

## Лекція 2

### КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

#### 1. Види і рівні моніторингу

Антропогенний вплив на біосферу розподілений нерівномірно. В одних географічних зонах він майже відсутній (центральна частина Антарктиди, південна частина Південного океану, заповідники на різних континентах), в інших — спричинює відчутні зміни первинних екосистем, рельєфу, навіть особливостей місцевості (райони інтенсивного розвитку промисловості, відкритих розробок копалин, інтенсивного ведення сільського господарства, урбанізовані території). Унаслідок антропогенної дії природні середовища таких районів забруднені невластивими для них елементами (хімічними речовинами, їх сполуками). Таке становище зумовлює здійснення певних видів моніторингу на різних рівнях.

Залежно від мети та поставлених завдань, методів спостережень і технічних засобів їх реалізації існують різні види моніторингу довкілля, які, у свою чергу, поділяються за територіальними рівнями організації спостережень.

Є різні класифікації видів моніторингу, створені різними авторами (зокрема, Ю.А.Ізраєлем, І. Герасимовим, М. Голубцем). Кожна класифікація має свою специфіку залежно від обраних автором принципів її побудови.

Таблиця 1. Узагальнена класифікація систем моніторингу

<b>Принципи класифікації</b>	<b>Наявні або розроблювані системи (підсистеми) моніторингу</b>
Універсальні системи (територіально-просторово організовані)	Глобальний моніторинг (базовий, регіональний, імпактний рівні), у т.ч. фоновий і палеомоніторинг, державний, міждержавний, міжнародний моніторинги (моніторинг транскордонного переносу забруднюючих речовин)
Реакція основних складових біосфери	Геофізичний, біологічний (у т.ч. генетичний), екологічний, медико-біологічний, кліматичний, біоекологічний, геоекологічний, біосферний моніторинги
Ступінь антропогенного порушення середовища	Моніторинг антропогенних змін в атмосфері, гідросфері, ґрунті, кріосфері, біоті. Моніторинг джерел забруднення, інгредієнтний моніторинг (окремих забруднюючих речовин, радіоактивних випромінювань)
Просторово-часовий підхід	Дистанційний, авіаційний, космічний, історичний моніторинги

Таблиця 2. Класифікація систем моніторингу за Ю.А.Ізраєлем

Принцип класифікації	Існуючі або перспективні системи моніторингу
За універсальністю системи	Глобальний, включаючи фоновий та палеомоніторинг. Національний, «міжнародний» (моніторинг трансграничного переносу ЗР), регіональний
За реакцією основних складових біосфери	Геофізичний моніторинг, біологічний моніторинг (в тому числі генетичний), екологічний моніторинг (включаючи геофізичний і біологічний)
За основними складовими біосфери	Моніторинг антропогенних змін в атмосфері, гідросфері та літосфері
За джерелами впливу	Моніторинг джерел забруднень, інгредієнтний моніторинг (окремих забруднювальних речовин, радіоактивних випромінювань, шумів тощо)
За факторами впливу	Біотичний та абіотичний
За рівнем гостроти та глобальності	Моніторинг океану, клімату Землі, моніторинг озоносфери тощо
За методами спостережень	Аерокосмічний моніторинг (дистанційні методи). Моніторинг за фізичними, хімічними та біологічними показниками
За системністю підходу	Медико-біологічний або санітарно-гігієнічний (стану здоров'я населення), біоекологічний, кліматичний. Варіанти: біо-, геоєкологічний, біосферний, природно-господарський та ін.

Різні види моніторингу можна проводити на певних територіальних рівнях: локальному, регіональному, глобальному (табл. 1.3), які відрізняються площею охоплення, мережею, програмами спостережень, об'єктами і предметами дослідження.

Об'єктами спостереження можуть бути:

- окремі місця і зони, розміри яких не перевищують десятки кілометрів (локальний моніторинг);
- локальні джерела підвищеної небезпеки: території поблизу місць поховання радіоактивних відходів, зони впливу АЕС, хімічні заводи (імпактний моніторинг);
- території площею до тисяч квадратних кілометрів (регіональний моніторинг);
- загальносвітові процеси і явища в біосфері та в екосфері Землі (глобальний моніторинг).

Таблиця 3. Рівні моніторингу

Параметр	Локальний	Регіональний	Глобальний
Площа, охоплена системою моніторингу, м <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup> – 10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>	До 10 <sup>7</sup> – 10 <sup>8</sup>
Відстань між пунктами відбору проб, км	0,01 – 10	10 – 500	До 3000 – 5000
Періодичність досліджуваних процесів	Дні – місяці	Роки	Десятиліття – століття
Частота спостережень	Хвилини – години	Декада – місяць	2–6 разів на рік
Кількість компонентів, що спостерігаються	3–30	120–1500	10 <sup>3</sup> –10 <sup>6</sup>
Точність	Частки ГДК	До 30%	Десяті частки, %
Оперативність видачі інформації	У реальному масштабі часу	Через 1–3 місяці з початку відбору проб	Роки з дня відбору проб

Є чимало інших підходів до класифікації систем моніторингу за різними критеріями.

За критерієм обрання **предмета спостереження** найбільшу **практичну цінність** мають екологічний, фоновий, глобальний, кліматичний види моніторингу.

### 1.1. Екологічний моніторинг

Завдання екологічного моніторингу полягає у виявленні в екосистемах змін антропогенного характеру. Для його здійснення придатні методи, що ґрунтуються як на окремих вимірюваннях параметрів забруднення біоти, реакції на дію антропогенних факторів, так і на безперервному визначенні інтегральних показників на великих територіях.

**Екологічний** (грец. oikos – оселя і logos – слово) моніторинг – комплексна підсистема моніторингу біосфери, яка охоплює спостереження, оцінювання і прогнозування антропогенних змін (біологічних, геофізичних) стану біосфери загалом і екосистем, спричинених дією забруднювачів, сільськогосподарським використанням земель, вирубуванням лісів, урбанізацією, а також оцінювання екологічної рівноваги в екосистемах.

Екологічний моніторинг передбачає обов'язковість спостережень на таких рівнях:

- 1) імпактний рівень – спостереження за територіями, які піддаються антропогенному впливу, що зумовлює небезпечні або критичні наслідки;
- 2) регіональний рівень – спостереження за процесами та явищами в межах певного регіону;
- 3) фоновий (базовий) рівень – глобальні спостереження за станом екосистем і прогнозування в них змін, що відбуваються без прямого впливу антропогенних факторів.

Для здійснення екологічного моніторингу необхідно зосередитися на найхарактерніших видах і ознаках екосистеми, вивчити реакції елементів біосфери на антропогенний вплив за допомогою натурних і лабораторних експериментів, математичного моделювання, аналізу результатів польових спостережень, які дають змогу виявити основні тенденції зміни екосистеми, знайти залежності між дією різних факторів та біологічними реакціями.

## **1.2. Фоновий моніторинг**

Основним завданням фонового моніторингу є з'ясування і фіксація показників, що характеризують природний фон (стан природного середовища, який не зазнав прямого впливу людської діяльності), а також глобальні й регіональні зміни в процесі розвитку біосфери. Його організовують у біосферних заповідниках, де вивчають, контролюють і прогнозують антропогенні зміни біосфери, абіотичних факторів середовища, а також внутрішні процеси і явища, що відбуваються в екосистемах.

**Фоновий (науковий, базовий) моніторинг** – багаторічні комплексні спостереження за визначеними об'єктами природоохоронних зон для оцінювання і прогнозування змін стану екосистем, віддалених від об'єктів промислової і господарської діяльності. Це спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими довкілля, а також за характером, складом, кругообігом і міграцією забруднювальних речовин, за реакцією організмів на забруднення як на рівні окремих популяцій чи екосистем, так і біосфери в цілому.

Фоновий глобальний стан біосфери вивчають на фонових станціях, які формуються зі стаціонарного спостережувального полігона (ділянки для відбору проб, гідропости, спостережувальні свердловини) і хімічної лабораторії, розміщених на територіях біосферних заповідників, де заборонена будь-яка господарська діяльність.

Натепер у 76 країнах світу функціонує до 300 біосферних заповідників. Площа кожного з них становить від 300 до 2 млн.га. В Україні біосферними заповідниками, де проводять фонові спостереження, є Асканія-Нова (33 307,6 га), Чорноморський біосферний заповідник (100 809 га), Карпатський біосферний заповідник (57 880 га), Дунайський біосферний заповідник (46 402,9 га).

Якісний і кількісний фоновий стан природного середовища у далекому минулому, до початку впливу людини, можна дослідити за даними **історичного моніторингу** – аналізу кілець загиблих або давніх дерев, проб льодовиків, донних відкладень тощо.

Програма фонових моніторингу формується з абіотичної та біотичної складових.

До абіотичної складової фонових моніторингу належать спостереження за кліматичними, едафічними (грунтовими), гідрологічними, орографічними (рельєфними), геологічними умовами та явищами навколишнього середовища, які впливають на організми екосистеми. Біотична складова фонових моніторингу охоплює оцінювання стану біоти (визначення коефіцієнта розмноження, тривалості життя), прогнозування її реакцій на незначну зміну природного середовища (встановлення залежності біоти від антропогенного забруднення в системі «доза – реакція»).

Міжнародні фонові моніторингові станції належать до глобальної системи моніторингу навколишнього середовища.

### **1.3. Глобальний моніторинг**

Спостереження за загальносвітовими процесами і явищами в біосфері Землі та в її екосфері є предметом **глобального моніторингу**.

**Глобальний** (франц. global – всесвітній, загальний) **моніторинг** – система спостережень за планетарними процесами і явищами, які відбуваються у біосфері, з метою оцінювання та прогнозування глобальних проблем охорони навколишнього природного середовища.

За результатами роботи Міждержавної наради з проблем моніторингу, що відбулася у Найробі (лютий 1974 р.), було сформульовано такі основні завдання глобального моніторингу:

1. Організація розширеної системи попереджень про загрозу здоров'ю людини.
2. Оцінювання глобального забруднення атмосфери та її впливу на клімат.
3. Оцінювання кількості і розподілу забруднення біологічних систем, особливо харчових ланцюгів.

4. Оцінювання критичних проблем, що виникають внаслідок сільськогосподарської діяльності й землекористування.
5. Оцінювання реакції наземних екосистем на вплив навколишнього середовища.
6. Оцінювання забруднення океану і вплив забруднень на морські екосистеми.
7. Створення міжнародної системи попереджень про стихійні лиха.

Програма глобального моніторингу передбачає систематичне вивчення навколишнього середовища за єдиними правилами та уніфікованими методиками на 8 континентальних, 77 базових і 66 біосферних регіональних станціях, розташованих у різних точках Землі. Вона охоплює спостереження, оцінювання і прогнозування змін природних процесів, контролювання енергетичного і теплового балансу Землі (відношення надходження і витрат енергії на земній поверхні і в системі «атмосфера — Земля»), спостереження за рівнями радіації, вуглекислого газу, кисню в тропосфері (частково в гідросфері), глобальним збільшенням фонового забруднення атмосфери, станом Світового океану, змінами клімату, міграційними шляхами тварин.

За деякими з цих напрямів у багатьох країнах давно тривають успішні дослідження та спостереження, за іншими – робота тільки розпочалася. Тому здебільшого необхідна не організація нових служб, а максимально ефективно використання і розвиток наявних систем, їх доповнення, раціональне й ефективно послуговування інформацією.

Сучасна глобальна система моніторингу навколишнього середовища охоплює всі природні зони, а також потенційно-небезпечні щодо забруднення компонентів середовища райони. Система глобального моніторингу реалізується на імпакті, регіональному, фоновому рівнях, для яких розроблені спеціальні програми. Програми спостережень формують на основі вибору пріоритетних забруднюючих речовин та інтегральних характеристик, використовуючи певну сукупність критеріїв.

#### **1.4. Кліматичний моніторинг**

При глобальних перетвореннях довкілля визначальну роль відіграють кліматичні зміни, спричинені природними та антропогенними факторами (парниковий ефект, озонові діри, техногенні забруднення довкілля). Перебуваючи в тісному взаємозв'язку з усіма компонентами природного середовища, клімат (багаторічний режим погоди, властивий даній місцевості) відчутно впливає на них, на умови життя і самопочуття людини.

Спостереження за станом кліматичної системи, оцінювання та прогнозування її подальшого розвитку здійснюють за допомогою кліматичного моніторингу.

**Кліматичний моніторинг** – система спостережень, оцінювання і прогнозування зміни клімату.

До кліматичного моніторингу належить збирання даних про клімат минулого. Для цього вивчають копалини, а також кільця деревини, донні відкладення, на яких позначаються коливання й зміни клімату протягом сотень і тисяч років.

Моніторинг клімату зосереджується на реалізації таких завдань:

- збирання даних про стан кліматичної системи;
- аналізування і оцінювання природних та антропогенних змін і коливань клімату (включаючи порівняння клімату минулого з сучасним);
- виокремлення антропогенних ефектів у зафіксованих змінах клімату;
- виявлення природних і антропогенних факторів, що зумовлюють зміну клімату;
- виявлення критичних елементів біосфери, вплив на які може спричинити кліматичні зміни. Кліматичний моніторинг охоплює геофізичний (система спостережень за абіотичною частиною біосфери, а саме: кліматом, рельєфом, температурою, сонячною радіацією тощо) та біологічний (система спостережень за станом біотичної складової біосфери та її реакцією на антропогенний вплив) моніторинги. У його здійсненні важливу роль відіграють метеорологічні служби, які сформовані з наземних та супутникових підсистем, що дають змогу різнобічно відстежувати процеси і явища.

На сучасному етапі у світі функціонує 40 000 кліматологічних і 140 000 дощомірних станцій, однак розміщені вони нерівномірно. Міжнародний обмін основними погодними даними забезпечують Всесвітня служба погоди (ВСП), Всесвітня метеорологічна організація (ВМО). ВСП формується з глобальних систем спостережень, телезв'язку й оброблення даних. Метою її роботи є збереження і надан

Найбільш універсальним підходом до формування систем моніторингу є організація глобальної системи моніторингу з одночасним вирішенням всіх задач, які виникають при цьому. Тут необхідно виділити моніторинг антропогенних забруднень та моніторинг антропогенних збурень і змін, не пов'язаних із забрудненнями.

## **2. Фактори, індикатори та показники, які досліджуються в системі моніторингу довкілля**

При здійсненні моніторингу стану біосфери необхідно організувати досить представницьку мережу спостережень (вимірювань) за найбільш важливими факторами впливу і показниками стану навколишнього природного середовища. В залежності від конкретної задачі моніторингу ці фактори і показники можуть бути різними.

При визначенні індикаторів та показників слід шукати компроміс між достовірністю і доступністю інформації. При цьому втрати інформації мають бути мінімальними, а сам показник повинен забезпечувати:

- інформативність, реальність і можливість практичної реалізації;
- спрощення інформації таким чином, щоб допомогти уповноваженим особам приймати обґрунтовані рішення, а громадськості – зрозуміти проблему.

Показники спрощують складну реальність і є «вижимкою» інформації, отриманої в процесі добору та аналізу даних моніторингу.

Як правило, показники розробляють для:

- допомоги у виробленні оптимальної екологічної політики;
- порівняння країн та регіонів;
- формування розуміння проблеми; вивчення взаємозв'язку з діяльністю промисловості, причинно-наслідкових зв'язків та синергізму.

Таким чином, критерії вибору показників повинні враховувати і їх політичне значення.

В Європейській агенції з навколишнього середовища (ЄАНС; *англ.* – ЕЕА) виділяють п'ять типів інтегральних показників.

**Описові показники (А).** Наприклад, частка органічного землеробства на всіх сільгоспугіддях, %.

**Показники виконання (В)** – показники, що характеризують хід виконання намічених цілей (викиди парникових газів).

**Показники ефективності (С)** – показники, що характеризують екологічну ефективність, наприклад, рівень викидів на одиницю ВВП.

**Показники політичної ефективності (Б)** – показники, що характеризують зв'язок змін навколишнього середовища з політичними заходами (реагування).

**Сумарні показники добробуту (Е)** – показники, що характеризують розвиток суспільства, наприклад, показники сталого розвитку.

Особливо поширеними вважаються інтегральні показники **стану природних систем**. Інтегральними показниками, які характеризують зміни в екологічній рівновазі, вважають такі:

- збалансованість біологічної продуктивності (відношення первинної біологічної продуктивності до вторинної);
- швидкість утворення біологічної продукції (відношення біопродуктивності до загальної біомаси);
- інтенсивність кругообігу біогенних речовин.

Більшість екологічних показників слід розглядати у нерозривному взаємозв'язку між собою.

При організації спостережень за зміною стану екосистем необхідно, в першу чергу, приділяти увагу можливим порушенням і перебудовам в умовах ведення лісового господарства, землеробства та тваринництва.

Для здійснення моніторингу антропогенних змін природного середовища необхідно визначити найбільш представницькі види ознак і відгуків в екосистемі. Для цього необхідно вивчити характер відгуків елементів біосфери на збурення як за допомогою натурних, так і лабораторних експериментів, математичного моделювання та аналізу результатів польових спостережень.

Нижче наведено деякі правила підбору показників для контролю за станом біологічних систем:

- необхідно відбирати показники, що їх відносять тільки до процесів з гомеостатичними механізмами;
- необхідно надавати перевагу показникам, які характеризують неспецифічний відгук на збурювальний фактор;
- необхідно надавати перевагу інтегральним показникам.

Вважається, що наявність норми за одними показниками і патологій за іншими, а також їх співвідношення можуть однозначно визначити «хворобу» біологічної системи. Оцінювання ефекту від шкідливого збурення можна звести до підбору єдиного показника стану екосистеми, який об'єднує окремі відгуки системи так званою **функцією бажаності**.

Виходячи з основних задач системи моніторингу довкілля, необхідно насамперед знаходити **фактори** впливу (головним чином антропогенні – різноманітні забруднювальні речовини, випромінювання тощо), які призводять до найбільш серйозних, довгострокових змін у навколишньому середовищі (і джерела таких збурень), а також виявляти елементи біосфери, найбільш чутливі до таких збурень, або критичні ключові елементи, пошкодження яких може призводити до гибелі екосистем. Необхідно відмітити, що визначення пріоритетів для підсистем моніторингу при вирішенні різних задач може призвести до різних результатів для одного і того ж фактора збурення. Наприклад, збитки від збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері для деяких екосистем незначні, а в багатьох випадках збільшення CO<sub>2</sub> навіть

корисне – воно сприяє збільшенню продуктивності рослин. З іншого боку, накопичення CO<sub>2</sub> призводить до парникового ефекту і можливих змін клімату з різними негативними наслідками для біосфери.

На першій нараді з моніторингу в Найробі (1974 р.) було розроблено метод, вибрано критерії та визначено **пріоритетність** різних забруднювальних речовин (табл. 1.4). Знайдені пріоритети було розбито на вісім класів (чим вищий клас, тобто менший його порядковий номер, тим вищий пріоритет) з визначенням середовища і типу програми вимірювань («І» – імпактний, «Р» – регіональний, «Ф» – фоновий і «Г» – глобальний).

Проведені дослідження свідчать, що основну частку забруднень атмосферного повітря (до 85%) становлять діоксид сірки, пил, оксид вуглецю та оксиди азоту. Решта припадає на частку специфічних речовин, пов'язаних з роботою окремих галузей промисловості. Вони присутні у повітрі відносно невеликої кількості населених пунктів, де розміщено такі підприємства. До таких речовин відносять сірковуглець, хлор, сірководень, аміак, сполуки фтору, вуглеводень. Під час моніторингу необхідно передбачати також проведення вимірювань, які характеризують стан середовища (мутність атмосфери, рН водного середовища), спостереження за рядом гідрометеорологічних величин, достатніх для інтерпретації питань переносу, розсіювання та міграції забруднювальних речовин, сонячної радіації (в тому числі ультрафіолетового випромінювання).

Значною проблемою є забруднення повітря великих міст бенз(а)піреном – у деяких містах максимальні концентрації досягають 0,40,7 мкг/м<sup>3</sup>. Особливе місце займають важкі метали – концентрації свинцю в повітрі багатьох міст досягають значних величин (до 4,5 мкг/м<sup>3</sup>).

Основним джерелом забруднення відкритих водойм суші є стічні води різних промислових підприємств, стоки комунальних господарств міст та поверхневі сільськогосподарські стоки. У воді річок, озер та водосховищ спостерігаються нафтопродукти, феноли, залізо, мідь, цинк, важкі метали та інші шкідливі речовини.

Якщо говорити про спостереження за **територіями**, то найвищий **пріоритет** мають міста та зони, з яких беруть питну воду.

Серед **середовищ** вищий **пріоритет** мають атмосферне повітря та вода прісних водойм (особливо малопроточних). Для **повітря** найважливішими інгредієнтами є пил, оксиди сірки, вуглецю та азоту, важкі метали, бенз(а)пірен та пестициди. Для **води** – біогенні продукти, феноли та нафтопродукти.

Серед **джерел забруднень** найвищий **пріоритет** мають автомобільний транспорт, ТЕС, підприємства кольорової металургії.

Таблиця 4. Класифікація пріоритетних забруднювачів за класами пріоритетності (Ізраель, 1984)

Клас	Забруднювальна речовина	Середовище	Тип програми
1	Діоксид сірки, завислі частинки Радіонукліди ( $^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs}$ )	Повітря Їжа	I, P, Ф I, P
2	Озон  ДДТ та інші хлорорганічні сполуки Кадмій та його сполуки	- тропосфера - стратосфера Біота  Їжа, вода	I Ф I, P I
3	Нітрати, нітрити Оксиди азоту	Питна вода, їжа Повітря	I I
4	Ртуть та її сполуки Свинець Діоксид вуглецю	Їжа, вода Повітря, їжа Повітря	I, P I Ф
5	Оксид вуглецю Нафтовуглеводні	Повітря Морська вода	I P, Ф
6	Фториди	Свіжа вода	I
7	Азбест Арсен (миш'як)	Повітря Питна вода	I I
8	Мікротоксини Мікробіологічні зараження Реакційноспроможні забруднення	Їжа Їжа Повітря	I, P I, P I

