

ЛЕКЦІЇ З ДИСЦИПЛІНИ «ІНДИКАЦІЯ ТА БІОТЕСТУВАННЯ»

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ФІТОІНДИКАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фітоіндикаційні дослідження мають довгу історію і сягають у глибину віків, коли пошук чи вирощування якоїсь рослини людина пов'язувала з певними екологічними умовами. Тому можна сказати, що індикація на рівні масової свідомості (народних прикмет) існує відтоді, як існує людство. Відомо, наприклад, що народні назви «бір», «субір», «діброва», які означають не лише характер деревостану, а й ґрунтів та усього комплексу умов місцезростання, мають обіг і в науці з приблизно однаковим змістом.

Письмові згадки про оцінку земельних угідь за допомогою рослин містяться у стародавніх письменників-учених Китаю, Індії, Греції, Риму. Так, у трактаті Катона рекомендується за густиною травостою вибирати ділянки для посіву бобових. Колумелла пропонує вибирати місця для виноградників за ознакам диких рослин, які там ростуть. Віргілій пише, за якими ознаками вибирати землі, придатні для маслин, винограду, каштану, верб. Пліній такі властивості ґрунту як вологість та родючість намагається встановити не лише за наявністю рослин, а й за їх зовнішнім виглядом і розвитком.

Рослини з давніх-давен задовольняли не лише повсякденні потреби людей, а й були невичерпним об'єктом наукових досліджень. Вивчення рослин велося у різних напрямках. Поряд із систематикою, анатомією, фізіологією досліджували і екологію рослин. Вивчення поширення рослин у природі призвело до висновку, що кожен вид зростає у певних екологічних умовах. Природним чином виникло і зворотне питання: наскільки рослини відбивають своїми показниками характер екологічних умов, як, яким чином і на основі яких ознак можна оцінити ці умови. Саме на ці проблеми дає відповідь фітоіндикація. Таким чином, якщо екологічні методи дозволяють встановити відношення рослин чи їх угруповань до умов середовища, то фітоіндикація висвітлює зворотній бік цього явища: дає змогу оцінити екологічні режими на основі певних ознак видів чи їх угруповань. Перебуваючи у тісному зв'язку з екологією, вона є самостійним напрямком розвитку цієї дисципліни.

У Росії одним із перших, хто писав про зв'язки між рослинами і якістю сільськогосподарських угідь, був О.М. Радищев. В його праці «Описание моего владения ...» як індикатори ґрунтових умов наведено угруповання (березняк, сосняк) і окремі види рослин (дуб, клен, буквиця, хвощ).

Наукового рівня фітоіндикація почала набувати з розвитком геології, географії, ґрунтознавства, ботаніки, особливо таких її напрямків, як геоботаніка, класифікація, біоморфологія рослин, флористика, біогеографія. З іншого боку, розвиток фітоіндикаційних досліджень, як і інших наук, диктувався практичними потребами використання природних ресурсів.

Дідух Я.П. та Плюта П.Г. виділили **три періоди** в розвитку цього напрямку.

Перший період, який зайняв майже все ХІХ століття, характеризується зародженням і розвитком наукових засад екології видів. Початок їх ведеться від робіт А. Гумбольдта, який зумів побачити найсуттєвіші закономірності, які зв'язують рослинний покрив і найважливіші екологічні чинники. По суті, А.Гумбольдтом закладено основи екології рослинного покриву (геоботаніки). Крім того, він встановив важливі кількісні закономірності розподілу окремих таксономічних груп рослин в різних зонах, що стало базою розвитку флористики.

Ідеї А. Гумбольдта були продовжені в роботах Л. Поста (Post, 1862) та А. Гризебаха (Grisebach, 1880), які, пропонуючи класифікацію рослинних угруповань, показали тісний взаємозв'язок між останніми та екологічним середовищем, зокрема ґрунтами. О.Вармінг (Warming, 1896) виділив класи угруповань гідрофітів, мезофітів, ксерофітів, галофітів, а також екологічні групи видів. Класифікації рослинності на екологічній основі розробляли А. Шимпером (Schimper, 1898), Л. Дільсом (Diels, 1908, 1910), А. Каяндером

(Cajander, 1913) та ін. Слід згадати праці К.Раункієра (Raunkiaer, 1907), О. Друде (Drudle, 1906, 1908, 1911), які розробили систему життєвих форм на екологічній основі, а останнім автором були вперше побудовані біологічні спектри.

Вже на початку ХХ століття американський вчений Г.Каулс (Cowles, 1901) на основі дослідження закономірностей між зміною рослинного покриву та температурою і вологістю повітря дійшов висновку про два екологічні рівні взаємозв'язків: регіональний та локальний. Саме цим вченим було помічено, що розвиток як ксерофітних, так і гідрофітних рослинних угруповань спрямований конвергентно, тобто до мезофітних ценозів.

У Росії, завдяки різноманітності природних умов, велися активні дослідження змін рослинного покриву залежно від факторів довкілля. Важливим етапом на цьому шляху стали роботи з оцінки і картування ґрунтів, започатковані В.В. Докучаєвим (1885, 1892, 1899). Їх продовженням були дослідження Переселенського управління і мережі його дослідних станцій. У цей період опубліковані класичні роботи М.О.Дімо і Б.О.Келлера (1907), П.А. Костичева (1908), С.К. Чаянова (1909), Г.М. Висоцького(1914). Роботи цих учених, а також таких степознавців, як А.М. Краснова (1886, 1894), Г.І. Танфільєва (1894, 1898, 1902) показали, що саме степова рослинність є основою формування чорноземів і ці дві складові не можуть існувати окремо. Узагальнюючи досягнення цього періоду в області фітоіндикації, можна згадати вислів Б.О.Келлера (1909) про те, що дика рослинність є чутливим показником навколишнього середовища в цілому і ґрунтів зокрема, що це добрий і майже найкращий спосіб для бонітування ґрунтів. Б.О.Келлером (1912) для одного з районів Східного Казахстану був складений перший визначник, який дозволяв за зовнішніми ознаками місцевості, особливо за рослинністю, визначати умови місцезростання. Пізніше багато дослідників наслідували цю форму викладу індикаційних даних.

Особливо помітним був розвиток лісотипологічних досліджень. Саме ознаки екотопу були покладені в основу перших російських класифікацій типів лісу І.І.Гуторовича (1897), Н.К.Генка (1902), І.П.Серебреникова (1904). У ці ж часи з'явилися перші помітні роботи Г.Ф.Морозова, які стали в подальшому базою розвитку кількох лісотипологічних шкіл.

Таким чином, на початок ХХ століття були виявлені загальні взаємозв'язки між змінами рослинного покриву і оточуючим середовищем та сформульована ідея індикації екологічних факторів за рослинним покривом. Проте підхід більшості авторів був широким, охоплював значне коло проблем, а спеціалізовані напрямки в фітоіндикації ще майже не визначилися.

Другий період розвитку фітоіндикації пов'язаний з формуванням таких наукових дисциплін, як геоботаніка, ґрунтознавство, ландшафтознавство, геохімія, вчення про біосферу та їх окремих напрямків і тривав від 10-20-х до кінця 40-х років ХХ століття.

У цей час відбувалося становлення і розвиток основних засад геоботаніки, зокрема класифікації рослинності. У першу чергу, це пов'язано з іменем Ж. Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1913). Основна ідея його робіт полягала в тому, що класифікація повинна відбивати екологічну специфіку рослинних угруповань. Він вважав, що найголовніша властивість асоціації - це її екологічна своєрідність, яка проявляється у флористичному складі. Найкращими індикаторами екологічної своєрідності асоціації є види з вузькою екологічною амплітудою - характерні види. У 1915 - 1918 рр. Браун-Бланке розвиває далі концепцію характерних видів і вводить поняття відповідних даному угрупованню видів, які індикують його специфіку. Розвиток уявлень про відбиття рослинним покривом умов середовища привів його до думки, що окремі види хоча й є екологічними індикаторами, однак найкраще характеризують умови місцезростання групи рослин, які живуть поруч і формують рослинні угруповання. Таким чином, на прикладі робіт Браун-Бланке видно, як поступово йшов розвиток ідей від аутфітоіндикації до синфітоіндикації, які були тісно пов'язані з проблемами класифікації рослинності. Такий зв'язок добре простежується і в пізніших працях з питань класифікації рослинності Західної Європи (Klika, 1955; Scamoni,

1955). Ці роботи стали основою формування сучасних наукових шкіл з фітоіндикації, які сьогодні займають провідне місце у цьому напрямку науки.

Велику роль у розвитку уявлень про синфітоіндикацію відіграли праці американського вченого Ф.Клементса (Clements, 1920, 1928, 1973), які присвячені динаміці рослинних угруповань. Вони є продовженням робіт Г.Каулса з питань клімаксу. Ф.Клементс обгрунтував концепцію клімаксу, тісно пов'язавши це питання з геоморфологічною та геологічною структурою території. Він показав, що напрямки розвитку угруповань від піонерного до клімаксового типу визначаються екологічними факторами оводненості, засолення, кислотності та механічного складу субстрату. При цьому були виділені гідросерії, розмежовані на серії засолення та псамосерії.

У колишньому Радянському Союзі ідеї синфітоіндикації називали в процесі дослідження різних типів рослинності. Зокрема, слід назвати едафо-фітосоціальні ряди лісів В.М.Сукачова (1927, 1938), класифікацію степів О.О.Альохіна (1915), координаційну схему лісів Г.Ф.Морозова (1926). Останній наголошував, що між середовищем та соціальним життям різних рослинних угруповань існує глибокий «інтимний зв'язок». Проте всі названі в огляді геоботанічні роботи хоча й мали пряме відношення до фітоіндикації, але ця проблема їх авторами не ставилась на чільне місце.

Основоположником теорії та методики синфітоіндикації слід вважати Л.Г.Раменського (1929), який не тільки відстоював положення про екологічну зумовленість рослинних угруповань, але й запропонував методи оцінки екологічних режимів за факторами зволоження ґрунту та його змінності, багатства, засолення ґрунту, пасовищної дигресії. Основою такої оцінки служить величезний табличний матеріал, який містить характеристику амплітуди толерантності кількох тисяч видів з урахуванням їх проективного покриття. Крім того, Л.Г.Раменським запропоновано ряд нових методик (екологічних рядів, екологічної оцінки ценозів, побудови екологічних шкал та координатних синекологічних діаграм), які випереджали загальний теоретичний розвиток синфітоіндикації на багато років вперед та, у значній мірі, визначили цей розвиток. Хоча ідеї Л.Г.Раменського пізніше мали величезний вплив на розвиток теорії та практики фітоіндикації, поява його основної роботи (1956) супроводжувалася гострою і часто необгрунтованою, як потім з'ясувалося, критикою. Критика його робіт полягала, в основному, в уточненні екологічних характеристик видів, а також в тому, що в кінцевому підсумку ми отримуємо результати ні в конкретних фізичних або хімічних величинах (скажімо, коливання вологості ґрунту в мм або %, рівня ґрунтових вод, кількості солей в ґрунті тощо), а у формі умовних ступенів (балів) зволоження, мінерального багатства, пасовищної дигресії тощо. Відомо багато спроб наповнити ступені шкал Раменського конкретним фізичним або хімічним змістом (Миркин, Розенберг, 1978), але, по-перше, це надзвичайно трудомісткий процес, тому що необхідно охопити екологічними дослідженнями всі місцезростання того, чи іншого виду, а, по-друге, це не є конче, в цей період зароджуються необхідним.

Поряд з розробкою теоретичних питань й набувають широкого практичного використання цілий ряд напрямків, пов'язаних з фітоіндикацією окремих екологічних чинників, що докладно розглянуто в монографіях В.С.Вікторова, Є.О.Востокової, Д.Д.Вишивкіна (1962) та Б.В.Виноградова (1964).

Третій період розпочався у 60-х роках і триває до наших днів. Специфіка його полягає у виділенні фітоіндикації як самостійного наукового напрямку та подальшій його диференціації, узагальненні матеріалів фітоіндикації, розробці різноманітних екологічних шкал, нових методів дослідження і оцінки екологічних факторів та їх динаміки, що дозволяє індикувати більш складні закономірності не тільки локального, але й ландшафтного, регіонального і, навіть, глобального рівня. Особливістю цього етапу є розвиток дистанційної (аеро- та космічної) фітоіндикації, а також модернізація математичного апарату.

Значну роль у формуванні методології фітоіндикації на сучасному рівні відіграє

системний підхід. Розробка нових методик тісно пов'язана з впровадженням персональної комп'ютерної техніки, без якої досягти сучасного наукового рівня було б неможливо.

Спостерігається подальша диференціація напрямків фітоіндикації залежно від специфіки індикаторів і умов, або факторів, які індикуються (індикатів). Зокрема, для оцінки умов середовища можуть використовуватися дані біохімічних аналізів, ботанічні, гідробіологічні, мікробіологічні чи зоологічні показники. Для їх одержання необхідно володіти фізичними, хімічними, геологічними, географічними методами, вміти дешифрувати матеріали дистанційних зйомок, мати навички роботи з ЕОМ.

ФІТОІНДИКАЦІЯ – ЯК НАУКОВА ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМА

Фітоіндикація – складова частина розділу дисципліни біоіндикації, яка є прикладним напрямком екології і розробляється для оцінки факторів середовища за біологічною складовою, насамперед рослинністю. Це визначення умов середовища за характером і станом рослинності.

Методи фітоіндикації широко використовують в системі моніторингу. Вони суттєво відрізняються від інших методів дешевизною і можливістю одночасно охопити великі території, що підлягають індикації, а також відносною простотою інтерпритації. Вони дозволяють використати інформацію і оцінити режими тих дій, які під час спостереження мають нульову активність.

Фітоіндикацію проводять на різних рівнях організації рослин: *клітинному, анатомо-морфологічному, рівні організму, популяційному, фітоценотичному та ландшафтному*.

Зі збільшенням рівня організації фітоіндикаторів збільшується складність їх реакцій, так як ланцюг причина – наслідок (індикатор-індикат) стає довшим, ускладнюється їх взаємозв'язок з факторами середовища в екосистемах. При цьому фітоіндикацію на нижчих рівнях використовують як окремо, так і включеною до більш високих рівнів, де вона виступає вже у новій якості.

Кожний вид рослин, крім історії розвитку, розповсюдження, структури популяції характеризується специфікою екології, що визначає поведінку його в природі по відношенню до інших видів. Індивідуальність поведінки видів визначає той важливий момент, що сумісне їх зростання в ценозі призводить не тільки до конкуренції, але й до такого доповнення, яке сприяє оптимальнішому використанню екологічних ресурсів.

У зв'язку з цим, перед фітоєкологами, з одного боку, постала важлива наукова проблема оцінки потенційних кліматичних, едафічних ресурсів, а з іншого – визначення ступеня відповідності реально існуючої екосистеми цим можливостям за допомогою фітоіндикації, тобто через аналіз поведінки видів рослин.

Фітоіндикація це науковий напрямок, основою якого є оцінка екологічних факторів, або екосистем за допомогою флористичних ознак, тобто ознак видів, угруповань, їх сукупності та взаємовідносин.

Процес фітоіндикації складається з наступних операцій:

- 1) вибір індикату (фактору), що зумовлює мету індикації;
- 2) вибір способу і масштабу вимірювань його величини або зміни;
- 3) пошук індикатора на основі логічних доказів його зв'язків з даним фактором;
- 4) розроблення шкали вимірювання індикаційних ознак;
- 5) визначення ступеня кореляції між зміною фактора і індикатора, а також засобу його відображення.

Всю систему методів фітоіндикації поділяють на три типи:

- 1) *аутофітоіндикацію;*
- 2) *синфітоіндикацію;*
- 3) *симфітоценоіндикацію.*

За основу аутоекологічного підходу покладено таку концепцію:

- 1) Кожен вид рослин має оптимальні умови і межі толерантності середовища існування, а також свою екологічну нішу в просторі певних градієнтів.
- 2) Існує ймовірність відповідності певної ніши з певним комплексом екологічних факторів.
- 3) Присутність особин певного виду інформує про екологію їх місця існування.

На аутоіндикаційному рівні можна розраховувати інтервали або середні значення, будувати ареали, оцінювати поведінку та динаміку популяцій видів, проводити класифікацію видів по відношенню до змін екологічних факторів.

На ценотичному рівні розраховують показники екологічних факторів, амплітуди їх змін для певних синтаксонів, оцінюють ступінь просунутості угруповань від піонерної до клімаксової стадії, ординацію угруповань по відношенню до змін екологічних факторів.

На ландшафтно-регіональному рівні роблять екологічну характеристику ландшафту або регіону, визначають градієнт і оцінюють співвідношення між показниками кожного із факторів, складають екологічні карти регіонів.

Ефективність методів сильно варіює. Зустрічаються як **абсолютні індикатори** (види рослин, біологія яких гарантує їм займання тільки тієї ніши, яка пов'язана з індикатором), так і досить **слабкі індикатори** (індиферентні види).

Основою для оцінки екологічних факторів виступає банк даних екологічної, фітоценотичної та флористичної інформації, який включає чотири блоки:

- 1) таксономічні, біоморфологічні, ценотичні та екологічні характеристики видів;
- 2) характеристика геоботанічних описів угруповань;
- 3) характеристика екологічних чинників;
- 4) фізична та хімічна характеристика ґрунтів та води.

Створення такої бази – основа для вирішення цілого комплексу питань, за якими ознаками і на якому рівні формується інформація.

ІНДИКАТОРНІ ОЗНАКИ РОСЛИННОСТІ

Різноманітні індикаторні властивості рослинності є показниками умов довкілля. Індикаційна роль рослинності визначається об'ємом інформації про умови середовища, що отримана за допомогою індикаторів. Індикаторними ознаками виступають різноманітні властивості рослинності, які є показниками будь-яких умов середовища.

Індикаторні критерії Ф.Клементса поділяє на дві групи – **індивідуальні**, що стосуються окремих рослин, та **ценотичні**, які характеризують рослинні угруповання.

Основними індивідуальними ознаками виступають:

- таксономічні одиниці (види, родини, різновидності);
- життєві форми (наприклад, за класифікацією Паунда і Клементса виділяють такі життєві форми рослин – дерева, чагарники та напівчагарники, плейоциклічні однорічні трави та дициклічні багаторічні трави);
- екологічні форми Вармінга (мезофіти, галофіти, псіхрофіти, оксилофіти, ксерофіти та ін.);
- форми роста – особливості будови окремих особин рослин в різних екологічних умовах.

Ценотичні ознаки включають:

- асоціативні характеристики рослинних угруповань (колонії, асоціації, мікроугруповання, субклімакси);
- просторові структурні ознаки (ярусність синузій, поєднання асоціацій).

Вивчаючи фітоіндикацію, слід чітко розрізняти такі поняття як рослинність, рослинне угруповання, мікроугруповання, фітоценоз та синузія.

Рослинність – це сукупність рослин, що мешкають на будь-якій території, незалежно від того, наскільки зімкнуті рослини і наскільки сильною є взаємодія між ними.

Рослинне угруповання – це будь-яке поєднання автотрофних макроскопічних рослин, просторова однорідність якого така, що всередині нього не можна провести ніякої суттєвої межі, яка б розділяла його на угруповання того ж рангу. Рослинне угруповання, як правило двомірне, оскільки всі макроскопічні автотрофи є вкоріненими рослинами і займають певне місце на поверхні ґрунту (виняток епіфіти). Рослинне угруповання повинно бути однорідним.

Мікроугруповання (мікроценоз) – найменші просторово-гомогенні відокремленості. Вони не містять ніяких рослинних угруповань, які їм підпорядковуються. Це мінімальні за площею просторові відокремленості рослинного покриву.

Фітоценоз – це не просто система взаємодіючих рослин, а контур, який характеризується певною подібністю рослинності в різних його частинах. Структурним елементом фітоценозу виступає синузія.

Синузія – це частина фітоценозу, яка відокремлена не тільки екологічно, фітоценотично і флористично, але й просторово, або у часі. Це частина ярусу рослинного угруповання, яка відрізняється від інших складом і кількісним співвідношенням населяючих її видів.

Виділяють такі **ознаки синузій**:

- 1) синузію утворюють рослини однієї, або декількох життєвих форм;
- 2) рослини в синузії зіткнені в надземних, або підземних частинах;
- 3) існує екологічна подібність рослин, що утворюють синузію;
- 4) спостерігається морфологічна відокремленість та просторова вираженість синузії;
- 5) існує взаємодія між рослинами;
- 6) відбувається створення певного внутрішнього середовища;
- 7) створюється єдина екологічна ніша;
- 8) існує відносна автономність.

Оскільки багато рослинних угруповань складається із рослин, неоднакових за висотою, слід окремо розглянути **поняття ярусності**, або диференціації рослин у вертикальному напрямку.

Говорити про наявність різних ярусів в угрупованні можна лише тоді, коли диференціація рослин за висотою призводить до деякої дискретності у вертикальному розподілі фотосинтезуючих частин рослин або корневих систем, тобто органів, що виконують головні функції, такі як асиміляцію, мінеральне живлення і водний обмін. Вважають, що достатньо виділяти наступні яруси – *деревний, чагарниковий, трав'яний та мохово-лишайниковий*.

Сьогодні існує два різних розуміння ярусності фітоугруповань – **морфологічне** та **біологічне**. Згідно морфологічного визначення, ярус утворюють рослини, що мають в даний момент однакову висоту, а згідно біологічного уявлення, різні групи особин одного виду можуть брати участь у формуванні декількох ярусів (наприклад, В.М.Сукачов вважає, що всходи деревних порід слід віднести до деревного ярусу).

Єдина класифікація геоботанічних індикаторних ознак була проведена Б.В.Віноградовим. Він розділив всі індикаторні ознаки на чотири групи: флористичні, фізіологічні, морфологічні та фітоценотичні.

Флористичні ознаки – це основні індикаторні властивості рослинності. Під ними розуміють відмінності у флористичному складі досліджених ділянок, що є наслідком пристосування окремих видів до певних екологічних умов.

Основною індикаційною одиницею виступає вид. Кожному виду відповідає, в окремих випадках, вузька, в інших – більш широка екологічна амплітуда факторів місць існування. Як присутність, так і відсутність виду, може мати певне індикаційне значення. Інколи в якості індикаторів використовують окремі роди, або, навіть, родини.

Фізіологічні ознаки - це характеристики хімічного складу та процесів обміну речовин рослин. Їх поділяють на структурні, які включають зміни і аномалії вмісту в тканинах рослин металів і легкорозчинних солей, відмінності у складі і концентрації пігментів,

форми рослинних олій та білків, вмісту води, водоутримуючої здатності, осмотичного тиску тощо та функціональні, які передбачають спостереження за обміном речовин, водним балансом, транспірацією, або іншими фізіологічними процесами.

Морфологічні ознаки – це аналіз внутрішньої (анатомічної) та зовнішньої структури окремих рослин. До анатомічних ознак належать: ширина річних кілець у дерев; особливості будови різних екологічних груп рослин; відмінності в будові клітин та клітинних стінок, або порівняльний розвиток різних видів тканин. При аналізі зовнішніх структур розглядають висоту рослин, діаметр стовбурів та гілок, розміри листової пластинки, або життєві форми, екотипи, форми росту та окремі механічні пошкодження.

Фітоценотичні ознаки – це ознаки асоційованості рослин і особливостей структури рослинного покриву. Ф.Клементс поділяє фітоценотичні ознаки на соціальні (кількісні дані, проективне покриття, зустрічання та дисперсність) та структурні (ярусність, мозаїчність, форми комплексів, поєднання фітоценозів, їх конфігурація та взаємне розміщення).

Крім того, **індикаторні ознаки** поділяють на **статичні** (присутність виду індикатора, або його індикаторної ознаки) та **динамічні** (зміни індикаційних функцій). Динамічні ознаки, в свою чергу, поділяють на **власне динамічні** (ростові та сукцесійні) та **ритмічні** (функціональні та фенологічні).

Слід зазначити, що жодна індикаційна ознака не є достатньо надійною, лише поєднання декількох ознак може дати підставу для достовірних висновків.

ФІТОІНДИКАЦІЙНІ ШКАЛИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Для оцінки екологічних факторів, таких як кліматичні або едафічні, застосовують фітоіндикаційні шкали. Методика їх створення базується на тому принципі, що кожен вид флори може зростати лише в певному діапазоні екологічних умов, обмежених максимальним і мінімальним значенням фактора, і завдяки цьому, розглядатися як індикатор умов середовища.

Сьогодні існує багато шкал, які дають характеристику або екоморфи за допомогою порядкового номера режиму в шкалі фактора (однозначні виміри), або амплітуду толерантності видів, охарактеризовану її крайніми значеннями (двозначні виміри).

Фітоіндикаційна шкала – це правило, за яким кожному емпіричному об'єкту присвоюють певний математичний об'єкт (як правило число або символ). Існує кілька типів шкал, які більш менш поширені в біологічних науках.

1. **Абсолютні шкали**, які використовують для вимірювання кількості елементів у скінченній множині. Такою шкалою може виступати, наприклад, натуральний числовий ряд.

2. **Шкали найменувань** є єдиними з точністю до взаємно однозначних перетворень. Значення таких шкал відіграють лише роль назв класів еквівалентності. Так, наприклад Г.Елленбергом запропонована шкала біоморф, у якій кожній біоморфі відповідає певний буквенний символ (Р – дерева, N- чагарники, Z- чагарнички, С – напівчагарники, тощо). З цими шкалами не можна здійснювати жодних математичних операцій, крім підрахунку кількості біоморф.

3. **Шкали порядку** застосовують до таких об'єктів або явищ, елементи яких можна пронумерувати у порядку їх збільшення, а саме це збільшення є нерівномірним (нелінійним). Одиницею вимірювання в них, як правило, є бал, хоча іноді вживають і буквенні символи. Наприклад шкала рясності Друде, в якій рослини характеризують таким чином:

- soc – змикаються надземними частинами;
- sor₃ – дуже рясні (відстань не більше 20 см);
- sor₁ – досить рясні (40-100 см);
- sr – рослини розріджені (100-150 см);

- sol – поодинокі (більше 150 см).

Більшість шкал порядку дають лише загальні, часто суб'єктивні оцінки.

4. **Шкали інтервалів** застосовують для вимірювання температури, часу, положення точки на прямій, тощо.

5. **Шкали відношень** використовують для вимірювання всіх екстенсивних властивостей, таких як довжина, площа, об'єм, сила, маса тощо. До вимірювань, виконаних за останніми двома типами шкал застосовують всі можливі математичні операції і методи статистичного аналізу.

Оцінка того самого явища чи фактора може здійснюватися за допомогою шкал, які належать до різних типів – від шкал порядків до шкал відношень.

Досить часто в екології шкали поділяють на кількісні та якісні. Мають на увазі те, що останні надають словесну характеристику об'єкту або явищу, а перші – кількісну. Під час вдосконалення якісних шкал їх поступово наповнюють кількісними характеристиками і вони досягають такого розвитку, що між ними і кількісними шкалами важко провести межу. Можна вважати, що коли якісна шкала досягає певного рівня, коли кількісне наповнення її ступенів стає рівноцінним, вона стає кількісною і переходить до типу шкал інтервалів, або, навіть, відношень.

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ІНДИКАТОРІВ

Існує велика кількість методів виявлення рослинних індикаторів:

1. **Флорогенетичний метод.** Суть методу полягає в тому, що несформовані нові види, що прогресують на певній території відрізняються залежністю до специфічних місцезростань, що сприяє їх подальшому оформленню. У зв'язку з цим, багато форм, різновидностей і молодих видів мають індикаційне значення. Певне індикаційне значення мають також деякі регресуючі палеоендемичні види. Навпаки, поліморфні види, що мають широкий екологічний ареал, виконують незначну індикаційну роль.

2. **Еколого-фізіологічний метод.** Метод базується на вивченні фізіологічних показників рослин залежно від умов довкілля. Рослини з високими абсолютними значеннями і значними коливаннями показників виступають чутливими індикаторами.

3. **Експериментальний вегетаційний метод.** Метод полягає у вирощуванні дослідних рослин за різної інтенсивності природних факторів і спостереженнями за реакцією рослин після зміни цих факторів. Вважають, що максимальних розмірів рослини певного виду досягають в оптимальних екологічних умовах. Цей метод вважають найоб'єктивнішим. Недоліком цього методу є те, що він є достовірним лише в аутоекологічному ареалі, у синекологічному ареалі результати досліджень можуть сильно відрізнятись.

4. **Польовий метод бонітування.** Метод полягає у визначенні життєвості, виживання, співвідношення вікової структури і висоти, величини річного приросту та інших показників швидкості росту багаторічних рослин залежно від умов середовища. Виходять з того, що максимальна життєвість і приріст відповідають оптимальним екологічним умовам. Показником несприятливих для рослини умов виступає слабкий ріст, неповний цикл розвитку (рослини не утворюють плодів, квіток) тощо.

5. **Польовий еколого-морфологічний метод.** За допомогою цього методу вивчають будову і відповідність кореневої системи умовам місцезростання. За основу покладено те, що оптимальні умови росту рослин знаходяться в тих горизонтах ґрунтів, де розташовані активні частини кореневих систем. Під час аналізу розподілу кореневих систем виявляють ті шари горизонтів, де умови наближені до оптимальних і ті, які коріння уникає.

6. **Польовий геоботанічний метод.** За допомогою цього методу проводять аналіз змін фітоценотичних ознак угруповань за різних умов довкілля. Вважають, що максимальне проективне покриття спостерігається в умовах екологічного оптимуму і зменшується з погіршенням умов середовища. Також використовують аналіз зустрічання видів на певній території: максимальне зустрічання відповідає оптимальним синекологічним умовам, а

відсутність виду виступає індикаційною ознакою, що вказує на відсутність умов, що відповідають екологічному ареалу цього виду. Підраховують також чисельність екземплярів кожного виду.

7.Порівняльно-географічний метод. Проводять зіставлення описів тих самих угруповань із різних структурних елементів ландшафту, або навіть різних ландшафтів. Виділяють загальні і відмінні умови.

8.Картографічний метод. Проводять зіставлення контурів геоботанічних карт розповсюдження певних видів рослин з контурами кліматичних, ґрунтових, гідрогеологічних, геологічних та інших спеціальних карт.

9.Аерометод виявлення індикаторів. Проводять зіставлення відповідності аерознімків ґрунтів, рельєфу, гідрологічних умов, геологічної будови з наявністю тих, або інших угруповань рослин на даних територіях.

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ІНДИКАЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Не всі рослини мають однакові індикаційні функції. Угруповання, рослини, особливості їх будови і складу, що мають вузьку екологічну амплітуду, є *стенотопними*. Вони можуть бути використані в якості індикаторів. Інші рослини, угруповання і ознаки, екологічна амплітуда яких дуже широка, відносять до *евритопних*. Такі рослини недоцільно використовувати під час індикації.

За ступенем надійності рослинні індикатори поділяють на *постійні* та *змінні*. Наприклад: *облігатні* та *факультативні*, *галофільні* та *галоксенні*.

Постійні індикатори це рослини, фітоценози або окремі ботанічні ознаки з вузькою екологічною амплітудою, показники яких задовольняють вимогам потрібної точності та детальності спостережень. Наприклад, існує 50 індикаторів рН ґрунту за двома градаціями і лише 7 індикаторів з градацією 0,5.

Змінні індикатори мають дуже широку екологічну амплітуду. В деяких випадках вони забезпечують потрібну точність, а в деяких – ні. Більша частина індикаторів належить саме до цієї групи.

Індикатори також поділяють на *позитивні* та *негативні*.

Позитивні індикатори вказують на прояв певних природних умов в даному місцезростанні по відношенню до яких вони “топофільні”. Наприклад:

- *галофільні* - до засолення,
- *гігрофільні* – до зволоження,
- *ацидофільні* – до кислотності.

Негативні індикатори це рослини, угруповання і окремі ознаки, що повністю виключають певні умови в даному місцезростанні.

Наприклад: глікофільні рослини –галофобні індикатори, ацидофоби – показники високої кількості вапна в ґрунті. Гарний термін для цієї групи дав Унгер – “ґрунтоунікаючі” рослини. Негативні індикатори часто дають цінну інформацію про природні умови.

За характером зв'язку рослин з природними умовами індикатори поділяють на *прямі* і *опосередковані*.

Прямі індикатори завжди функціонально пов'язані з фактором, що індикують, оскільки прояв цього фактору є необхідною умовою життєдіяльності індикатора, наприклад гідроіндикатори характеризують наявність води.

Опосередковані індикатори не пов'язані безпосередньо з умовами що індикують, а знаходяться з ними в певній кореляційній залежності. Так, опосередкованими індикаторами ґрунтових вод виступають псамофіти і, навіть, деякі ксерофіти, які вказують на наявність порід, що накопичують і зберігають воду.

Значення індикаторів визначають за їх **сполученістю** з природними умовами та **вираженістю** цих умов у зміні ознак. Зменшення одного з цих показників, або обох разом, зменшує індикаційне значення ознаки.

Щоб кількісно виразити сполученість індикатора з фактором використовують графічні та математичні методи. Прямолінійні форми залежності рослинності від природних факторів використовують рідше, частіше розраховують коефіцієнт кореляції. Постійні індикатори мають високий коефіцієнт кореляції, змінні – менший.

Вираженість середовища в ознаках рослинності характеризують екологічною амплітудою та градієнтом ознаки.

Екологічна амплітуда фактора (за Л.Г.Раменським) – це широта екологічних умов, що відповідають тій, чи іншій ботанічній ознаці. Її величину визначає кількість ступенів фактора, що відповідають одній градації ознаки. Об'єм градації визначають точністю досліджень, яка задана.

Екологічний градієнт ознаки, навпаки, характеризує величину змін цих ознак, залежно від змін екологічних умов. Його величину визначає кількість градацій ознаки на одну ступінь фактора.

Таким чином, вираженість фактора прямо пропорційна градієнту ознаки і зворотно пропорційна екологічній амплітуді.

Для визначення зв'язку індикаторів з окремими об'єктами індикації розраховують величину сполученості індикатора з об'єктом індикації. Величину екологічної сполученості розраховують у відсотках (%) числа знаходження індикатора на об'єкті індикації від загальної кількості досліджених ділянок з індикатором.

За сполученістю розрізняють:

- **вияткові індикатори** – розповсюджені лише на об'єкті індикації і майже не зустрічаються на інших (величина сполученості дорівнює 95-100 %);

- **постійні індикатори** – розповсюджені майже завжди на об'єкті індикації і рідко зустрічаються на інших ділянках (80-95 %);

- **змінні індикатори** – розповсюджені більшою частиною на об'єкті індикації, але зустрічаються і на інших ділянках (60-80 %);

- **відносні індикатори** з заниженою сполученістю (40-60 %) розповсюджені на об'єкті індикації в тій же кількості, що і разом на всіх останніх об'єктах;

- **індиферентні види** – не мають переваги в розповсюдженні на об'єкті індикації і зустрічаються також на інших об'єктах (10-40 %);

- **негативні індикатори** – розповсюджені на об'єктах фону і не зустрічаються взагалі, або дуже рідко на об'єкті індикації (0-10 %).

Для того, щоб визначити, наскільки характерний і розповсюджений індикатор для тієї, або іншої категорії об'єктів, розраховують частоту зустрічаємості індикатора на об'єкті індикації (% числа знаходження індикатора на об'єкті індикації від загального числа ділянок на всій категорії об'єктів).

Залежно від частоти зустрічання індикатора розрізняють:

- **фонові індикатори** (80-100 %);
- **рясні індикатори** (60-80 %);
- **спорадичні індикатори** (40-60 %);
- **рідкі індикатори** (20-40 %);
- **поодинокі** (5-20 %).

Таким чином, індикаційне значення індикатора зумовлюють дві величини: екологічна сполученість та зустрічаємість на об'єкті індикації. Загальну значимість індикатора можна виразити у вигляді співвідношення з величиною сполученості у чисельнику та величиною зустрічання у знаменнику. При цьому абсолютні індикатори мають найвище індикаційне значення з високою сполученістю і високою частотою зустрічання, унікальні індикатори мають високу сполученість і низьку частоту зустрічання, а вульгарні індикатори, навпаки, - низьку сполученість і високу частоту зустрічання.

МЕТОДИ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ РОСЛИННИХ ІНДИКАТОРІВ

Крім екологічної оцінки індикаторів необхідна географічна оцінка стійкості індикатора в межах ареалу.

У зв'язку з цим виділяють дві групи індикаторів:

1. **Панареальні** – зі стійкими екологічними значеннями у межах всього ареалу.

2. **Субареальні** – зі змінними екологічними значеннями протягом ареалу.

Субареальні індикатори поділяють на:

- **зональні** – які зберігають однакове індикаційне значення у межах географічних зон і підзон, але воно може змінюватися в меридіальному напрямку при переході із однієї зони в іншу. Як приклади можна навести зміни форм крон дерев, інтенсивності транспірації, концентрації хімічних елементів в окремих органах та ін.;

- **регіональні** – ті, що зберігають однакове індикаційне значення на території певних фізико-географічних областей і районів, яке змінюється під час екстраполяції як в меридіальному, так і в широтному напрямку у зв'язку з переходом із одних районів або областей в інші;

- **локальні** – зберігають індикаційне значення в межах окремих географічних ландшафтів, місцевостей. Вони змінюють індикаційне значення не тільки в різних зонах і областях, але й в межах порівняно однорідних географічних районів або ландшафтів.

Оскільки проведення спеціальних індикаційних досліджень окремо для кожного регіону практично недоцільно, виникає потреба екстраполяції індикаційних даних, тобто розповсюдження їх з досліджених територій на подібні за фізико-географічними умовами території, які не підлягали спеціальним дослідженням.

В екстраполяції виділяють два основних показники: дальність та повноту.

Дальність екстраполяції, за Б.В.Виноградовим, це відстань на яку індикатор може бути розповсюдженим з тієї території, де його було виявлено, на ділянки що не були досліджені.

За дальністю Б.В.Виноградов розрізняє цілий ряд видів екстраполяції:

1. **Внутрішньоконтурна** – розповсюдження значення індикатора з тих ділянок опису, де його було виявлено, на весь контур цього угруповання і близькі ділянки, які зайняті тим самим фітоценозом.

2. **Внутрішньоландшафтна** – розповсюдження значення індикатора на всі ділянки даного угруповання, що знаходяться всередині певного ландшафту. Здійснюється звичайно за аерофотознімками.

3. **Регіональна** – розповсюдження значення індикатора з одного регіону, де його було виявлено, на інші, більш-менш подібні. Екстраполяція здійснюється між ландшафтами-аналогами за індикаційними картами.

4. **Дальня екстраполяція** – розповсюдження значення індикатора з одних природних умов на інші, що суттєво відрізняються (із однієї зони в іншу, або, навіть, з одного континенту на інший, на основі аналізу літературних даних і картографічного матеріалу).

Повноту екстраполяції (за Н.Н. Преображенською), оцінюють за тим, наскільки може бути використана індикаційна схема, що складена для одного району, за його межами. При цьому розрізняють:

- а) область первинної констатації схеми (район де вона складена);
- б) площа припустимої екстраполяції, для якої схема зберігає своє значення повністю;
- в) площа умовної екстраполяції, де більша частина схеми зберігає своє значення, але вже існують окремі елементи, що втрачають індикаційну роль;
- г) площа граничної умовної екстраполяції, де більша частина схеми не може бути перенесена і своє індикаційне значення зберігають лише деякі її частини.

ЕКОЛОГІЧНА ЗАМІНА РОСЛИННОСТІ І КОМПЕНСАЦІЯ ФАКТОРІВ МІСЦЕЗРОСТАНЬ

Заміна рослинності спостерігається тоді, коли в подібних екологічних умовах знаходяться різні фітоценози.

В.В.Альохін розглядав різні типи замінних асоціацій:

1. Генетично-замінна асоціація – близькі стадії заміни рослинності. Зустрічаються тоді, коли стадії заміни рослинності в фітоценозі не співпадають зі стадіями еволюції умов середовища. Вони спостерігаються як на ділянках, де зміни рослинності ще не встигли відбитися в умовах середовища, так і на ділянках, де еволюція середовища випереджає зміни рослинності.

2. Культурна і біотична заміна пов'язані з порушенням первинної корінної рослинності людиною, або тваринами. Різні стадії відновних, або, навпаки, руйнівних змін рослинності.

3. Синекологічна заміна. Визначається відносною і тимчасовою екологічною рівноцінністю деяких видів. Зумовлена однаковими вимогами різних видів рослин до умов місцезростання. Дозволяє існувати в подібних, але не рівнозначних, місцях різним рослинним угрупованням.

4. Географічна заміна. Пов'язана з відмінностями у флористичному складі однорідних місцезростань в різних областях. Аналіз географічної замінності має значення для екстраполяції індикаційних даних.

5. Історична заміна. Спричинена тим, що одні види зайняли територію раніше інших, хоча останні мають на неї стільки ж, або навіть більше "екологічних" прав.

До формування близьких фітоценозів в різних місцях зростання може призводити також компенсація факторів середовища. Більше компенсуються фактори, що опосередковано впливають на екологічні умови, менше – фактори що впливають безпосередньо. Результатом компенсації факторів є виникнення тимчасових угруповань, шляхи подальшої еволюції яких розходяться.

Існує чотири основних типи компенсації кліматичних, едафічних, біотичних і антропогенних факторів, а також їх взаємні поєднання.

1. Компенсація кліматичних факторів спричинює розповсюдження однакових рослинних угруповань в різних кліматичних умовах. Наприклад, сухість повітря може компенсуватися сильними довготривалими вітрами, а довжина вегетаційного періоду – високими температурами влітку.

2. Компенсація едафічних факторів зумовлює ріст однакових рослинних угруповань на різних ґрунтах. Наприклад, літолого-гідрологічна компенсація механічного складу і вологості, коли доступність поживних речовин і шкідливий токсичний вплив солей регулюються вологістю ґрунта.

3. Компенсація біотичних факторів. Фітоєдафічна компенсація пов'язана з тим, що рослина знаходить однакові синекологічні умови в різних фітоценозах. Умови конкуренції можуть значно скоротити екологічний ареал рослини, а сприятливі, позаконкурентні умови, навпаки, – розширити.

4. Компенсація антропогенних факторів, або культурно-едафічна компенсація пов'язана з сільськогосподарською діяльністю людини. Залежить від форми і ступеня впливу людини на ландшафт.

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ТА ДИНАМІКИ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ФІТОІНДИКАЦІЇ

Стійкість природних комплексів – це предмет постійних досліджень екологів, фітоценологів, ландшафтознавців. Періодичність досліджень цієї проблеми можна поділити на чотири основних етапи.

I етап. 20-40 рр. XX століття. Проблему стійкості екосистем розглядали з позицій концепції клімаксу та сукцесій, розроблених американським екологом Ф.Клементсом. Найстійкішими вважали екосистеми, що перебували на стадії клімаксу.

II етап. 50-початок 60 рр. Увагу зосереджено на стійкості окремих популяцій. В основу популяційної концепції покладено твердження про те, що стійкість біоценозу в цілому залежить від стійкості його окремих популяцій.

III етап. 60-70 рр. Набуває розвитку ідея, запропонована Р.Мак-Артуром. Суть її полягає в тому, що рівень стійкості екосистем залежить від їх структурної складності – чим складнішою є структура природного комплексу, тим вищою є його стійкість. Ця ідея і сьогодні підтримується багатьма вченими.

IV (сучасний) етап. Поява нових підходів у дослідженнях, спрямованих на виявлення механізмів, які забезпечують стійкість екосистем, та вивчення різноманітних форм стійкості в різних типах природних комплексів.

Стійкість природних комплексів – це здатність систем протидіяти впливові зовнішніх факторів і зберігати свою сутність і кількісні характеристики, тобто “пружність”. Чим більшим є опір екосистеми впливові зовнішніх факторів, чим важче її порушити, тим важче і повернути у вихідний стан після того, як відбулися певні зміни.

Оцінка стійкості є величиною відносною. Не можна говорити про стійкість екосистем взагалі, можна констатувати лише більшу, або меншу стійкість, щодо дії конкретного чинника.

Для оцінки стійкості слід розглядати як найменше дві системи, тоді можна говорити про те, що одна екосистема стійкіша за іншу, тобто оцінка показників стійкості вимагає обрання точки відліку і способу виміру масштабу зміни впливу певного фактора.

Які саме показники і властивості визначають стійкість екосистем і можуть бути обрані для її оцінки? Стійкість екосистем значною мірою залежить від живої біологічної складової, здатності біоти протидіяти впливу зовнішніх чинників; її вразливості та можливості відновлення в певних умовах.

Саме тому, найкращим індикатором зміни стану екосистем є рослинний покрив, який забезпечує фіксацію енергії, кругообіг речовин, чутливо реагує на зміну зовнішніх факторів і добре відбиває ці зміни візуально.

Для оцінки стійкості екосистем Я.П.Дідух пропонує застосовувати **метод фітоіндикації екологічних факторів**, який складається з наступних операцій:

1. Вибір екосистем та факторів, по відношенню до яких визначається стійкість, та характеристика цих систем. Для цього роблять геоботанічні описи кожного типу екосистем у десяти повторностях.

2. Типізація екосистем за зміною природного чинника або виділення серійних угруповань, які відбивають вплив антропогенних факторів. За результатами порівняння флористичного складу встановлюють діагностичні блоки, виділяють типи екосистем.

3. Моделювання еталонної (найстійкішої) екосистеми, для порівняння інших екосистем. Ця операція ґрунтується на твердженні про те, що в певних екологічних умовах найстійкішими виступають ценопопуляції з найвищими чисельністю і зустрічаємністю. Тобто, чим рідше трапляється вид, тим вищою є ймовірність його зникнення з даної екосистеми. У разі ж елімінації найтиповіших видів (домінантів та едифікаторів) система настільки втрачає флористичну специфіку, що може бути віднесена до іншого типу, або являти собою серійне угруповання. Такі зміни характеризують “екологічний стрес” екосистеми.

4. Розрахування показників різних екологічних факторів для еталонних і реальних угруповань на основі методів фітоіндикації і побудові ординаційних матриць. На матрицях певними символами позначають різні типи екосистем, або ступіні їх деградації і виділяють екологічні ареали. Такі матриці використовують для подальшого аналізу.

5. Оцінка стійкості угруповань по відношенню до еталонних.

Виділяють п’ять стадій, або **зон адаптації рослинних угруповань**.

1. **Піонерна стадія** – з'являються перші “поселенці”, представлені одним – двома видами.

2. **Агломеративна стадія** – кількість видів збільшується, але вони не утворюють зімкнених ценозів.

3. **Стадія вторинних угруповань** – досить зімкнених, проте з порушеною структурою і включенням алохтонних елементів.

4. **Стадія природних угруповань** – що складені з автохтонних, типових для даної екосистеми видів, за участі алохтонних, що порушують ценотичну структуру.

5. **Стадія типових угруповань** – тих, що наближаються до первинних, клімаксових угруповань, складених з автохтонних видів.

ІНДИКАЦІЯ СТРУКТУРИ ЕКОСИСТЕМ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

В процесі дослідження складних екосистем виникає проблема виділення тих внутрішніх та зовнішніх екологічних факторів, які відбивають найсуттєвіші ознаки організації, розвитку та диференціації цих систем.

Поняття розвитку та диференціації досить тісно пов'язані між собою і зумовлені рівнодією між внутрішнім станом екосистеми і ступенем зміни умов довкілля. Чим більше відрізняються умови довкілля від тих, які потрібні для збереження внутрішнього стану рівноваги екосистеми, тим більшим є градієнт диференціації, допустимі межі можливих змін, хоча такі зміни не мають жорсткої кореляції з умовами середовища, бо вони обмежені внутрішньою структурою екосистеми.

При цьому екологічні фактори не тільки взаємопов'язані між собою і визначають характер рослинних угруповань, але й останні виступають як потужний екологічний фактор, що формує специфіку екоотопу.

Незважаючи на тісний взаємозв'язок рослинності з умовами довкілля між їх змінами немає лінійної залежності, вона має більш складний, інколи непередбачений характер. Кожне рослинне угруповання в процесі формування фітосередовища частково змінює дію екологічних факторів. Через це постає проблема не тільки вичленення певних факторів, встановлення масштабів їх впливу на екосистему, характер взаємодії, виділення порогів, які зумовлюють зміну екосистем, але й розподілу цих факторів на внутрішні та зовнішні.

Поділ факторів на внутрішні та зовнішні відносно екосистеми слід проводити виходячи з визначення суті екосистеми.

Екосистема – це сукупність взаємопов'язаних організмів, які функціонують на даній території і взаємодіють з довкіллям таким чином, що потік енергії формує чітко визначені біотичні структури і кругообіг речовин між живою та неживою складовими. Екосистема – основна функціональна одиниця, оскільки до неї входять як організми, так і неживе середовище – компоненти, що мають взаємний вплив один на одного і потрібні для підтримання життя в тій її формі, яка існує на Землі (Одум, 1986).

Основна функція екосистем – це підтримання життя та збереження всього живого. Ця функція неможлива без організмів, тоді як такі фактори як тепло, волога, світло, кислотність, сольовий режим та ін. характеризують не тільки біотичне, але й абіотичне середовище. У зв'язку з цим, виділяють дві групи чинників:

1) породжені власне живими організмами під час їх функціонування, які зникають (втрачають сенс) за межами життя;

2) та ті, що хоча й можуть зазнавати значних змін внаслідок функціонування екосистем, формуватися ними, або зовнішніми факторами, але існують поза межами живого (кліматичні, едафічні тощо).

Таким чином, критерієм для поділу факторів є їх походження, відношення до процесів функціонування екосистем.

До першої групи відносять ті фактори, що визначають власне біологічну суть екосистеми (взаємовідношення: хижак - жертва, продуценти – консументи, автотрофи –

гетеротрофи, едифікатори – асектатори), її структуру (розподіл видів за їх життєвими формами, таксономічними категоріями, стратегією тощо) і розглядаються як внутрішні.

Едафічні, гідротермічні показники ґрунту (вологість, сольовий режим, кислотність, вміст гумусу, азоту), кліматичні (освітленість, тепловий режим, омбро-, кріоклімат та ін.) – відносять до зовнішніх чинників, оскільки джерело їх формування знаходиться поза межами живого, а якщо вони формуються в межах екосистеми (в результаті функціонування організмів), то можуть існувати після втрати її життєдіяльності.

Тобто, ми виділяємо індикаційні ознаки, що відбивають внутрішній стан екосистеми або її структуру, та зовнішній – тобто відношення до дії факторів довкілля.

Внутрішня структура екосистеми визначається характером і способом взаємодії елементів. Залежно від того, який аспект взаємодії розглядати, Я.П. Дідух виділяє:

- систематичну,
- біоморфологічну,
- географічну,
- екологічну,
- ценотичну структури.

Специфіка аспектів визначає стан фітосистеми, положення її у просторі по відношенню до інших рослинних угруповань і розвиток протягом певного часу. Наприклад, лісові ценози по відношенню до трав'янистих характеризуються певною якісною відміною та ізоляцією видового складу, що відбивається, насамперед, в іншій структурі родинних спектрів, життєвих форм, форм стратегії тощо. Якісні відміни між ценозами різного типу визначають за специфікою індикаторних ознак, елементів, відношень, які відбивають стан екосистем, їх розвиток, ступінь порушеності тощо.

Окреслити коло зовнішніх екологічних факторів, що визначають диференціацію екосистем, зумовлюють їх зміну не просто. Хоча кількість факторів, які діють на екосистему, безліч, і кожен з них може бути розчленований на складові, Ю.Одум виділяє п'ять основних прямодіючих факторів:

- температура,
- вологість,
- світло,
- механічний та хімічний склад ґрунту.

Для рослини немає значення, чи водний режим зумовлений кліматичними (великою кількістю опадів), чи орографічними (місцеположенням у вологій долині), чи едафічними (високим заляганням ґрунтових вод) факторами. Тобто кожен із екологічних чинників виступає як складна система з багатьма каналами входу, яка забезпечується за рахунок різних джерел. Це значно утруднює класифікацію факторів.

Навіть широко прийнятий поділ на абіотичні (кліматичні, едафічні та хімічні), біотичні (ценотичні, зоогенні) та антропогенні фактори далеко не безсумнівний.

Всі зовнішні фактори можна поділити на дві великі групи, які тісно взаємопов'язані: **кліматичні** та **едафічні**.

Едафічні, в свою чергу, поділяють на фактори *вологості* та *трофності*, що зумовлюють формування певного типу ґрунту.

Характер зволоженості екотопів – один з найважливіших екологічних факторів, який визначає розподіл угруповань у просторі, ґрунтутворючі процеси, характер функціонування екосистем, біогеохімічні реакції і цикли конкретних елементів.

Режим зволоженості місцезростань зумовлений як загальними зонально-кліматичними факторами різних природних зон, так і конкретними водно-балансовими умовами кожного екотопу. Провідними елементами загальних зонально-кліматичних умов вологозабезпеченості екотопів є показники радіаційного (енергетичного) балансу і вологи, що надходять на поверхню суші.

Конкретні умови вологозабезпеченості рослинних угруповань зумовлені типом водного режиму ґрунтів, який, окрім зонально-кліматичних факторів, залежить від розміщення місцезростань за рельєфом, їх дренованості, режиму поверхневих та ґрунтових вод, структури ґрунтової товщі.

Рослинні угруповання чутливо реагують на зміну зволоження ґрунту, що дає змогу розробити методику оцінки зволоження місцезростань на основі фітоіндикаційних підходів. Суть цієї методики полягає в розрахунку середніх показників зволоження екотопів за весь період вегетації в певних балах на основі аналізу відповідних амплітуд видів, що складають фітоценоз.

Другим важливим компонентом едафічних факторів є трофність, або родючість ґрунту, яка характеризується запасом доступних для рослин форм поживних речовин і залежить не тільки від хімічного складу останніх, а й від фізичних властивостей ґрунту (вологості, механічного складу). Наприклад, відомо, що родючість зростає від піщаного до глинистого ґрунту, бо дрібнозем зумовлює найтісніший контакт корінців рослин з мінералами, колоїдами, молекулярно-дисперсними речовинами та іонами.

Важливим показником трофності є також видовий склад та кількісне співвідношення різних видів макро- і мікроорганізмів, які населяють даний ґрунт. Залежно від того, які мікроорганізми переважають в ґрунті (гриби чи бактерії), по різному відбуваються ґрунтутворюючі процеси.

Деякі автори вважають недоцільним включати в поняття трофності режим засолення ґрунтів, інші ж, навпаки, вважають цей фактор обов'язковою складовою трофності.

Трофність розглядають як збірне поняття родючості ґрунту, яка залежить також від кислотності, характеру сольового режиму, вмісту гумусу, азоту, фосфору, калію, натрію, кальцію та багатьох інших елементів. На сучасному етапі розроблені шкали і подано класифікацію видів рослин-індикаторів кислотного, сольового режимів, вмісту гумусу, азоту та інших елементів у ґрунті.

Для фітоіндикаційних досліджень найскладнішим є те, що кожний з цих факторів у процесі взаємодії зазнає змін і, в різних типах едафічних умов, лімітуючими виступають різні показники. Наприклад, для галофільних ґрунтів лімітуючими є ступінь і характер засолення, для чорноземів – ступінь вологості, для підзолистих ґрунтів – забезпеченість доступними формами азоту.

Величина показника трофності залежить від багатьох складових, в тому числі ґрунту та підстилаючої материнської породи, а також структури фітоценозу.

ґрунт та підстилаюча порода зумовлюють хімічні та фізичні властивості, які сприяють промивному режиму та утриманню ґрунтових вод. Наприклад, дерново-підзолисті ґрунти – велика кількість H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , дерново-карбонатні – HCO_3^- , Ca^{2+} , солончаки – Cl^- . Чим гірший промивний режим, ближче залягають ґрунтові води, тим ґрунт насиченіший солями.

Досить важливою складовою багатства ґрунтів є фактор їх кислотності, показники якої значно корелюють з загальним сольовим режимом. Кислотність ґрунту залежить від структури ґрунту, водних властивостей та промивного режиму.

Важливою складовою трофності ґрунту є показник вмісту в ньому азоту. Складність його визначення полягає в тому, що азот в ґрунті знаходиться в різних мінеральних формах, таких, що легко-, важко- або зовсім не гідролізуються, тобто як доступних, так і недоступних для засвоєння рослиною. Це залежить від хімічного та фізичного складу ґрунту, характеру рослинного покриву, наявності, видового складу і активності мікроорганізмів, специфічних виділень кореневої системи рослин. В свою чергу, активність мікроорганізмів залежить від вологості ґрунту, окислювально-відновлювального потенціалу, рН, наявності або відсутності інгібіторів.

Фітоіндикаційні шкали показують лише відносну кількість доступного для рослин азоту. До доступних форм азоту належать мінеральний азот, гумін, гумінові та фульвокислоти.

