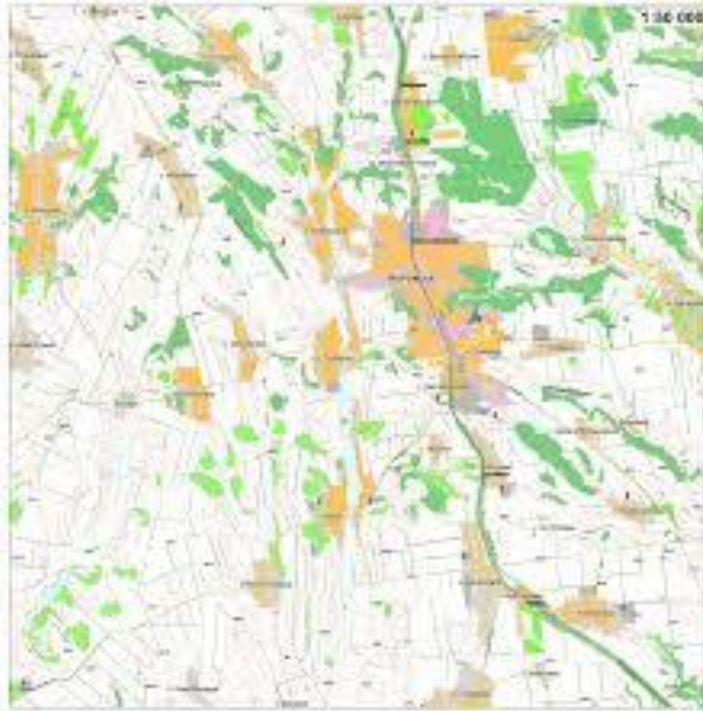


Розроблено різні методи біоіндакації - фітологічне картування (картування числа видів і ступеня проективного покриття і порівняння з еталоном), експозиція в забрудненому середовищі рослин-біоіндикаторів, вирощених в нормальних умовах, аналіз видимих пошкоджень організмів, вміст забруднюючих речовин в організмах у разі біоаккумуляції. Зазвичай біоіндикатори використовуються при великомасштабних дослідженнях забруднень навколишнього середовища.

Геоінформаційні системи (ГІС) і технології в екомоніторингових дослідженнях швидко займають вагоме місце.



Карти у цифровому форматі зручно зберігати, передавати по мережах і вводити в комп'ютер, обробляти, перетворювати, а за запитом картографа моментально візуалізувати на екрані у вигляді зображення в заданій проекції, в обраній системі умовних знаків.



Функціонально тематичні дані можна розділити на дві групи:

- містять інформацію про забруднювачі навколишнього середовища;
- відображають реакцію середовища на забруднення.



У роботі з ГІС найбільш раціональним є комплексний підхід – з'ясування просторових характеристик стану середовища і, потім, виявлення причин, через які цей стан де-небудь погіршується. Усі отримані дані зберігаються в базі даних. Аналіз даних проводиться періодично (щорічно, щоквартально) внутрішньою структурою ГІС, позначеної як «Екологічний моніторинг».

Аналіз даних проводиться у кілька етапів:

- поділ даних за тематикою;
- тематичний аналіз зі створенням звіту і тематичної карти;
- аналіз загального стану за сукупністю тематичних карт;
- виявлення динаміка стану території за результатами поточного та попередніх аналізів;
- виведення загального висновку про стан середовища за результатами проведених аналізів;
- вироблення рекомендацій щодо поліпшення цього стану.

На теперішній час у практиці біоіндикаційних досліджень знайшли широке застосування математичні методи. Вони застосовуються для виявлення подібності кількісних і якісних параметрів екосистем, для оцінки індикаторності видів, індицируємості градієнтів екологічних чинників і т.п.



Функціонування природних екосистем характеризується стохастичними величинами й апроксимується системою імовірнісних функцій. Тому для оцінки імовірності зв'язку індикатора з об'єктом індикації потрібно залучати теорії статистичних розв'язків, у тому числі широкого класу задач статистичного оцінювання, перевірки статистичних гіпотез, кореляційного й факторного аналізу та ін.

$$g(X, \omega) > 0$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Розрахунок статистичних параметрів здійснюється за стандартними виразами:

$$\bar{x} = \frac{1 \sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}, \quad K = \frac{\sigma^2}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де \bar{x} - вибірковий середній вміст, x_i - кількісне значення і-го параметру, σ^2 - вибіркова дисперсія, K - коефіцієнт варіації, N - обсяг вибірки.

Для оцінки кількісних характеристик використовують статистичні критерії:

t-критерій Ст'юдента

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N} + \frac{\sigma_2^2}{N}}}, \quad (4.2)$$

F-критерій Фишера

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (4.3)$$

критерій χ^2 та ін.

Оцінка подібності об'єктів. Кількісна оцінка подібності об'єкта дослідження до еталонів проводиться за допомогою різних коефіцієнтів подібності.

Коефіцієнт С'еренсена

$$K_S = \frac{2N_{A+B}}{N_A + N_B}, \quad (4.4)$$

де N_{A+B} - кількість загальних видів в описах A і B ; N_A і N_B - кількість видів відповідно в описах A і B .

При використанні значень чотирипольної таблиці коефіцієнт спільності набуває вигляду:

$$K_S = \frac{2a}{2a+b-c}, \quad (4.5)$$

де a - кількість спільних зустрічей видів, b - кількість випадків зустрічі виду B , c - кількість випадків зустрічі виду A .

Для кількісних характеристик K_S має назву коефіцієнта І. Чекановського і описується як

$$K_S = \frac{\sum_{i=1}^N \min(A_i, B_i)}{\sum_{i=1}^N A_i + \sum_{i=1}^N B_i}, \quad (4.6)$$

де A_i і B_i – кількісні значення виду i в описах A і B , N – загальна кількість видів.

Коефіцієнт Жакара.

$$K_i = \frac{N_{A+B}}{N_A + N_B - N_{A+B}}, \quad (4.7)$$

де N_{A+B} – кількість загальних видів в описах A і B ; N_A і N_B – кількість видів відповідно в описах A і B .

Для кількісних характеристик коефіцієнт набуває вигляду:

$$K_S = \frac{\sum_{i=1}^N \min(A_i, B_i)}{\sum_{i=1}^N [A_i + B_i - \min(A_i, B_i)]}, \quad (4.8)$$

де A_i і B_i – кількісні значення виду i в описах A і B , N – загальна кількість видів.

Коефіцієнт Коха (індекс біотичної дисперсії):

$$K_k = \frac{T - N}{(M - 1)N}, \quad T = \sum_{i=1}^M n_i, \quad (4.9)$$

де M – загальна кількість описів, N – загальна кількість видів в усіх описах, n_i – кількість видів в i -му описі.

Коефіцієнт Морисита:

$$C_{1,2} = \frac{2\sum_{i=1}^N n_{1i} n_{2i}}{(C_1 + C_2) N_1 N_2}, \quad C_i = \frac{M \sum_{i=1}^M n_i (n_i - 1)}{N(N-1)}, \quad (4.10)$$

де n_{1i} і n_{2i} – кількісні характеристики i -го виду співтовариств «1» і «2», які порівнюються; N – загальна кількість видів, C_i – індекс Морисита (показник нерівномірності розподілу виду), M – загальна кількість площадок, n_i – кількість особин виду на i -й площадці, $N = \sum_{i=1}^M n_i$ – загальна кількість особин виду на усіх площадках.

ІНДЕКСИ РІЗНОМАНІТНОСТІ.

Індекс Шеннона-Вінера:

$$H_1 = \sum_{i=1}^S h_i h_i = \rho_i \ln \frac{1}{\rho_i} \rho_i = \frac{n_i}{N} N = \sum_{i=1}^S n_i, \quad (4.20)$$

де S – кількість видів, n_i – кількість (численність або маса особин) i -го виду, N - загальна кількість, ρ_i – відносна частота зустрічаємості i -го виду, h_i - часткова міра інформації i -го виду.

Індекс Маргалефа:

$$H_2 = -\frac{1}{S} \log \frac{S!}{U_1! U_2! \dots U_n!}. \quad (4.21)$$

Індекс Сімпсона:

$$H_3 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_i}{S} \right)^2. \quad (4.22)$$

$$H_3 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_i}{S} \right)^2. \quad (4.22)$$

Індекс Рен'ї-Рао:

$$H_4 = -\log H_3 = -\log \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_i}{S} \right)^2. \quad (4.23)$$

Індекс Макінтоша:

$$H_5 = \sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2}, \quad (4.24)$$

де U_i – численність виду i , N – загальна кількість видів в співтоваристві, $S = \sum_{i=1}^N U_i$.

Різноманітність або багатство видів.

$$d = S / \log A, \quad (4.25)$$

де S – кількість видів в описі на площадці стандартного розміру, A – площа облікової площадки.

Питома вага впливу видів – це оцінка значимості індикаторів у лінійному рівнянні множинної регресії :

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i, \quad (4.26)$$

де Y – значення об'єкта індикації, x_i – значення індикаторів, n – їх кількість, a_i – коефіцієнт регресії, який визначається методом найменших квадратів.

Показник питомої ваги впливу i -го індикатора визначається за формулою:

$$v_i = \left| a_i \cdot C_{Y,i} \right| \frac{R^2}{\sum_{k=1}^n \left| a_i \cdot C_{Y,k} \right|}, \quad (4.27)$$

де R – коефіцієнт множинної кореляції, $C_{Y,i}$ – коефіцієнт коваріації між об'єктом індикації Y_i індикатором i . Величина v_i змінюється від 0 до 1. Імовірність різниці v_i від нуля перевіряється критерієм Фішера.

Прямий градієнтний аналіз. Здійснюється при наявності провідного чинника розвитку видів або співтовариств. При цьому види або співтовариства розташовуються на градієнті відповідно до їх вимог до чинника, який аналізується. У результаті аналізу встановлюються:

екокліни– розподіл видів уздовж градієнтів екологічних чинників;

хронокліни– розподіл видів по осі часу;

топокліни – розподіл видів по осях просторових градієнтів;

ценокліни– розподіл видів по осях чинників окремих рослинних співтовариств.

Гаусова ординація. Передбачає вибір координат , який описується вздовж вісі ординації так, щоб мінімізувати вираз

$$G_l(\{Y_{lj}\}) = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^n \left[x_{ij} - W_i(Y_{lj}) \exp \left\{ \frac{\left| Y_{lj} - \bar{x}_i(Y_{lj}) \right|}{2\delta_i^2(Y_{lj})} \right\} \right]^2, \quad (4.28)$$

де $\bar{x}_i(Y_{lj})$ і $2\delta_i^2(Y_{lj})$ – середньозважена і дисперсія розподілу виду i ; $W_i(Y_{lj})$ – максимально можлива величина розподілу виду при

порядку співтовариства $\{Y_{lj}\}$; R – кількість найбільш інформативних видів, x_{ij} – значення ознаки виду i в співтоваристві j .

Розміщення видів по полярних осях ординації можливе за допомогою *факторного аналізу*, що поєднує методи оцінки розмірності множини змінних, які спостерігаються шляхом дослідження структури кореляційних і коваріаційних вторинних матриць. У методі головних компонентів досліджується матриця коефіцієнтів лінійної кореляції з одиницями на головній діагоналі. Власне при факторному аналізі на головній діагоналі кореляційної матриці знаходяться значення спільностей, які оцінюються коефіцієнтом множинної кореляції подібних змінних даних.

Методи оцінки індикаторності видів дозволяють оцінити ефективність застосування індикаторів, інформативність видів і оптимізувати процес оцінки стану навколишнього середовища за допомогою рослинності.

Метод Хілла. Вісь ординати ділиться на дві частини. Визначається кількість описів, які потрапляють в кожну з частин градієнта - M_1 і M_2 - і кількість описів, в яких зустрівся вид m_{1i} і m_{2i} . N - загальна кількість видів. Індикаційне значення I_i :

$$I_i = \left| \frac{m_{1i}}{M_1} - \frac{m_{2i}}{M_2} \right| I = \sum_{i=1}^N I_i / N. \quad (4.29)$$

Інформативність тим вища, чим ближче значення I і 1.

Метод В.І. Василевича є узагальнення методу Хілла. Вісь ординації розбивається на k частин. Індикаційне значення H_i :

Метод В.І. Василевича є узагальнення методу Хілла. Вісь ординації розбивається на k частин. Індикаційне значення H_i :

$$H_i = \frac{1}{\log k} \left[- \sum_{j=1}^k \frac{m_{ij}}{M_j} \cdot \log \frac{m_{ij}}{M_j} \right]. \quad (4.30)$$

Кількість описів m_{ij} може бути замінені величинами численності виду, проективного покриття або інших кількісних характеристик, а M_j - загальною величиною відповідного

показника для даної групи описів. H_i розглядається як ступінь евритопності виду. Евритопний наскрізний вид має $H_i = 1$; стенотипний вид, який зустрічається тільки в межах одного відрізка вісі, характеризується $H_i = 0$.

Біоіндикатор

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BE%D1%96%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80>

Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування : навчальний посібник. Кременчук : Видавництво ПП Щенбати О. В., 2016. 76 с.