

## ЯК ОЦІНИТИ СТАН ДОВКІЛЛЯ?

Забруднення та деградація довкілля, зменшення біорізноманіття, зміна клімату й опустелювання, а також інші негативні явища, які спостерігаються протягом XX-XI століть, ставлять перед нами складні проблеми, що безпосередньо впливають на якість життя та здоров'я людей, розвиток економіки, торкаються політики й інших сфер суспільного буття. Якість життя – це чиста вода, повітря, ґрунт, продукти харчування та все інше, що оточує нас. За неналежний стан довкілля доводиться дуже дорого платити, особливо коли це стосується нашого здоров'я. Разом із тим відомий вислів, що попередити хворобу легше й дешевше, ніж її лікувати. З цієї точки зору оцінка показників зовнішнього середовища, прогнозування змін різних факторів і можливих наслідків від цих змін є вкрай важливою для сучасного й майбутнього кожної людини. Навіть у випадку коли негативні природні явища в цей час нам безпосередньо не загрожують, їх все-рівно потрібно знати, уміти визначати їхнє наближення й володіти можливостями попередження та уникнення руйнівного впливу. Саме для цього здійснюються наукові дослідження довкілля, прогнозування стану якого потребує дуже глибоких знань, що ґрунтуються на вивченні організації і функціонування екосистем. Але у випадку коли мова йде про природні екосистеми прогнозування стає дуже проблемним завданням через велику їхню різноманітність, складність, багатоконпонентну структуру, в якій кожна складова проявляє певну «самостійність», і в залежності від впливу різних, у першу чергу, лімітувальних, факторів може змінювати свою «поведінку», що призводить до суттєвих похибок у прогнозуванні. У зв'язку з цим для передбачення природних процесів науковці шукають такі методологічні підходи, які дають змогу отримувати максимально точні прогнози. До числа саме таких методів належать ті, які ґрунтуються на достовірній багаторічній інформації, тобто на основі біомоніторингу. У системі цих методів центральне місце займає біоіндикація, суть якої полягає в тому, що окремі організми досить чутливо реагують на відповідні зміни довкілля, що дозволяє із складних природних взаємозалежностей і процесів вичленити та отримати таку кінцеву інформацію, яка може бути описана за допомогою існуючої математичної мови, а отже, використовуватися для моделювання та прогнозування. Біоіндикацію можна порівняти з діагностикою хвороб, коли замість дослідження стану та безкінечної кількості процесів функціонування організму ми використовуємо показники температури тіла, аналізи та інші характеристики, на основі яких діагностується хвороба. Ефективність біоіндикаційних методів полягає в тому, що вони набагато дешеві (не потрібно проводити численні складні лабораторні аналізи з використанням дорогих препаратів і приладів), дозволяють за короткий час охопити великі території, оцінити їхні межі, відкинути випадковості та відобразити суттєву багаторічну дію зовнішніх факторів, тобто знайти причину зміни індикатора.

Хоча методи біоіндикації застосовуються дуже давно, але сьогодні, у вік комп'ютерної техніки, можливості їх значно розширилися і сформувалося багато нових напрямів, у розробці яких українські вчені займають лідируючі позиції. Частина з результатів досліджень вітчизняних науковців узагальнена в циклі робіт «Розробка наукових основ та методів біоіндикації і біомоніторингу природних екосистем України», який здобув Державну премію України в галузі науки і техніки за 2013 рік. Цикл включає багаторічні комплексні дослідження, що охоплюють всі типи природних середовищ: гідросферу, атмосферу, педосферу та біотичну складову, яка виступає індикатором стану довкілля.

До числа нових наукових напрямків, пов'язаних із біоіндикацією та представлених у названому циклі, належить запропонований чл.-кор. НАН України Я.П. Дідухом метод синфітоіндикації (син = співіснування, фіто = рослини), що знайшов широке застосування для оцінки різних властивостей ґрунту та кліматичних факторів. В основу методу покладена ідея використання індикаторів всієї сукупності видів рослин, які населяють таке угруповання. Зростання кожного виду обмежується лімітувальними показниками певних факторів, а сукупність видів відображає той вузький діапазон умов, де вони можуть одночасно зростати разом, що точніше відображає ці умови. На основі широкого використання розробленого методу в різних регіонах України на прикладі різних типів екосистем були встановлені важливі закономірності взаємодії між різними екологічними факторами та їх вплив на екосистеми. Такі результати важливі для проведення екологічних експертиз, оцінки впливу довкілля і прогнозування можливих змін, екологічного картографування, антропогенних факторів на зміни довкілля, збереження та репатриації рідкісних видів, охорони біотопів, використання екологічних індикаторів для переходу України на засади сталого розвитку. Отримані дані дозволили встановити важливі закономірності зміни структури екосистем, пов'язані з процесами трансформації енергії. Це вивело біоіндикаційні дослідження на використання підходів термодинаміки, застосування синергетичних законів в екології. Виходячи з цих позицій, Я.П. Дідухом було дано характеристику змін природних екосистем, проведено порівняльну оцінку енергозапасів різних типів екосистем та їх втрату під впливом дії антропогенного фактору. Особливе значення має методика оцінки екологічних збитків екосистем з урахуванням затрат на їх відновлення на основі показників енергії. Такі показники, які відомий вчений Ю. Одум влучно назвав «екологічною валютою» є універсальними одиницями оцінки, на основі яких екологи отримують вагомі кількісні аргументи, економісти можуть переводити їх у грошовий еквівалент і рахувати не лише прямі, а й опосередковані збитки, технологи – оцінювати результати своєї діяльності, позитивні і негативні впливи, екологічність технічних проєктів.

На основі використання індикаторних властивостей лишайників докт. біол. наук С.Я. Кондратюком була проведена індикація стану пралісів. на основі використання індикаторних властивостей лишайників та відпрацьовані методичні основи використання лишайників індикаторів пралісів Східних Карпат, виявлені найцінніші пралісові ділянки та проведена міжнародна школа-навчання для працівників лісництва і науковців Східної Європи щодо методів оцінки цінності пралісових ділянок та особливостей їх охорони.

Іншим важливим напрямком біоіндикації є оцінка забруднення атмосферного повітря, що проводиться за допомогою лишайників, які є чутливими до різних поллютантів. В Україні такі дослідження були започатковані науковцями Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України у середині 1980-х років (Блюм О.Б. та Кондратюк С.Я.). З того часу підготовлено карти забруднення атмосферного повітря в більше ніж 10 великих і середніх містах України, а також в околицях промислових об'єктів Івано-Франківської, Львівської, Полтавської областей. Так, наприклад на час проведення досліджень (1990-ті роки) було показано, що серед міст України найчистіше повітря було виявлено в місті Тернополі, тоді як у місті Рівне, Івано-Франківськ, Львів, а також в містах Київ, Полтава, Чернігів присутні осередки досить сильно забрудненого повітря. Українськими дослідниками було запропоновано свій оригінальний показник атмосферного забруднення «ІЧП – Індекс Чистоти Повітря». За розрахунками вказаного

# Фітоіндикація та моніторинг стану та змін наземних екосистем



Розроблені методологічні основи та методика синфітоіндикації знаходять широке застосування для оцінки стану екосистем та їх компонентів (біотичної складової, властивостей ґрунту та мікроклімату).

## Вона дає можливість:

- 1 Оцінити специфіку рідкісних видів рослин та їх відношення до різних екологічних факторів (вологість, змінність зволоження, сольовий, кислотний режими ґрунту, вміст у ньому мінеральних азотних сполук, карбонатів, термо-, кріо- та іроррежим).
- 2 Оцінити залежність зміною вказаних факторів в різних типах систем.
- 3 Оцінити градієнт ландшафтних змін екофакторів та їх взаємозалежність.
- 4 Оцінити екологічну роль лісових екосистем та вплив антропогенних факторів при їх знищенні.
- 5 Скласти екологічні карти за зміною показників екофакторів.
- 6 Оцінити зміни екосистем у часі та спрогнозувати їхній можливий розвиток.

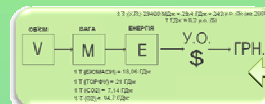
Отримані дані важливі для проведення екологічних експертиз, оцінки впливу природних (включаючи кліматичні) та антропогенних факторів на зміни екосистем і природи їх розвитку, моделювання, збереження та репатріації рідкісних видів, охорони біотопів та формування екомережі, використання біоіндикаторів для формування основ переходу України за засади сталого розвитку.

Чл.-кор. НАН України Дідух Яків Петрович

## Використання енергетичних показників для оцінки екосистем

На основі методики синфітоіндикації встановлено важливі закономірності зміни структури екосистем, пов'язані з процесами трансформації енергії, що дає можливість застосовувати термодинамічні та синергетичні підходи в екології. На основі цього проведено порівняльну оцінку енергозапасів основних типів екосистем та їх збитків під впливом дії антропогенних факторів з урахуванням затрат на відновлення.

Чл.-кор. НАН України Дідух Яків Петрович  
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України



розробка математичного апарату для обрахунку збитків екосистем



## Теоретичні та методичні положення моніторингу лісів України



Розроблено теоретичні та методичні положення моніторингу лісів України відповідно до Європейських систем моніторингу лісів. Організовано систему моніторингу лісів, що включає 1500 ділянок різних регіонів України. Біоіндикаційною ознакою, що відображає кумулятивний стан лісових екосистем та характер дії на них антропогенних факторів, є дефоліація крон. На основі сучасних методів проведено картування стану лісових масивів за показниками дефоліації.  
К.б.н. Букша Ігор Федорович  
Інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького



Індексу проведено зонування територій вказаних міст та територій, що прилягають до Бурштинської ДРЕС, Івано-Франківського заводу ТОС, Калушського ВО «Хлорвініл» (на час проведення досліджень він мав таку назву) та окреслені осередки з найбільшим впливом їх викидів на навколишнє середовище.

Окремим напрямком є біогеохімічна індикація, яка ґрунтується на визначенні забруднення навколишнього середовища за вмістом забруднюючих речовин в тій чи іншій рослині-індикаторі. Ю.Г. Тютюнником та О.Б. Блюмом (Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України) запропоновано оригінальну фітогеохімічну методику кількісного визначення атмосферного забруднення урбанізованих територій важкими металами, яка ґрунтується на визначенні залежностей між середніми багаторічними концентраціями цих металів у рослинах-моніторах (лишайники, кора дерев) та їх вмістом у повітрі. Розроблений метод дозволяє не лише дати якісну оцінку забрудненості атмосферного повітря, але й обрахувати середні багаторічні концентрації важких металів в повітрі за їх вмістом у лишайниках. Цей новий метод є набагато простішим та дешевшим, аніж традиційний метод хімічного аналізу повітря на вміст важких металів. За допомогою зазначеного методу було проведено та закартовано забруднення важкими металами атмосферного повітря ряду міст, дано оцінку екологічного стану безцінних пам'яток культурно-історичної спадщини України, проведено ретроспективний аналіз змін стану забруднення важкими металами повітряних мас над окремими територіями у часі (починаючи з середини XIX ст.).

У відповідності до Конвенції ООН з питань далекого транскордонного переносу повітряних забруднень (LRTAP Convention) в рамках Міжнародної кооперативної програми по рослинності (ICP Vegetation), в якій беруть участь 28 європейських країн, проведені багаторічні моніторингові дослідження з картування випадання токсичних важких металів. Отримані результати, що базуються на використанні мохів як фітогеохімічних індикаторів, опубліковані у окремих випусках Атласу випадання важких металів з атмосферного повітря в Європі.

Успішно вивчається також забруднення довкілля приземним озonom – шкідливим токсикантом у підвищених концентраціях для людини та рослин. На території Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України ще у 1995 р. була створена перша в Україні станція довгострокового безперервного моніторингу тропосферного (приземного) озону. Спостереження, проведені на цій станції за допомогою надзвичайно чутливих автоматичних УФ-аналізаторів озону, дозволили встановити тут закономірності та особливості формування приземного озону, детально вивчити його добову та сезонну динаміку та небезпечні для здоров'я людини озонові епізоди, що трапляються влітку. За результатами вперше в Україні отриманих даних вдалося провести оцінку можливої токсичної дії приземного озону на природну та культурну рослинність та встановити можливий шкідливий вплив приземного озону на здоров'я людини в умовах урбанізації. За допомогою рослин-біоіндикаторів вперше показано, що підвищення стійкості рослин до шкідливого впливу приземного озону може досягатися не лише за допомогою таких синтетичних антиоксидантних речовин як етилендисечовина та пенконазол, а й за допомогою фітопрепаратів – водних екстрактів рослин (чорнобривці, базилік та шавлія), що відкриває принципово новий напрямок робіт по розробці методів захисту сільсько-господарських рослин від їх ушкодження високими концентраціями приземного озону.

Біоіндикаційні дослідження проводяться не лише по відношенню до наземних, а й водних екосистем, зокрема в Інституті біології південних морів НАН України та його Одеському філіалі – тепер Інститут морської біології (академік НАН України Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Мінічева Г.Г., Л.В. Воробйова), Інституті гідробіології НАН України (Афанасьєв С.О.). Особливо цікавими виявилися зони контакту води і атмосфери, моря та узбережжя, які з одного боку є найчутливішими до забруднення, а з іншого – характеризуються високою чисельністю живих істот, що знайшло відображення в понятті «згустків життя». Відкрите Ю.П. Зайцевим явище такого згустку життя між водним середовищем і атмосферою дістало назву «нейстон», який виявився чутливим індикатором як поверхневого (нафтового, радіоактивного ) забруднення вод так і стану морських екосистем в цілому. Результати досліджень нейстона наштовхнули вчених на ідею дослідження біоти прибережної зони «мейобентосу», що використовується як біоіндикатор якості морського середовища. Практичний вихід таких досліджень полягав у тому, що були підготовлені рекомендації до використання піску різної структури для підтримки самоочищення пляжів, будівництва штучних рифів із позитивним біоефектом. Досліджуючи морфоструктуру морських водоростей, Г.Г. Мінічева запропонувала новий показник – коефіцієнт їх функціональної активності, що відображає швидкість синтезу органічних речовин і слугує основою для розробки прогнозів змін морських екосистем та їх компонентів. Б.Г. Александровим був розроблений комплексний (інтегральний) показник біологічної цінності акваторій.

Отримані наукові напрацювання і підготовлені рекомендації авторів використані при розробці Стратегічного плану дій з охорони та реабілітації Чорного моря від забруднення, Державної програми охорони та відновлення оточуючого середовища Азовського та Чорного морів, розробці та підготовці до ратифікації Протоколу про збереження біотичного та ландшафтного різноманіття Чорного моря (ратифікована Україною в 2002 році). Згадані дослідники прийняли участь у розробці нормативних документів Водної рамкової директиви ЄС, розробці нових показників (індикаторів) стану водних екосистем та адаптування до неї національних моніторингових спостережень.

Для континентальних водойм розроблено концептуальні основи оцінки екологічного стану річкових систем України (Афанасьєв С.О.). Проведено детальні широкомасштабні, у тому числі підводні, обстеження біотопів річкових систем басейнів Тиси, Прута, Дністра, Дніпра, Південного Бугу, Західного Бугу та верхньої ділянки Прип'яті, що дозволило простежити зміни у макроструктурі біотичних угруповань річок у градієнті умов та встановити закономірності структурної організації біоти у гірських та рівнинних річках України. Виконано експериментальні дослідження впливу природних процесів та різного роду забруднень на поведінку водних організмів. Розроблено методологію оцінки екологічних ризиків, що виникають внаслідок дії локальних джерел забруднення на екосистеми річок.

Результати фундаментальних досліджень знайшли впровадження безпосередньо в практиці, розробці законодавчих документів, опубліковані не лише в наукових виданнях, а й у підручниках, посібниках, що використовуються для підготовки спеціалістів вищої кваліфікації, у процесі якої автори розробок беруть безпосередню активну участь.