

**Тема 1-2**  
**ПЛАНУВАННЯ, ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

План:

1. Характеристика методів екологічних досліджень.
2. Дистанційні методи дослідження навколишнього середовища.
3. Методи біоіндикації.
4. Відбір та підготовка проб.
5. Вибір методів і засобів вимірювань.

**1. Характеристика методів екологічних досліджень.**

Більшість екологічних досліджень здійснюється з використанням **системного аналізу та комплексного підходу**. В останні роки значного поширення зазнав синергетичний підхід, який досліджує складно організовані системи. Поряд з цим в екологічних дослідженнях застосовують методи та методичні заходи, запозичені з інших галузей знань. Ці методи можна об'єднати в кілька груп. Насамперед, це група методів, за допомогою яких оцінюють якість довкілля (моніторингу). До них відносять: **біомоніторинг, біоіндикацію, дистанційний аерокосмічний та геоекологічний моніторинг**.

Другою групою методів екологічних досліджень слід вважати вивчення впливу екологічних чинників на життєдіяльність організмів. Це методи **спостереження в природі та експерименти в лабораторіях - токсикологічні, біохімічні, біофізичні, фізіологічні та ін.**

До третьої групи належать **ландшафтно-екологічні дослідження**. Це, насамперед, наземні методи (опису, математичні, геохімічні, геофізичні); дистанційні (аерометоди, космічні); комбіновані. Слід зазначити, що ландшафтно-екологічні дослідження, як правило, спрямовані на оцінку екологічного стану ландшафтів, чинників і процесів його динамічних змін. Застосовують цей метод найчастіше для вивчення сучасної ландшафтно-структури території, прогнозованого оцінювання динаміки техногенних процесів та антропогенних змін ландшафтів, екологічного картування ландшафтів та вивчення типів антропогенних перетворень ландшафтів (рис 2).



**Рис 2. Типізація сучасних методів дослідження ландшафтів**

Зміст основних методів дослідження ландшафтів природних ресурсів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Методи наукових досліджень в екології**

Назва методу	Зміст методу наукового дослідження в екології
Картографічний	Метод застосовують під час дослідження закономірностей і взаємозв'язків, динаміки розвитку явищ. Здійснюють це

	накладанням двох карт і вивченням узгодженості контурів на них. Динаміку змін у часі досліджують на різночасових картах.
Геофізичний	Метод використовують для вивчення фізичних властивостей геосистем, а саме: процесів обміну речовиною, енергією та інформацією геосистем з довкіллям і всередині себе. Застосовують на практиці два підходи: аналізу-синтезу (баланси геосистем: радіаційного, теплового, водного і балансу речовини), опису (типізації станів геосистем у розрізі сезонів року).
Математичний	Метод застосовують для абстрагованого, спрощеного відображення дійсності логіко-математичними формулами, які передають у конкретному вигляді дані про структуру, взаємозв'язки і динаміку досліджуваних географічних явищ. Найчастіше в дослідженнях використовують методи математичної статистики (факторний аналіз і метод головних компонент). Нерідко застосовують метод потенційних функцій, метод гіперплощин, метод гіперсфер.
Імітаційного моделювання	Метод застосовують для дослідження просторового розповсюдження хвороб, епідемій. Застосовують моделі: гравітаційні (аналогі моделі тяжіння Ньютона); диференціальних рівнянь (імітують просторово-часове розповсюдження хвороб); Монте-Карло (Колмогорова, Жеденко).
Екологічного аудиту	Метод використовується для екологічного експрес-оцінювання інвестиційних ризиків, оцінювання екологічного стану ділянки території, екоаудиту продукції виробництва і виробничої діяльності та екоаудиту системи екологічного менеджменту підприємств і організацій. Особи, які виконують екологічний аудит, повинні мати відповідний державний документ - сертифікат (ліцензію на право здійснення екологічного аудиту).
Гідрохімічний	Метод забезпечує вивчення речовинного складу поверхневих та підземних вод. Обсяги гідрохімічних досліджень визначають, виходячи з природної захищеності водних ресурсів та рівнів їх забруднення.
Біогеохімічний	Метод використовується для вивчення речовинного складу рослинності залежно від впливу на навколишнє середовище будь-якого специфічного забруднювача. Цим методом досліджують молоді рослини чи паростки 3-5 річного віку, бажано одного виду. Досліджують також трав'янисту рослинність, лишайники, мохи, опале листя. На сільськогосподарських угіддях досліджують сільськогосподарські культури.
Гідрогеологічний	Метод застосовується для вивчення гідрохімічних, гідродинамічних і гідрофізичних особливостей стану підземних вод та їх змін у просторі та часі. Схеми розташування гідрогеологічних пунктів спостережень, обсяги і режими досліджень визначаються конкретним природно-техногенним станом.
Геохімічний	Метод використовують для вивчення геохімічних характеристик різних компонентів природного середовища і оцінювання кількісних характеристик міграції забруднювальних речовин. Під час геохімічних досліджень вивчають: геохімію ґрунтів і порід зони аерації; гідрогеохімію підземних вод; геохімію донних відкладів; біогеохімію рослинних угруповань; гідрохімію атмосферних опадів.

Біоіндикаційний	Метод застосовують для оцінювання абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем (індикаторів). Ними можуть бути рослини, мікроорганізми, гриби. Біоіндикатори використовують під час ведення двох типів моніторингу: пасивного і активного. У разі пасивного моніторингу виявляють видимі і непомітні пошкодження чи відхилення від норми на організми, що вільно живуть у природі. У разі активного моніторингу виявляють вплив біотичних і абіотичних чинників на тест організми, які перебувають як у стандартизованих умовах, так і на досліджуваній території.

### **Географічний опис**

Метод географічного опису виконується для вивчення елементарних природно-територіальних комплексів (ПТК) і територій різного розміру (ландшафтів). Слід зазначити, що географічні описи можуть бути комплексними та проблемними. Типовим представником комплексних описів може бути опис ландшафтів.

Метод широко застосовують для опису фації, яка складена однорідними породами, має однорідний режим зволоження, глибину залягання ґрунтових вод, однорідний мікроклімат у межах якої формується одна рослинна асоціація на одному різновиді ґрунту.

Тоді як під час опису ландшафту слід відобразити мозаїчність території. А тому у характеристиці ландшафту, крім його загальних властивостей, описують зазвичай і його основні місцевості і урочища.

Для географічних описів використовують типові бланки описів, які доповнюють спеціальною частиною, до якої заносять додаткові характеристики об'єктів, що вивчаються.

Під час описання встановлюють парні зв'язки характеристик ПТК, а потім здійснюють аналіз зв'язків у середині чотирьох основних блоків: геоморфологічного, гідротермічного, біотичного і ґрунтового.

### **Космічний метод**

Космічний метод використовують для вивчення структури і розвитку географічного середовища за матеріалами космічного знімання, отриманого за допомогою реєстрації відображеного сонячного і штучного світла і власного випромінювання Землі з космічних літальних апаратів.

Отримані космічні знімки земної поверхні є моделями місцевості, що відображають реальну географічну структуру на момент знімання. Характеризуються вони наступними властивостями:

- 1) комплексне зображення ландшафтної структури, включаючи основні природні і антропогенні компоненти;
- 2) широкий спектральний діапазон знімання, про що сказано вище;
- 3) високий огляд знімків (вони можуть охоплювати площі від 10 тис. км до півкулі Землі загалом);
- 4) велика різноманітність масштабів знімання (більше 1:200000 -1:1000000000);
- 5) різна періодичність знімання - від десятків хвилин до десятків років;
- 6) багатократне покриття Земної кулі.

Космічні методи вдало доповнюють традиційні наземні і аерометоди. Їх сумісне використання забезпечує дослідження одночасно на локальному, регіональному і глобальному рівнях.

Космічні методи найчастіше застосовують у картографуванні рельєфу під час вивчення морфологічних характеристик водних об'єктів, гідрологічного режиму водних об'єктів, картографування гідрологічної мережі. Цим методом встановлюють просторову диференціацію ґрунтового покриву, вивчають параметри ґрунтів (гранулометричний склад, засоленість, вологість, температуру). За допомогою космічних методів (різномасштабних

знімків) виявляють просторову структуру біоценозів, здійснюють біоценометричні, фенологічні дослідження та вивчають сезонну ритміку і багаторічну динаміку ландшафтів.

Великий інтерес становить застосування космічних знімків у вивченні генезису й історії розвитку природних ландшафтів, водно-болотних угідь та забруднення повітряного і водного басейнів.

### Геохімічні методи

Геохімічний метод застосовують для дослідження розподілу, процесів міграції і концентрації хімічних елементів та їхніх сполук у різних геосферах. Проводять ці дослідження в рамках екологічного моніторингу, який поділяють на два види: *фоновий*, що полягає в контролі біологічних, геохімічних, геофізичних параметрів довкілля в районах, розташованих поза сферою впливу локальних джерел забруднення, та *імпаکتний*, спрямований на оцінювання ступеня забруднення і трансформації середовища в промислових, урбанізованих районах.

Серед геохімічних методів, що виконуються в рамках фонового моніторингу, виділяють:

- метод кларків;
- вивчення геохімічної структури ландшафту;
- метод біогеохімічних циклів.

*Метод кларків* застосовують для дослідження поширення хімічних елементів у різних природних середовищах (геосфер, екосистем). Розрізняють глобальні, регіональні і локальні кларки.

Сьогодні встановлено низку глобальних кларків літосфери і основних типів гірських порід. Вміст хімічних елементів у різних типах гірських порід зазвичай відрізняється від кларку літосфери. Кількісно цю відмінність В.І. Вернадський запропонував виражати кларком концентрації (КК), що є відношенням вагового вмісту певного елемента в природному об'єкті  $C_i$  до кларку літосфери  $K$ :

$$KK = \frac{C_i}{K} \cdot 10^4$$

Ця величина завжди більше 0. Якщо  $KK = 1$ , то й вміст елемента в об'єкті рівний його вмісту у літосфері. У тому разі, коли  $Q$  набагато менше  $K$ , для отримання цілих чисел і більшої контрастності показника доцільно розраховувати зворотні величини - кларки розсіювання (КТ), що показують, у скільки разів кларк більше вмісту елемента в певному об'єкті:

$$KP = \frac{K}{C_i} \cdot 10^4$$

Кларки гідросфери відображають коливання хімічного складу вод Світового океану, поверхневих, підземних і ґрунтових вод.

Кларки живої речовини характеризують хімічний склад організмів Землі. Під час досліджень використовують три методи вираження хімічного складу біологічних об'єктів:

- з розрахунку на сиру масу організму;
- на масу сухої органічної речовини;
- на золу (цілого організму).

Слід враховувати, що хімічний склад рослин залежить від двох основних чинників, а саме:

- екологічного, який визначає геохімічну обстановку зростання рослин (рівні вмісту хімічних елементів у живильному середовищі);
- генетичного, який визначається сімействами, родами і видами рослин.

Під час дослідження *ландшафтно-геохімічної системи* застосовують R-аналіз, який забезпечує вивчення геохімічної диференціації вертикального профілю різних елементарних ландшафтів. При цьому для характеристики геохімічної структури застосовують низку коефіцієнтів.

Насамперед коефіцієнт радіальної диференціації R, що є відношенням (валового або рухомого) хімічного елементу в генетичному горизонті ґрунту до його вмісту у ґрунтотворчій породі.

Розрізняють ряди елементів: сильного накопичення ( $R > 5$ ), середнього накопичення ( $R = 2-5$ ), винесення ( $R < 1$ ).

Відомий, використовується в дослідженнях, показник - коефіцієнт біологічного поглинання ( $A_x$ ).

$$A_x = \frac{C}{n},$$

де C - вміст елемента в зоні рослин; n - вміст цього елемента в ґрунті.

М.А. Глазовська запропонувала визначати:

– коефіцієнт біогеохімічної активності  $K_v$  (відношення споживання елемента живою речовиною за рік до його винесення з іонним стоком з континентів до океану, або з великих річкових басейнів).

– коефіцієнт деструкційної активності  $K_a$  (відношення надходження елемента в біосферу за рахунок видобутку і складування до споживання рослинністю).

Поряд з цим, для встановлення основних особливостей просторової геохімічної структури здійснюють L-аналіз, який вивчає локальні каскадні системи - ландшафтно-геохімічні (ґрунтово-геохімічні) катени - ряди ландшафтів або ґрунтів, розташованих на одному схилі. У цих випадках визначають коефіцієнти місцевої  $K_m$  (відношення вмісту елемента в ґрунтах прилеглих ландшафтів до його вмісту в ґрунтах і корі вивітрювання автономних ландшафтів).

Сьогодні розроблено методи вивчення біогеохімічних циклів елементів та методи аналізу фоновому функціонування ландшафту на основі вивчення потоків і балансів речовин і енергії, біогеохімічних кругообігів елементів.

Основною сферою застосування методів геохімії ландшафтів нині стало вирішення проблем довкілля, зокрема виявлення кризових екологічних ситуацій через оцінювання забруднення ландшафтів. Ландшафтно-геохімічні методи використовують на всіх стадіях оцінки стану локальних і регіональних природно-антропогенних геосистем. На регіональному рівні оцінювання містить такі блоки:

- оцінювання природного геохімічного фону регіону;
- аналіз геохімічного впливу сільського господарства на природні геосистеми;
- оцінювання стану і ступеня забруднення промислових центрів, впливи гірничодобувного виробництва на довкілля;
- комплексне еколого-геохімічне картографування і районування території за ступенем забруднення на відповідь реакціям і стійкості природних геосистем до техногенних дій.

Здійснюють ландшафтно-геохімічні дослідження у чотири етапи: *підготовчий, польовий, лабораторний, камеральної обробки інформації*.

Підготовчий етап ландшафтно-екологічних досліджень складається з:

- планування робіт з визначенням території, масштабів, термінів, завдань і кінцевих результатів робіт;
- складання та затвердження проектно-кошторисної документації з визначенням сполучення компонентів усіх послідовних видів робіт, їх складу й обсягів;
- збору та узагальнення попередніх досліджень на території робіт; складання попередньої схеми ландшафтно-геохімічної структури території досліджень з визначенням точок або маршрутів польових спостережень.

*Польовий етап* у загальному випадку містить:

- уточнення точок спостережень;
- комплексний опис геоморфологічних, ботанічних, гідрологічних, гідрологічних, ґрунтових ознак ландшафтів, прояви антропогенних і техногенних процесів;

– відбір проб рослинності, ґрунтів, ґрунтоутворювальних порід, підземних і поверхневих вод, донних відкладень, іноді ґрунтового й атмосферного повітря, промислових стоків і твердих скидів.

Об'єкти польових спостережень - території ландшафтів і компоненти їх структури. Точки спостережень та їхні номери виносять на карту фактичного матеріалу польових ландшафтно-екологічних досліджень. Опис природних та антропогенно-техногенних ознак точок спостережень вносять до польового журналу.

Найбільш повний комплекс спостережень містить такі характеристики:

1) місцезнаходження точки спостережень: назву населеного пункту, найближчого водотоку, переважні висотні позначки, шляхові магістралі та ін.;

2) геоморфологічну характеристику: розміщення точки у рельєфі;

3) гідрогеологічну характеристику: зволоженість і рівень появи ґрунтових вод, рівень води у колодязях, динамічний тип джерел, фізичні і хімічні властивості підземних вод - температура, прозорість, запах, механічні й органічні домішки;

4) гідрологічну характеристику: форма та розмір русла, структура долини річки, глибина та ширина водної поверхні;

5) геологічну характеристику четвертинних і дочетвертинних відкладень;

6) опис рослинного покриву: тип і видовий склад рослинності;

7) опис ґрунтового розрізу, включаючи ґрунтоутворювальну породу;

8) джерела техногенного впливу на поверхню ландшафту: дороги, відвали, відстійники, будівлі, смітники та ін.

У точках спостережень здійснюють відбір проб природних вод, ґрунтів, рослинності, позначаючи їх номери у польовому журналі та на етикетці стандартного зразка. Кількість проб та інтервали опробування відповідають проектній документації, обсяг проб - виду лабораторних досліджень. Номери, вид проби та запланований метод аналітичних вимірів заносять до польового журналу, вносять на етикетку проби та до журналу опробування.

*Лабораторний етап* досліджень суттєво відрізняється залежно від цільового змісту робіт. Вимоги до лабораторних робіт пов'язані з їхньою точністю та чутливістю методів аналізу. Достовірність лабораторних аналізів визначають за матеріалами лабораторного контролю, що виконується обсягом 5% контрольних вимірювань, - контрольні проби відбирають як частину основної, надаючи їм інший номер. За основними та контрольними вимірами розраховують систематичні та випадкові похибки вимірювань.

До найбільш загальних методів геохімічних досліджень належать:

– визначення агрохімічних характеристик ґрунтів;

– зольності рослинності;

– хімічного складу проб ґрунтів, донних відкладень, золи;

– рослинності, природних вод;

– визначення форм існування елементів, включаючи передусім рухомі форми.

Методи обробки й аналізу ландшафтно-екологічних матеріалів визначають передусім відповідно до цільового завдання та завдань досліджень загалом, які можна об'єднати у три групи питань:

1. З'ясування радіальної та латеральної структури ландшафтів території досліджень.

2. Якісно-кількісне оцінювання антропогенно-техногенного стану, процесів, явищ і джерел впливу на територіях відповідних ландшафтів.

3. Прогнозне оцінювання динаміки техногенних процесів та антропогенних змін території ландшафтів.

### **Прогнозні методи**

Екологічне прогнозування здійснюється з метою оцінювання передбачуваної реакції довкілля на пряму або опосередковану дію людини, вирішення завдань майбутнього раціонального використання природних ресурсів у зв'язку з очікуваним етапом довкілля. Прогнози спрямовані на передбачення можливої поведінки природних систем, які змінюються як під впливом природних процесів, так і антропогенних чинників.

Прогнози поділяють за часом, масштабами прогнозованих явищ, і змістом (рис 3).



**Рис 3. Види прогнозів**

За часом розрізняють такі види прогнозів: надкороткочасні (до року), короткострокові (до 3-5 років), середньострокові (до 10-15 років), довгострокові (до кількох десятиліть наперед), наддовгострокові (на тисячоліття і більше). Проте, що на більший час робиться прогноз, тим він менш точний.

За масштабами прогнозованих явищ прогнози поділяються на чотири групи: глобальні (їх називають також фізико-географічними), регіональні (в межах кількох країн світу), національні (державні), локальні (край, область, адміністративний район або ще менша територія).

За змістом прогнози належать до конкретних галузей наук: геологічні, екологічні, економічні, демографічні, метеорологічні тощо.

*Методи прогнозування наслідків антропогенної дії на довкілля.* Всі методи прогнозування можна об'єднати в дві групи: *логічні і формалізовані.*

*До логічних* належать методи індукції, дедукції, експертних оцінювань, аналогії, зміст яких розкритий при характеристиці теоретичних методів дослідження.

*Формалізовані* методи поділяють на статистичні, екстраполяції, моделювання та ін.

*Статистичний* метод спирається на кількісні показники, які дають можливість зробити висновок про темпи розвитку процесу в майбутньому.

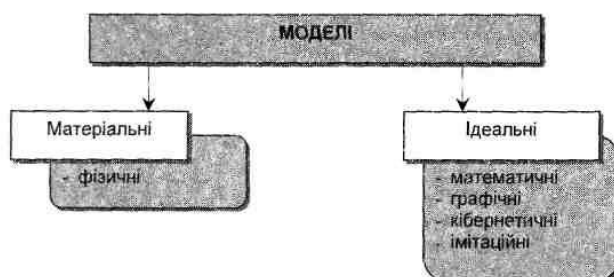
*Метод екстраполяції* - це перенесення встановленого характеру розвитку певної території або процесу на майбутній час. Так, якщо відомо, що у створенні водосховища за неглибокого розташування ґрунтових вод на ділянці почалося підтоплення і заболочування, то можна припустити, що надалі ці процеси триватимуть і призведуть зрештою до утворення тут болота.

*Моделювання* - метод дослідження складних об'єктів, явищ і процесів через їх спрощене імітування (натурне, математичне, логічне). Ґрунтується на теорії подібності (схожості) з об'єктом-аналогом.

*У свою чергу моделі поділяють на матеріальні (наочні) та ідеальні (уявні), які зображені на рис 4.*

З матеріальних моделей у природокористуванні найпоширеніші фізичні моделі. Наприклад, за створення великих проектів, таких як будівництво ГЕС, пов'язаних зі змінами довкілля, спочатку будують зменшені моделі пристроїв і споруд, на яких досліджують процеси, що відбуваються за наперед запрограмованими діями.

Нині найбільшого значення набувають ідеальні моделі: математичні, кібернетичні, імітаційні, графічні.



**Рис 4. Види моделей**

Моделі *математичні* - за допомогою математичних символів дозволяють будувати спрощену абстрактну систему, яка подібна до системи, що вивчається. На наступному етапі досліджень, змінюючи значення окремих параметрів, досліджують, як зміниться штучна система, тобто її кінцевий результат. Математичні моделі, які створюються із застосуванням комп'ютерної техніки, називаються *кібернетичними*, а у випадках, коли ЕОМ беруть участь у самому процесі побудови моделі і проведенні модельних експериментів, отримали назву *імітаційних*.

За розміром території всі моделі можуть бути: *локальними, регіональними і глобальними*.

Прогнози екологічного стану ландшафтів можна поділити на *якісні, кількісно-якісні та кількісні*.

Якісні прогнози здійснюють найчастіше у формі графічної моделі на підставі якісних та якісно-кількісних оцінювань властивостей ландшафтів Ці оцінки є непрямими причинами процесу прогнозу.

Якісний прогноз відносно оцінює ділянки території, ранжуючи їх за інтенсивністю та характером прояву явища (або процесу) антропогенного та техногенного походження. Якісно-кількісні включають систему обґрунтованих кількісних параметрів характеристик ландшафту, здатних впливати на виявлення у часі елемента прогнозу.

Кількісно-якісний прогноз виконують у формі карт і таблиць з відповідними поясненнями щодо розвитку елемента прогнозу. Базується на прямих кількісних ознаках територій, що зумовлюють диференціацію у просторі (інколи - у часі) територій ландшафтів.

Кількісне прогнозування виконують у вигляді статистичних моделей за емпіричними або емпірично-теоретичними даними. Це математичні моделі динаміки розвитку антропогенних і техногенних процесів. Розрахунки кількісних ознак прогнозованого елемента виконують на різні інтервали часу. Зазвичай за фактичним матеріалом цих прогнозів вибирають матеріали моніторингових спостережень, що містять однорідні ознаки об'єкта, прив'язаного до часу.

## **2. Дистанційні методи дослідження навколишнього середовища.**

Дистанційні методи - це комплекс апаратних та методичних розробок, що дозволяють отримувати й інтерпретувати фото-, кіно- та телевізійні зображення, спектральні картини природних і штучних утворень, які доставляють або передають з аерокосмічних засобів спостереження.

Розробка та використання дистанційних методів вивчення природного середовища, слідкування за станом довкілля і його змінами розглядаються нині як самостійний і перспективний напрям, що у сукупності є дистанційним моніторингом. Головними, практично значимими перевагами дистанційних методів моніторингу є інтеграція:

- *горизонтальна* - отримання на одному зображенні великих ділянок поверхні Землі;
- *вертикальна* - отримання на одному зображенні різних компонентів ландшафту: літосфери, гідросфери, біосфери, антропосфери та атмосфери;
- *динамічна* - отримання однією обліковою системою послідовних зображень тієї самої території через певні проміжки часу.

Зображення, що отримують методами дистанційного моніторингу, відповідно до рівня їх просторової інтеграції поділяють на:

- *глобальні* - знімки та спектру всієї (або майже всієї) освітленої частини поверхні Землі;
- *регіональні*, що охоплюють значні площі географічних районів і країн;
- *локальні*, які дають уявлення про віддалені райони і ландшафти.

Використання системи дистанційних досліджень і відповідної техніки дозволяє: виявляти сторонні речовини у навколишньому середовищі; ідентифікувати специфічні забруднювачі та класифікувати їх; спостерігати за вирівнюванням концентрацій забруднень через певні проміжки часу; контролювати джерела, рух та долю забруднень; виявляти вплив забруднень на навколишнє середовище; оцінювати якісний стан довкілля, його чутливість до факторів негативного впливу та отримувати відомості для планування і моделювання стану



довкілля; вивчати та освоювати природні ресурси (геологічні, рослинні, ґрунтові, водні, промислові); визначати дрейф морських криг; виявляти та прогнозувати зміни у регіональній системі міських зон тощо.

Робота приладів для дистанційних досліджень ґрунтується на вибірковому поглинанні та відбиванні радіації природними утвореннями і біологічними об'єктами в інфрачервоному, видимому та ультрафіолетовому діапазонах спектра сонячного випромінювання або штучних джерел оптичного та радіодіапазонів. Ці прилади конструктивно об'єднують у лазерні та радарні системи сканування і встановлюють на літальних апаратах та супутниках. Найзручнішою для дистанційних вимірювань частиною спектра є середня інфрачервона, де більшість забруднень має свої специфічні спектри поглинання. Спостереження можуть здійснюватися як вдень, так і вночі. Особливо незамінними дистанційні дослідження є у важкодоступних районах - непрохідних тропічних лісах, Арктиці тощо.

#### **Дистанційні методи вивчення забруднення атмосфери.**

Основною перевагою дистанційних вимірювань є можливість безперервного визначення середніх концентрацій шкідливих речовин на площі, а також оцінювання вертикального розподілу домішок, які характеризують потенціал забруднення. Одночасно дистанційні методи забезпечують встановлення напрямку руху забруднювальних речовин в атмосфері.

Спостереження переносу газоподібних забруднювань можуть бути організовані як на мережі станцій впродовж кордонів держав, так і за допомогою пересувних установок, що розміщуються на автомобілях і літаках.

Виміри концентрацій газоподібних забруднень здійснюють за допомогою спектрометрії прямого і розсіяного атмосферного сонячного або місячного випромінювання, а також резонансними методами.

Найбільш перспективними методами дослідження дальнього переносу газоподібних забруднень слід вважати активний адсорбційний метод з розміщенням на літакові лазерного джерела випромінювання і оптичного гетеродина, який тримає відбите земною поверхнею лазерне випромінювання.

На підставі таких вимірювань (цілодобових) виготовляють карти горизонтального розподілу забруднень і висотні профілі молекулярних компонентів атмосфери.

Найбільш систематизовано організовані спостереження вмісту озону в атмосфері. Світова мережа налічує 100 станцій. У країнах СНД функціонує 45 озонметричних станцій, 3 з яких - в Україні.

Дослідження димового забруднення атмосфери здійснюють за допомогою космічних знімальних. Найбільшу яскравість димові забруднення мають в частині спектру 0,4-0,5 мкм.

Світлі язички димових струменів від пожеж особливо чітко виявляються на локальних фотографіях, а також на знімках з супутника природних ресурсів ЛАНДСАТ-1 і ЛАНДСАТ-2.

За допомогою метеорологічних супутників Землі ведуться цілодобові спостереження за вулканічними виверженнями.

Пилове забруднення атмосфери вивчають з використанням космічних зображень. Космічне знімання дає можливість визначити розміри пилових бур, встановити склад пилу, дослідити шляхи переміщення пилу і встановити райони «розвантаження».

Під час спостережень стану атмосферного повітря в містах здійснюють:

– контроль викидів, що дає можливість виявляти, ідентифікувати та визначити потужності джерел викиду;

– контроль рівня забруднень.

Вимірювання проводять за допомогою пасивних та активних засобів виміру.

Пасивні прилади - це мас-спектрометри та фільтрові радіометри на  $SO_2$  і  $NO_2$ .

До активних засобів виміру відносять: лідари диференційного поглинання - розсіювання (ДПР); комбінаційного розсіювання і флюоресценції. Ці прилади здатні проводити контроль викидів у будь-який час доби в широкому діапазоні метеоумов. Контроль викидів здійснюють за допомогою пересувних постів на базі автомобілів, літаків або із зручних точок.

Найефективнішими методами слід вважати лідари диференційного поглинання - розсіювання, які забезпечують визначення у викидах: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, CL<sub>2</sub>, Hg, бензол, формальдегід з радіусом дії від 0,5 до 6км.

За безпосереднього контролю забруднення атмосферного повітря в автоматичному режимі використовують газоаналізатори різних типів на SO<sub>2</sub>, ND<sub>2</sub>, NO, CO, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, HF, H<sub>2</sub>S, HCl, суму вуглеводнів.

#### **Дистанційне вивчення водного середовища.**

Отримані з космосу фотографії та телевізійні зображення широко використовуються під час вивчення забруднення Світового океану, структури і напрямків морських течій, первинної продуктивності морів, стану поверхневих вод.

В ідентифікації процесів забруднення моря можуть бути використані матеріали аерокосмічних знімачів у видимому та 14-діапазонах, отриманих за допомогою багатоканальних пристроїв сканування (МСУ-С, МСУ-Е, НВЧ-радіометрами, а також апаратуру КАТЕ-140, МЕФ-6).

Дистанційні методи виявлення забруднень водних басейнів поллютантами ґрунтуються на виявленні фітопланктону, наявність якого тісно пов'язана з рівнем забруднення поверхневих вод. У свою чергу оптичні характеристики фітопланктону тісно пов'язані з оптичними характеристиками хлорофілу, який впливає на інтенсивність розсіяного водою світла.

Дистанційні методи виявлення нафтових забруднень вод морів, акваторій ґрунтується на відмінності оптичних, теплових властивостей води, забрудненої нафтопродуктами, і чистої води. Дистанційні засоби виявлення нафтових забруднень поділяють на *пасивні і активні*. Пасивні методи ґрунтуються на реєстрації теплового випромінювання (ГЧ та НВЧ) і природного у-випромінювання. В разі використання активних засобів досліджувана поверхня води опромінюється джерелами випромінювання визначеного спектрального складу з наступною реєстрацією відбитого випромінювання або флюоресценції. Використовують УФ, видиме, ГЧ та НВЧ випромінювання.

Радіолокаційні методи дозволяють картографувати площі нафтового забруднення, а також визначати тип нафти. Використання радіолокаційної техніки істотно розширює можливості авіаційних методів моніторингу морської економічної зони як за рахунок значно більшої ширини смуги огляду засобами телевізійного знімання, так і за рахунок можливості вести знімання.

#### **Дистанційні методи дослідження суші.**

Останнім часом все більшого поширення набувають сучасні методи дистанційного дослідження ділянок суші земної поверхні із застосуванням супутників, лазерної і радарної техніки. Існує різноманітна апаратура для радарного аерознімання (РАЗ), яка дає оперативну та детальну інформацію. РАЗ є потужним узагальнюючим засобом вивчення ландшафтних особливостей. Всепогодність методу дає можливість здійснювати знімання у критичний фенологічний період, коли відмінності рослинних асоціацій виражені найбільш чітко.

Одним з найбільш поширених дистанційних методів вивчення вмісту вологи в ґрунтах є *метод НВЧ-радіометрії*. Цей метод дозволяє визначати: ступінь зволоження, запаси вологи, якість поливу посівів, мінералізацію водоймищ, фільтрацію води з магістральних каналів, ділянки суші з високими рівнями ґрунтових вод.

Визначення дистанційними методами вмісту гумусу в ґрунтах ґрунтується на визначенні у видимій і ближній 14 областях спектра (0,4-1,2 мкм) коефіцієнту яскравості, який корелює і зменшується зі збільшенням вмісту гумусу в горизонті А.

У зв'язку з інтенсивним освоєнням земель велике значення має складання карт, на яких відображають ерозійні процеси (вітрової і водної ерозії).

Методи дистанційної індикації засолених ґрунтів використовують оптичний і радіотепловий діапазон. Встановлено, що солі відрізняються найвищим з ґрунтових утворень значенням яскравості.

За допомогою матеріалів, отриманих радарними чи лазерними скануючими системами, встановленими на літальних апаратах, можна визначити висоту дерев, кількість рослин, виміряти потік енергії, що входить в екосистему та виходить з неї (співвідношення

поглинутої та відбитої радіації), отримати дані, які дозволяють передбачити поширення і статистичні параметри рослинності в зонах, де немає наземного контролю. Особливо перспективними є лазерні дослідження, за допомогою яких можна здійснити облік пасовищ або ділянок, що обробляються, локалізувати та виміряти осередки поширення фітопатогенних факторів, виявити лісові пожежі тощо.

За допомогою аерофотознімання та дешифрування отриманих знімків можна визначити зімкнутість та щільність лісу, провести лісопатологічні дослідження. Сухостій у насадженнях здебільшого випадків надійно виділяється за допомогою спектрзональних аерознімків. Деревостани та окремі дерева, пошкоджені пожежею, ентомо- та фітошкідниками, за характером зображення помітно відрізняються на аерознімках від здорових дерев. Аерофотознімання, що проводиться після пожежі у важкодоступній місцевості, дає можливість визначити вид пожежі і ступінь пошкодження насаджень, а також намітити різні лісогосподарські заходи.

Основними напрямками розвитку аерокосмічного моніторингу екосистем є використання реєстрацій відбивання світла і власного випромінювання Землі в різних спектральних інтервалах: візуальні спостереження (0,40-0,64 мкм), фотографування (0,40-0,92 мкм), спектрофототитрування (0,4-2,5 мкм), телевізійне знімання (0,45-0,75 мкм), теплове ІЧ знімання (2,6-5,5 і 8,0-14,0 мкм), багатоспектральне знімання (0,32-12,5 мкм), мікрохвильове знімання (> 0,3 см), а також активні методи локації.

Під час досліджень водно-болотних угідь добре зарекомендував себе *метод радіолокаційного знімання*. Великі перспективи для вивчення болотних масивів відкриває багатозональне знімання.

Дистанційні дослідження знаходять застосування і в сільському господарстві. Різноманітні форми впливу людини на природні ландшафти, як правило, добре розпізнаються на аерознімках. На середньомасштабних аерознімках (1:25000) розрізняють основні типи культур і дуже окультурені ландшафти, на крупномасштабних (1:10000) - всі типи окультурених ландшафтів. Під час сільськогосподарського дешифрування знімків велике значення має розпізнавання культурної рослинності, вторинної рослинності цілини та культуро-технічного становища пасовищ і сіножатей.

### **3. Методи біоіндикації.**

У сучасних екологічних дослідженнях широко використовують методи біоіндикації.

*Біоіндикація* (лат *indicare* - вказувати, виявляти) — метод оцінювання абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем.

Організми або їх угруповання, життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища і можуть використовуватися для їх оцінювання, називають біоіндикаторами. Біоіндикаторами можуть бути рослини, тварини, мікроорганізми, гриби.

Прикладним напрямом, який забезпечує оцінювання факторів середовища за біологічною складовою, насамперед рослинністю, є фітоіндикація - визначення умов середовища за характером і станом рослинності.

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

Процес фітоіндикації складається з таких операцій:

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

Усю систему методів фітоіндикації поділяють на три типи: **аутофітоіндикацію, синфітоіндикацію та синфітоценоіндикацію.**

*Аутофітоіндикація* заснована на тому, що:

– кожен вид рослин має оптимальні умови та межі толерантності середовища існування;

– існує ймовірність відповідності певної екологічної ніші з конкретним комплексом екологічних факторів;

– присутність особин певного виду інформує про екологію їх місця існування.

На *аутофитоіндикаційному рівні* можна розраховувати інтервали або середні значення, встановлювати ареали, оцінювати поведінку та динаміку популяцій видів, проводити класифікацію видів стосовно змін екологічних факторів.

На *ценотичному рівні (сифитоіндикація)* розраховують показники екологічних факторів, амплітуди їх змін для певних синекологічних таксонів, оцінюють ступінь просунутості угруповань від піонерної до клімаксової стадії, ординацію угруповань відносно змін екологічних факторів.

На *ландшафтно-регіональному (сифитоцен віндикація)* рівні досліджують екологічну характеристику ландшафту або регіону, визначають градієнт і оцінюють співвідношення між показниками кожного з факторів, складають екологічні карти регіонів.

Ефективність методів фітоіндикації значно варіює. Найявні як *абсолютні індикатори* (види рослин, біологія яких гарантує їм заселення тільки тієї ніші, яка пов'язана з індикатором), так і досить *слабкі* (індиферентні види).

Основою для оцінювання екологічних факторів є банк даних екологічної, фітоценотичної та флористичної інформації, який включає такі блоки:

- таксономічні, біоморфологічні, ценотичні та екологічні характеристики видів;
- описи геоботанічних угруповань;
- характеристика екологічних факторів;
- фізична та хімічна характеристика ґрунтів та води.

Створення такої бази є основою для вирішення комплексу питань, а саме: за якими ознаками і на якому рівні формується інформація щодо результатів моніторингу.

Індикаторними ознаками, які вказують на певні умови навколишнього середовища, можуть бути різноманітні ознаки рослинних угруповань (флористичний склад, наявність або відсутність видів-індикаторів, екологічних груп, їх чисельність) та окремих рослин (зовнішній вигляд, морфологічні й анатомічні особливості, форма росту, галуження, незвичне забарвлення або форма листків, квіток, хімічний склад, інтенсивність окремих фізіологічних процесів тощо). У разі фітоіндикації слід розрізняти такі поняття:

- рослинність (сукупність рослинних угруповань);
- рослинне угруповання (поєднання автоморфних макроскопічних видів рослин);
- мікроугруповання (найменші просторово-гомогенні угруповання у межах фітоценозу);
- фітоценоз (сукупність видів рослин, які зростають на однорідній території);
- синузю (частина фітоценозу, яка відокремлена просторово).

За Б.В. Виноградовим, усі індикаторні ознаки поділяються на чотири групи:

- флористичні ознаки (відмінності у флористичному складі досліджуваних ділянок);
- фізіологічні ознаки (характеристики хімічного складу та процесів обміну речовин);
- морфологічні ознаки (аналіз внутрішньої та зовнішньої структури окремих рослин);
- фітоценотичні ознаки (особливості структури рослинного покриву).

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

Рослинні індикатори виявляють за допомогою наступних методів: флорогенетичного, еколого-фізіологічного, експериментального вегетаційного, польового бонітування, польового геоботанічного, порівняльно-географічного, картографічного, аерознімачів.

Слід зазначити, що індикатори поділяються на: *постійні, змінні, позитивні, негативні, прями, опосередковані*.

Для того щоб визначити наскільки характерний і розповсюджений індикатор для тієї або іншої категорії об'єктів, розраховують частоту індикатора на об'єкті індикації (% кількості знаходження індикатора на об'єкті індикації від загальної кількості площадок на всій території об'єктів дослідження).

Залежно від того, як часто зустрічаються, індикатори розрізняють: . фонові (80...100%); . рясні (60...80%); спорадичні (40...60%); . рідкісні (20...40%); поодинокі (5...20%).

Метод фітоіндикації екологічних факторів застосовують для оцінювання стійкості екосистем. Для цього вивчають якнайменше дві системи, щоб говорити про те, що одна з них стійкіша за іншу.

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

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.

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

Окреслити коло зовнішніх екологічних факторів, що визначають диференціацію екосистем, зумовлюють їх зміну, досить складно, бо факторів, які діють на екосистему, безліч і кожен із них, своєю чергою, може бути розчленований на складові. Проте найголовнішими є п'ять основних безпосередньо діючих факторів: *температура, вологість, світло, механічний та хімічний склад ґрунту*.

Важливим компонентом едафічних факторів є також *трофність*, або родючість ґрунту, яка характеризується запасом доступних для рослин форм поживних речовин і залежить не тільки від їхнього хімічного складу, а й від фізичних властивостей ґрунту (вологості, механічного складу).

#### **Індикація кліматичних факторів.**

*Клімат - з/е сукупність усіх зовнішніх впливів на земну поверхню -радіаційних, гідротермічних, механічних, а саме: режиму сонячної радіації, земного випромінювання, температури повітря та ґрунту, зволоження, вітру тощо.*

Особливості кліматичного режиму зумовлені: географічною широтою, висотою над рівнем моря, циркуляцією атмосфери, характером земної поверхні. На формування кліматичних умов впливають фізичні процеси (радіаційні, циркуляційні, вологообіг) та географічні фактори (підстильна поверхня, широта, орографія). Основним джерелом даних про клімат є метеорологічні станції

Розрізняють три кліматичні сфери, розташовані одна над одною:

- макроклімат, або клімат вільної атмосфери (на висоті понад 2 м);
- власне клімат, або місцевий клімат (на висоті 2 м), який визначають метеостанції;
- мікроклімат, або клімат приґрунтового шару (на висоті до 2 м).

Мікрокліматичні показники на основі фітоіндикації поділяють на такі режими:

- радіаційний баланс (терморезим) - це різниця між радіацією, поглинутою земною поверхнею, і ефективним випромінюванням;

- континентальність (контрасторезим) - сукупність властивостей клімату, зумовлених впливом великих площин суші або води на атмосферні та кліматоутворюючі процеси.

Одним з найважливіших екологічних факторів є вологість повітря. До показників вологості належать: кількість опадів, поверхневий та ґрунтовий стік, випаровування і транспірація, вологість ґрунту, рівень фунтових вод, абсолютна та відносна вологість повітря, дефіцит вологості повітря. Між названими показниками вологості існує тісний взаємозв'язок.

Залежно від ступеня і специфічного характеру холодостійкості виділяють:

- нехолодостійкі рослини, які пошкоджуються за температури 0° С. Це - водорості теплих морів, деякі гриби та рослини тропічних лісів;

- неморозостійкі рослини. Пошкоджуються під час утворення льоду в клітинах. У них підвищена концентрація осмотично-активних сполук у клітинному соку та протоплазмі, що

перешкоджає утворенню льоду навіть за температури до  $-7^{\circ}\text{C}$ . До них належать глибинні водорості та більшість однорічних рослин;

– льодостійкі рослини. Залишаються живими навіть після утворення льоду в міжклітинниках. Це - більшість багаторічних наземних рослин, прісноводні водорості та мохи.

#### **Ландшафтна індикація.**

*Ландшафт* - це однорідна за походженням та умовами розвитку, неподільна за зональними ознаками територіально цілісна ділянка земної поверхні, якісно відмінна від інших внутрішньо взаємопов'язаною сукупністю природних компонентів (рельєф, клімат, ґрунти, рослинний і тваринний світ тощо).

Ландшафтна одиниця виступає як багатоярусна система, що складається з трьох ярусів.

*Перший ярус* - геологічний (найглибший) є геологічною основою ландшафту (сукупність материнських та ґрунтоутворювальних порід).

*Другий ярус* — підґрунтя (кірка та нижні шари Ґрунту).

*Третій ярус* - ектоярус, поверхневі форми рельєфу, яруси рослинності та поверхня ґрунту. Саме він становить зовнішній вигляд ландшафту і є доступним для спостереження. Ектоярус виконує функцію індикатора під час вивчення ґрунтів, гірських порід, підземних вод, клімату, рідкісних і корисних копалин.

Ландшафтний індикатор повинен мати дві обов'язкові якості - *достовірність* і *помітність*. Одним із розповсюджених способів пошуку індикаторів є метод ключових ділянок.

*Ключова ділянка* - це ділянка, яка характеризує типове, що постійно повторюється у певному районі, поєднання кількох рослинних угруповань спільно з типовими умвами рельєфу, Ґрунту та іншими компонентами фізико-географічного середовища.

На кожній такій ділянці проводиться комплекс досліджень: аналізуються проби ґрунтів, гірських порід, ґрунтових вод тощо.

Для визначення достовірності індикаторів досліджують значну кількість ключових ділянок. Загальну кількість їх приймають за 100% і розраховують кількість ділянок, де певний індикатор зустрічається разом з індикатором.

Достовірність індикаторів оцінюють кількісно: 100% - абсолютний індикатор; 90% - достовірний; 75% - задовільний; менше 60% - недостовірний індикатор, тому індикація в цьому разі неможлива.

Для первинного виявлення індикатора потрібно мати описи 25...50 ділянок, де він був присутній. Ландшафтна індикація підвищує точність результатів ґрунтових, геологічних і гідроекологічних досліджень. Вона полегшує проведення різних досліджень на важкодоступних територіях, таких, як пустелі, болота тощо, допомагає визначати межі природних зон. Її використовують під час систематичних спостережень за станом довкілля.

Ландшафтну індикацію поділяють на:

- індикацію, ґрунтів (педоіндикацію);
- індикацію гірських порід (літоіндикацію);
- індикацію глибини залягання та ступеня мінералізації ґрунтових вод (гідроіндикацію);
- індикацію багаторічних мерзлих товщ (геокріологічна індикація);
- індикацію корисних копалин;
- індикацію засолення (галоіндикацію).

В останні роки виокремились також індикації різноманітних процесів - карстових, ерозійних, вивітрювання, заболочування, що зумовлені природною еволюцією ландшафтів або діяльністю людини.

#### **Індикація ґрунтів.**

Існує багато рослин, за показниками яких можна безпомилково визначити водний, механічний, хімічний, сольовий та інші показники ґрунтів. Наприклад, класифікація певних груп рослин-індикаторів стосовно ґрунтового зволоження така:

- *фреатофіти* - рослини, пов'язані з водоносними горизонтами, у яких добре розвинена коренева система (досягає глибини до 5...30 м). Наприклад, середньоазійські види тамариски мають кореневу систему, що проникає на глибину до 7 м, а чорний саксаул - 25 м;
- *омброфіти* - рослини, що існують за рахунок атмосферних опадів. Вони мають дуже розгалужену систему поверхневих коренів, здатних швидко всмоктувати вологу під час опадів;
- *трихогідрофіти* - життя цих рослин забезпечує капілярна волога фунтових вод. Вони часто поєднують риси фреатофітів та омброфітів і мають кореневі системи універсального типу.

Щодо механічного складу ґрунтів і материнських порід рослини поділяють на:

- псамофіти — ростуть на пісках (миколайчики приморські, чина приморська);
- пелітофіти - ростуть на глинистих ґрунтах (поліни, каперси ч колючі); алевритофіти - поширені на суглинистих або супісчаних ґрунтах (чебрець, осока піщана);
- хасмофіти - на кам'янистих ґрунтах (тамариск, лаванда);
- петрофіти або літофіти - зустрічаються на скелях (едельвейс).

За відношенням до засолення ґрунту досить умовно виділяють дві великі групи рослин-індикаторів:

- *галофіти* - мешканці засоленних ґрунтів (за перевагою аніонів розрізняють галофіти хлоридного типу, або власне галофіти, та сульфатно-кальцієвого типу, або гіпсофіти);
- *глікофіти* - рослини, що мешкають на ґрунтах, які не містять зайвої кількості солей.

За пристосуванням до надлишкового вмісту солей рослини поділяють на:

– *еугачофіти*, або власне *галофіти*, які у великих кількостях накопичують солі в тканинах рослини і мають соковиті та м'ясисті стебла;

– *криногілофіти* - рослини, які здатні виділяти надлишок солей у вигляді краплин розсолу крізь особливі залози (іноді їх називають фільтруючими галофітами) і мають характерний сольовий наліт;

– *глікогалофіти* - рослини, що мають кореневий бар'єр, тобто систему анатомічних і фізіологічних пристосувань, які захищають рослину від зайвого надходження солей до їх тканин. За відношенням до умов зволоження ґрунтів у фітоіндикації виділяють рослини:

– *ксерофіти* – види посушливих місцезростань, для них характерні вузьколистість, опушення листків, жорсткі стебла та видозміни листків (колючки);

– *мезофіти* — рослини помірно зволених районів;

– *гігрофіти* - рослини-індикатори надлишкового зволоження;

– *гідрофіти* — рослини мілководь і прибережних смуг водойм, що мають темно-зелене листя та товсті соковиті стебла. За однією з основних характеристик ґрунтів (їх кислотністю) рослини поділяють на дві великі групи:

– *ацидофілії* – рослини кислих ґрунтів (вереск, пушиця, білоус тощо);

– *базифілії*, або *ацидофоби* - рослини лужних ґрунтів (бузина, крушина, бересклет тощо).

### **Гідроіндикація.**

Різні елементи гідросфери тісно пов'язані з рослинним покривом. У зв'язку з цим рослинні індикатори можуть використовуватися під час вивчення вод морів, океанів, поверхневих вод суші, снігового покриву, підземних вод і ґрунтової мерзлоти.

Склад і розподіл рослинності бентосу і планктону морів є показником освітленості, температури, хімічного складу, збагаченості органічною речовиною, переміщення водних мас, льодового режиму та ін.

Рослинність здатна відбивати зміни освітленості зі збільшенням глибини. Наприклад, у Чорному морі на поверхні субліторалі (глибина до 3...5 м), де освітленість досягає 100 000 лк, переважають світлолюбні види (поліфіти): із вищих водних рослин - *Zostera*, зелені водорості *Ulva*, *Cladophora*, *Enteromorpha* поряд із бурими - *Padina* та червоними - *Polisiphonia*.

Середню сублітораль (глибина 3...5; 10... 15 м залежно від прозорості води) з освітленням до 40 000 лк займають помірно-світлолюбні водорості (мезофіти), переважно бурі *Cystoseira* та червоні *Ceramium*.

Нижня сублітораль і елітораль (10...15; 50..60 м), де освітлення зменшується до сотень люкс, розповсюджені лише тіньовитривалі (умброфільні) червоні водорості.

Одночасно водорості можуть бути використані як показник певних температурних властивостей води.

Наприклад, кріофільна водорість *Phaeocystis pouchetii*, яка може жити лише при температурі від 1 до 11,6° С, є індикаційним показником холодних полярних вод. До холодостійких (кріофільних) видів також належать *Fucus*, *Bangia* та *Enteromorpha*. Існують також виключно теплолюбні (термофільні) види - *Trichodesmium*, *Syraco*, які існують лише за температури, вищої 20° С.

У результаті різної чутливості водоростей до солоності води, їх розподіл може характеризувати зміни вод різного ступеня мінералізації. Так, водорість *Halosphaera viri* живе у воді за солоності понад 30‰.

Рослинність використовують також як індикатор хімічних властивостей води, для чого визначають кількісний вміст органічної речовини або засолення легкорозчинними солями.

За кількісним вмістом органічної речовини води природних водойм поділяють на:

– *евтрофні* - насичені гуміновими сполуками і мінеральними речовинами. У таких водоймах найрізноманітніша прибережна, плаваюча на поверхні та занурена рослинність;

– *оліготрофні* - найчистіші, бідні на органічну речовину води. Рослинність таких водойм дуже специфічна, найтиповішими представниками є *Lobelia* та *Litorella*.

– *дистрофні* — насичені гуміновими сполуками, кислі, бідні на мінеральні речовини. Це, як правило, заболочені, торф'янисті території лісів. Типовими представниками цих територій є *Sagex*, *Equisetum* і *Potamogeton*. Рослини індикують також ґрунтові води. За характером взаємозв'язку з ґрунтовими водами виділяють:

– *постійні гідроіндикатори* - рослини, пов'язані з наявністю ґрунтових вод: гігрофіти індикують наявність близьких ґрунтових вод, а фреатофіти мають розвинену кореневу систему і використовують воду глибинних горизонтів. Постійні гідроіндикатори поділяють на глікофільні, які ростуть на ґрунтах з промивним водним режимом, та галофільні, що ростуть на ґрунтах з випаровувальним режимом;

– *перемінні гідроіндикатори* - рослини територій з непостійним ґрунтовим зволоженням. Це може бути міжпластове зволоження, капілярна кайма, конденсація атмосферної та ґрунтової вологи, внутрішньоґрунтове випаровування або глибинні лінзи;

– *негативні гідроіндикатори* - рослини, які використовують дуже малі запаси гігроскопічної вологи і потребують достатньої аерації ґрунту. За наявності близьких ґрунтових вод ці рослини відсутні;

– *індиферентні види* - це ті, що мають широку екологічну амплітуду відносно вологи.

Гідрогеологічні умови можна оцінювати за фізіологічними індикаторними ознаками, до яких належать:

– показники водного режиму, такі, наприклад, як інтенсивність транспірації, що має високі значення у мезофітів, фреатофітів і гігрофітів та низькі у галофітів і ксерофітів;

– пігментація, або забарвлення, рослин. Наприклад, сукуленти при наявності близьких ґрунтових вод мають інтенсивне темно-зелене забарвлення, а за глибини понад 1...1,5 м - жовто-червоне;

– вміст солей у вегетативних органах. З'ясовано, що фреатофіти мають більш виражену кореляцію між вмістом солей в рослині та мінералізацією ґрунтових вод. Наприклад, у сарзана вміст солей у тканинах підвищується від 35 до 45% сухої ваги зі збільшенням мінералізації ґрунтових вод від 7 до 85 г/дм<sup>3</sup>. Ксерофіти мають незначну залежність між збільшенням солевмісту рослин і мінералізацією води більше, ніж 8...10 г/дм<sup>3</sup>. Ймовірно, що ці рослини мають кореляцію між вмістом і мінералізацією вод тільки за невеликих її значень (до 10 г/дм<sup>3</sup>);



– анатомо-морфологічні ознаки - це розміри рослин, пагонів, форми росту, характер розгалуження, зміни анажшчної будови тканин тощо.

Наявність і розподіл водоростей – це надійний показник забруднення й санітарного стану вод у морях, ріках та озерах. Деякі види водоростей зникають у ході наближення до джерел забруднення, а інші (наприклад, *ulva lactica*) поширюються за підвищеного забруднення вод. У місцях витоку стічних вод залишається лише бідна флора полісапробіонтних водоростей, що витримують велику концентрацію органічних речовин у воді й тому є індикаторами дуже забруднених вод.

Водорості бентосу є ще точніші індикатори санітарного стану морських вод. У бухтах Чорного моря в чистих водах живуть десятки видів діатомей, що зникають у міру забруднення води. У разі слабого забруднення з'являються полісапробіонтні діатомей (мелозіри та ін.) На максимальне забруднення води вказує масовий розвиток *Melosira monilifoennis*.

Виявити присутність небезпечної забруднюючої речовини у водоймищі можна за допомогою проявів її токсичного ефекту на рибах.

Установлено, що найбільша чутливість до дефіциту кисню збігається з чутливістю до органічного забруднення. Щодо стійкості до органічних забруднень і дефіциту кисню розрізняють індикаторні групи організмів: **полісапроби** – організми, що витримують сильний ступінь дефіциту кисню (личинки комара *Chaoborus*, мухи-бджоловидки *Fristalis tenax*); **мезосапроби** – витримують лише середній ступінь забруднення (інфузорія парамеція, карась, короп, лин); **олігосапроби** – здатні витримати лише слабкий ступінь забруднення, вимогливі до кисню (форель, багато личинок мошок). Потреба в кисні в різних видів риб неоднакова: у форелі – висока, яка становить 7–11 см<sup>3</sup> /л; у піскаря, коблика – середня (5–7 см<sup>3</sup> /л); у плотви, йоржа – низька (4 см<sup>3</sup> /л); у коропа, лина – наднизька (0,5 см<sup>3</sup> /л).

**Гідробіологічні показники якості води** – кількісні та якісні характеристики груп водного населення, що використовуються для оцінки еколого-санітарного стану водних екосистем.

Якість води визначають, оцінюючи реакцію гідробіонтів на забруднення. Індикатори-гідробіонти – це зообентос, перифітон, зоопланктон і фітопланктон.

**Зообентос** – сукупність донних тварин, що живуть на дні або в ґрунті морських і прісних водоймищ. Стан зообентосу характеризує зміни водного середовища протягом тривалого часу. Вивчення зообентосу, відібраного в різних місцях водоймища, дає змогу одержати інтегральні оцінки якості води та ступеня забруднення донних відкладів.

**Перифітон** – поселення водних рослин і тварин на підводних скелях, камінні, річкових суднах, палях та інших об'єктах. Дослідження перифітону застосовують для оцінювання усередненої якості води водного об'єкта протягом довготривалого періоду часу, а також встановлення фактів забруднення водного об'єкта (за рахунок накопичення токсикантів) у тому разі, якщо в момент спостереження вода вже повністю самоочистилася.

**Зоопланктон** – сукупність тварин, що населяють водну товщу та пасивно переносяться течіями. Зоопланктон – досить надійний індикатор якості води в малопроточних річках, озерах, водосховищах та ставках. Його досліджують для отримання характеристик якості води в пунктах спостереження за порівняно короткий період часу.

**Фітопланктон** – сукупність рослинних організмів, які населяють товщу води морських та прісних водоймищ і пасивно переносяться течіями. Фітопланктон характеризує якість водних мас, де проходив його розвиток, тому на водотоках забирають проби фітопланктону, які використовують для одержання інформації про рівень забруднення на ділянках, розміщених за течією вище від пунктів спостережень.

Однак можливості фітоіндикації значно обмежуються у результаті змін рослинного покриву під дією антропогенних чинників. За таких умов спостерігається пригнічення індикаторних видів навіть в оптимальних умовах їх росту та розвитку. У зв'язку з чим фітоіндикаційні польові спостереження необхідно доповнювати додатковими експериментальними дослідженнями.

Використання рослин у моніторингових дослідженнях можливе у двох випадках: якщо вони накопичують у своїх тканинах забруднювальні речовини в значно вищих

концентраціях порівняно із середовищем або, якщо їх чутливість до впливу забруднювальних речовин значно вища, ніж усіх інших рослин.

*Рослина-монітор* - це рослина, у якої ознаки пошкодження з'являються під час дії на неї фітотоксичної концентрації однієї забруднювальної речовини або їх суміші.

Переваги рослин-моніторів перед приладами в тому, що вони дешеві, легко відтворюються, а також мають типову відповідну реакцію на вплив забруднювального фактора.

Для кількісного оцінювання забруднення за допомогою рослин-моніторів необхідно провести попереднє визначення певних залежностей між реакцією рослини на забруднення і концентрацією цієї речовини в довкіллі. Для цього необхідно:

– порівняти ступінь пошкодження рослини з відомою концентрацією забруднювальної речовини в середовищі існування рослини;

– використати рослину як живий колектор з подальшим визначенням кількості токсиканту. Наприклад, мох *Hypnum cupressiforme* здатний поглинати цинк, свинець, кадмій, нікель, мідь і марганець та накопичувати їх у своїх тканинах у десятки разів більше, ніж у навколишньому середовищі;

– визначити кількість токсиканту (або метаболіту, що з'являється у відповідь на пошкодження в рослинній клітині) та порівняти її з концентрацією токсиканту в середовищі.

Слід зазначити, що суттєве підвищення концентрації певних хімічних елементів в окремих ділянках біосфери призвели до того, що під час еволюції деякі рослини почали рости за високого вмісту цих елементів. Такі рослини отримали назву рослин індикаторів-моніторів. Серед них виділяють *універсальні* і *локальні* індикатори.

Універсальні ростуть виключно в районах з підвищеним вмістом конкретного елемента, а локальні - часто широко розповсюджені і лише в окремих районах за певних умов стають індикаторами забруднення.

За особливостями поглинання певних хімічних елементів рослини поділяють на *концентратори* і *деконцентратори*. Потрапляння в звичайні рослини (не концентратори) підвищеної кількості певних елементів спричинює низку фізіологічних і морфологічних змін. Вони настільки характерні, що можуть індикувати забруднення.

### **Фітомоніторинг забруднення атмосфери**

Мільйони років атмосферу забруднювали викиди як природного, так і антропогенного походження.

Джерела надходження забруднювальних атмосферу речовин можна ранжувати в такому порядку:

– стаціонарні джерела (згоряння палива); нафтопереробні заводи; добування корисних копалин (не металів); чорна металургія; кольорова металургія; хімічна промисловість; целюлозно-паперова промисловість; харчова промисловість; рухомі джерела (транспорт).

Забруднювальні атмосферу речовини поділяють на *первинні* — викиди джерел забруднення (вуглеводні, альдегіди, етилен тощо) та *вторинні* — фотохімічні оксиданти, що утворюються вже в атмосфері (озон, двоокис азоту, пероксиацетилнітрати).

Вплив фотохімічних оксидантів на рослини навіть сильніший, ніж первинних забруднень, а їхній вміст в атмосфері залежить від часу доби, метеорологічних умов і концентрації первинних забруднювальних речовин. Найнижчий вміст - у ранкові години, коли викиди промислових газів в атмосферу найменші, а найвищий - о другій - третій годині дня. У суміші вторинних забрудників найтоксичнішим елементом є озон. Відомо, що його концентрація залежить від сонячного світла і співвідношення в повітрі N<sub>2</sub>/NO. Другою за токсичністю речовиною, що забруднює атмосферу, вважають етилен, найменша концентрація якого спричинює незворотні явища в рослинному організмі.

На реакцію рослин на вплив фотооксидантів діють наступні фактори:

– генетично зумовлені пороги пошкодження, або фізіологічні реакції (швидкість росту, цвітіння, плодоношення, утворення насіння, врожайність); вік рослини, або ступінь її зрілості;

– умови культивування, включаючи запас поживних речовин, вміст вологи в ґрунті, освітлення, температуру, відносну вологість по вітря та тип ґрунту;

– концентрація забруднювальної речовини і тривалість впливу (характерний ефект "доза - відповідь"), відповідно гостра або хронічна дія;

Фактори, дія яких на рослину подібна до дії забруднювальних повітря речовин, такі:

– біологічні (бактерії, гриби, комахи, кліщі, нематоди, віруси, генетичні аберації);  
– фізичні (світло, механічні пошкодження, поживні речовини, рН, температура, вода, вітер, пестициди, солі). Вплив поллютантів на організм рослини, як правило, неспецифічний, але в деяких випадках у рослин можна спостерігати і специфічні реакції.

До неспецифічних реакцій рослин на забруднення атмосферного повітря відносять:

– зниження загальної життєздатності рослин;  
– зниження резистентності до хвороб і консументів;  
– перерозподіл асимілятів на репарацію пошкоджень;  
– зміну інтенсивності фотосинтезу та дихання; зміну ритму транспірації; мутагенну дію.

Під час вивчення ефектів впливу атмосферних забруднень на рослини слід охарактеризувати їх за наростанням інтенсивності концентрацій. Виділяють такі концентрації:

– *фонова* - нормальний (допустимий за ГДК) вміст речовин;

– *мала* - майже не перевищує фонові значення, зумовлює значні зміни основного метаболізму, які можна назвати адаптивними (рослина завжди здатна до певних перебудов і широко їх використовує під час адаптації до незначних коливань стану довкілля);

– *середня* - в 10... 100 разів перевищує фонову, її токсичний вплив помітний і призводить до кумулятивного ефекту, що зумовлює зниження продуктивності;

– *висока* - призводить до пригнічення рослини і неможливості відтворення потомства виду, випадання цього виду з екосистеми, при цьому коефіцієнт розмноження особини стає меншим за одиницю, що унеможливує відтворення виду навіть за умови усунення екосистемних факторів типу конкуренції чи впливу хвороб;

– *летальна* - призводить до чітко виражених гострих уражень, насамперед пожовтіння листків, часткового або повного опадання їх і навіть загибелі рослини. Ефект впливу поллютантів на фітоценози не є простою сумою ефектів впливів на види, що їх становлять. Якщо вплив незначно відрізняється від фонових значень, це зумовлює фізіологічні, морфологічні та інші перебудови в середині виду. Якщо ж вплив значно відрізняється від фонового, то успіх призводить до нового клімаксового стану, що характеризується іншим видовим складом, де види будуть максимально пристосовані до нового середовища.

Відомо, що навіть за незначного перевищення фонові концентрації забруднень (в 1...10 разів) в атмосфері, з екосистем швидко зникають лишайники та чутливі види грибів. Так, за останні 20 років у Західній Європі і Північній Америці кількість видів мохів і лишайників скоротилася на 25...30%.

Водночас стійкі до забруднення атмосфери рослини можуть сприяти її очищенню. Наприклад, високу здатність поглинати гази має караган, а низьку - липа, клен.

Детоксикація шкідливих речовин у рослині відбувається різними способами:

– цитоплазма рослинних клітин зв'язує деякі шкідливі речовини, перетворюючи їх на неактивні;

– токсиканти трансформуються в рослинах на нетоксичні продукти, які залучаються до загального метаболізму рослинних клітин;

– корені рослин виділяють деякі шкідливі речовини, поглинуті

– надземною частиною рослин, наприклад сірковмісні сполуки.

#### **4. Відбір та підготовка проб**

Контроль за станом довкілля й отримання об'єктивної інформації про нього є важливими ланками у розв'язанні екологічних проблем. Тому особливого значення набуває правильний вибір методики аналізу, відбір проб, проведення досліджень, статистична обробка результатів та інші операції. Особливе значення має правильність визначення

великої кількості хімічних інгредієнтів, наявних в об'єктах природного середовища. Багато з них природного походження та завжди присутні у природному середовищі. Водночас велика кількість сполук надходить до середовища внаслідок дії антропогенних факторів. Здебільшого такі речовини є токсичними та їх необхідно визначати на рівні дуже низьких концентрацій.

Наявність великої кількості хімічних компонентів потребує ретельного вибору ефективних методик аналізу, результати яких є базою для обґрунтованого здійснення заходів, спрямованих на збереження навколишнього середовища. Раціональний вибір методики для визначення певного інгредієнта зумовлений, з одного боку, агрегатним станом та якісним і кількісним хімічним складом досліджуваних об'єктів, а з іншого - можливостями самої методики аналізу

Основними етапами аналізу є *вибір методики, відбір проби, підготовка проби до аналізу, вимірювання аналітичного сигналу та статистична обробка результатів аналізу.*

Вибір оптимальної методики визначається величиною проби, яка залежить від очікуваного вмісту визначуваного інгредієнта та чутливості вимірюваного аналітичного сигналу.

Селективність обраної методики випиває на тривалість і точність аналізу. Чим більш селективною є обрана методика, тим менше часу витрачається на аналіз, тому що немає потреби у виключенні компонентів, які заважають аналізу.

Процес відбору проб є досить важливим етапом здійснення експериментальних наукових досліджень. Перш за все, необхідно забезпечити такі умови, за яких відібрана проба відображатиме реальний вміст досліджуваних компонентів у навколишньому середовищі. При цьому велике значення має сам об'єкт досліджень. Так, наприклад, склад найбільш рухомого середовища - повітря — постійно змінюється, а концентрації домішок є невисокими. Тому під час відбору проб для аналітичних визначень необхідно прокачувати через поглиначі досить великі об'єми повітря. Під час вивчення водних систем часто має сенс надати першочергову увагу донним відкладам, що накопичують багато шкідливих речовин і відображають довгострокову картину забруднення. Врешті, необхідно пам'ятати про те, що для зменшення випадкових похибок доцільно здійснювати декілька паралельних визначень, що призводить до збільшення мінімального об'єму проби.

У будь-якому випадку під час відбору проб слід дотримуватися таких вимог:

- місце та час відбору проб мають відповідати меті досліджень;
- проби мають відбиратися так, щоб уникнути елемента випадковості (тимчасова замуленість чи запиленість, випадкове забруднення тощо);
- від моменту відбору проб до початку аналізу має пройти якомога менше часу, щоб проба не зазнала помітних змін.

Так, наприклад, потрапляння в пробу, що аналізується, пилу з атмосферного повітря (якщо вимірювання здійснюються поблизу транспортних магістралей, поруч із заводом, електростанцією) може служити причиною забруднення і помилки під час визначення концентрації металів (завислі частинки викидів промислових підприємств і транспорту містять важкі метали). Забруднення повітря лабораторії парами ртуті також призводить до завищення вмісту цього елемента у пробі. Все це необхідно враховувати під час визначення слідових кількостей забруднювальних речовин.

Для запобігання забрудненню проби вже на стадії її відбору слід застосовувати спеціальні заходи безпеки. Такі заходи, зазвичай, детально описані або в самих методиках, або у спеціальних керівництвах з аналізу.

Слід зазначити, що неакуратне поводження та неправильне зберігання проби можуть призвести до змін її складу внаслідок фотолітичного чи термічного розкладання, хімічних реакцій, біохімічних процесів тощо.

У багатьох випадках практикам доводиться вдаватися до *консервування проб* - операції, яка дозволяє здійснювати аналітичні роботи не безпосередньо в польових умовах, а через деякий проміжок часу, для чого здійснюють консервування проб води, донних відкладів, біологічних об'єктів. Всі вимоги щодо консервування проб необхідно виконувати

ретельно і, в разі необхідності, цілити пробу на декілька порцій, окремо консервуючи їх для наступного аналізу.

*Етап підготовки проб* є першим ступенем власне аналітичної фази досліджень. Завад від невідомих факторів необхідно уникай. Метою підготовки проби є переведення компонента (і проби), що досліджується, у форму, придатну для аналізу за допомогою обраного методу, усунення речовин, що заважають, чи їх маскування, а в деяких випадках - чітко визначена зміна концентрації досліджуваного компонента (розбавлення чи концентрування) таким чином, щоб очікуваний його вміст був близьким до середини робочого діапазону методу аналізу, що застосовується. Всі необхідні операції з підготовки проб детально описані у прописах методик.

Відбір проб *атмосферного повітря* здійснюється аспіраційним способом (шляхом пропуску повітря через поглинальний прилад з визначеною швидкістю) і шляхом заповнення посудин обмеженого об'єму.

Для дослідження газоподібних домішок застосовують обидва методи, а для дослідження домішок у вигляді аерозолів та пилу- лише перший.

У результаті пропускання повітря через поглинальний прилад здійснюється концентрування речовини, що аналізується, в поглинальному середовищі. Для визначення концентрації речовини витрата повітря має становити десятки та сотні літрів за хвилину. Проби підрозділяються на разові (період відбору 20-30 хвилин) та середньодобові (осереднення не менше 4 разових проб, які відбирають через рівні проміжки часу протягом доби о 1, 7, 13 та 19 годині).

Найкращим способом отримання середньодобових значень є безперервний відбір проб повітря протягом 24 годин.

Для відбору проб повітря використовують електроаспіратори, пилюсмоки та інші прилади і пристрої, які пропускають повітря, а також прилади, які реєструють об'єм пропущеного повітря (реометри, ротаметри та інші витратоміри).

Система відбору проб повітря для аналізу газових домішок та сажі складається з повітропроводу, який обладнаний нагрівальним пристроєм з терморегулятором, розподільного гребінця для підключення поглинальних приладів та двох електроаспіраторів.

Система відбору проб повітря для дослідження пилу складається з трубки, яка обладнана фільтрами, та гнучкого шланга, який підключають до повітропроводу. У нестационарних умовах використовується аспірація повітря за допомогою двигуна внутрішнього згорання або пилюсмока, який підключений до стаціонарного джерела зі струмом.

Важливим елементом системи пробовідбору є поглинальні пристрої, які залежно від агрегатного стану вловлюваних речовин можна поділити на 2 групи:

для газоподібних речовин; для аерозолів та пилу.

У зв'язку із значною агресивністю хімічних речовин, які вловлюють з повітря, поглинальні пристрої виготовляють із скла. Звичайні скляні місткості використовують найчастіше під час відбору проб повітря для визначення окису вуглецю та інших газових домішок. Заповнення скляного посуду аналізованим повітрям здійснюється трьома способами:

1) продування посудин 10-кратним об'ємом повітря, що аналізується, після чого посудина закривається;

2) вакуумне заповнення: з герметично закритих посудин повітря відкачується. Їх відкривають у місці відбору проби і потім знов закривають;

3) заміщення попередньо залитої в посудину інертної рідини повітрям, після того, як рідина вилилась, посудина закривається.

Під час відбору проб повітря для визначення в ньому вмісту шкідливих речовин використовують метод поглинання: повітря просмоктують через рідину або тверді сорбенти. У випадках визначення газо- чи пароподібних речовин використовують поглинальні рідини, в яких речовини, що містяться у повітрі, розчиняються або зв'язуються у нові сполуки. Поглинальні рідини підбирають з урахуванням їх здатності вступати в реакції з певними газами. Таким чином уловлюють сірчистий газ, сірководень, сірковуглець тощо.

Відбір проб повітря, що містить рідкий аерозоль, здійснюють просмокуванням його крізь скляний пористий фільтр або фільтрувальний папір. При цьому частинки аерозолу збільшуються й осідають на твердій поверхні. Для поглинання твердих аерозолів використовують тверді фільтрувальні матеріали: гігроскопічну вату, фільтрувальний папір, активоване вугілля, мембранні фільтри тощо.

Максимальна повнота поглинання речовин, що визначаються, забезпечується застосуванням низки спеціальних поглинальних приладів та фільтрів. Наявність різноманітних за своєю конструкцією поглиначів дозволяє обрати найбільш раціональний тип для якнайбільш повного вловлювання мінімальної кількості конкретної речовини.

Необхідний об'єм проби повітря і тривалість його аспірації мають бути такими, щоб отримати у поглинаючих середовищах концентрації, які виявляються існуючими методами досліджень. З метою запобігання проскоку досліджуваної речовини крізь поглинальний прилад швидкість аспірації підбирається заздалегідь під час розробки того чи іншого методу для визначення певної речовини. Наприклад, для надійного поглинання речовин, ГДК яких в атмосферному повітрі знаходиться на рівні  $10 \text{ мкг/м}^3$ , вона не має перевищувати  $0,5 \dots 1 \text{ дм}^3/\text{хв}$  за тривалості відбору не більше 30 хв. За цих умов чутливість методів визначення атмосферних забруднень у пробі, що аналізується, має бути не менша  $0,1 \dots 0,2$ .

Правильність оцінювання якості води забезпечує виконання таких умов:

- 1) правильний відбір проб води належної кількості;
- 2) репрезентативність проб, тобто відповідність до поставленого завдання як за якістю та об'ємом, так і вибраними точками та часом відбору, а також технікою відбору, попередньої обробки, умов зберігання та транспортування.

Проба повинна характеризувати водоймище, водотік і якість води за певний проміжок часу. Ступінь характерності одиночної проби великій водянній масі залежить від низки чинників: однорідності відібраної водної маси; кількості точок пробовідбору; розмірів окремих проб; способів відбору.

Попередня обробка, транспортування та зберігання проб повинні проводитися у такий спосіб, щоб склад води майже не змінювався.

Проби поділяють на прості та змішані. *Прості проби* характеризують якість води у певному пункті відбору, відбираються у визначений час у необхідному об'ємі.

*Змішані проби* об'єднують кілька простих проб. З метою характеристики якості води за певний період часу або певної ділянки досліджуваного об'єкта.

Залежно від мети дослідження вдаються до разового або регулярного відбору проб.

*Разовий відбір проб* застосовують, коли вимірювані параметри несуттєво змінюються в просторі (глибина, акваторія) водоймища і в часі; закономірності зміни параметрів, що визначаються, попередньо відомі; необхідні лише найзагальніші уявлення про якість води у водоймищі.

*Регулярний відбір проб* - це такий відбір, за якого кожен пробу відбирають у часовій та просторовій взаємозалежності з іншими.

Стаціонарні спостереження передбачають відбір проб води для хімічного аналізу на стрижні потоку з глибиною 0,2-0,5 м. Якщо русло глибоке, а течія слабка, доцільніше брати проби на різних глибинах.

Проби з різних глибин водного об'єкта відбирають спеціальним приладом - *батометром* (прилад для відбору проб води з певної глибини з метою визначення її фізичних властивостей та вмісту розчинених і завислих речовин, а також гідробіонтів), виготовленим з інертного матеріалу, або за допомогою прикріпленої до жердини пляшки, з якої на необхідній глибині мотузкою висмикують пробку. Під час відбору проби для бактеріологічного аналізу батометр і пляшку перед зачерпуванням води фламбують (обпалюють). Батометр повинен відповідати таким вимогам: вода, що проходить крізь нього, не повинна в ньому затримуватися; він повинен щільно закриватися: матеріал пробовідбірника має бути хімічно інертний. На практиці широко використовуються горизонтальні, перекидні та автоматичні батометри. За допомогою батометра Молчанова проводять відбір проб води для визначення вмісту пестицидів. Відбір проб на значних глибинах (20-30 м) проводиться за допомогою батометра Рутнера.

Але переважно проби відбирають емальованим відром об'ємом 10 л. З відра водою наповнюють посудини для визначення рН, вмісту у воді кисню, діоксиду вуглецю, фіксують відсоток насичення води киснем, а також наповнюють водою пляшки для визначення біохімічного споживання кисню за 5 діб (БСК<sub>5</sub>) та для подальшого аналізу в лабораторії. Проби для визначення концентрацій нафтопродуктів, фенолів, синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР), важких металів, пестицидів відбирають в окремі пляшки.

Проби води для фізико-хімічного аналізу відбирають у чисто вимитий скляний посуд, який попередньо не менше двох разів обполіскують водою, що відбирається. Посуд для бактеріологічного аналізу (флакони з притертою, каучуковою або корковою пробкою) стерилізують у сушильній шафі за температури 160° С протягом однієї години. Пробу для бактеріологічного аналізу відбирають так, щоб під пробкою залишався невеликий повітряний простір (5-6 см), який, однак, не допускається під час відбору проби для фізико-хімічного аналізу. Окремо у склянки з притертими пробками відбирають пробу для визначення розчиненого кисню і фіксують її на місці відповідними реактивами. На місці пробовідбору визначають температуру води, наявність чи відсутність плівок на її поверхні, наявність та характер водної рослинності, стан і забруднення берегів, замуленість дна і характер мулу, наявність плівок нафтопродуктів на дні, наявність і характер біологічних обростань та орієнтовно - прозорість води (прозора, мутнувата, мутна), забарвлення (безбарвна, злегка жовтувата, жовта, коричнева), запах, наявність осаду, інколи - рН.

На бутилі з пробками наліплюють ярлики, на яких позначають, звідки взято воду, або вказують номер проби, і разом із супровідними бланками якомога скоріше направляють їх в лабораторію. У супровідному бланку зазвичай вказують: найменування та місцезнаходження водного об'єкта; характеристику водного об'єкта (тип, глибину, спосіб пробовідбору, санітарний стан навколишньої території); стан погоди під час відбору проб та протягом 10 попередніх днів, силу й напрямок вітру; з якої нагоди відібрано воду для дослідження (планове дослідження, аварійний скид, скарги населення, дослідження у зв'язку із спалахом кишкової інфекції тощо) та мету останнього; необхідний обсяг досліджень (скорочений чи повний аналіз, визначення патогенних мікроорганізмів тощо); дату й час відбору проби; результати досліджень, виконаних біля водного об'єкта; дані про особу, яка відбрала пробу (прізвище, посада), та підпис цієї особи.

Доставлені у лабораторію проби реєструють у журналі, куди заносять дані супровідного документа, а реєстраційний номер проставляють на ярлику бутилі з пробкою. За необхідності в журналі у графі "примітка" зазначають відхилення щодо строків доставки проби (понад 6 год) та її стан.

У день доставки проб води у лабораторію у першу чергу здійснюють бактеріологічні посіви води, визначають її органолептичні властивості, активну реакцію, алюміній (не пізніше 2 год після відбору проби), окисність, азотамонійний і нітритний (визначення азотвмісних сполук бажано проводити протягом 4 год після відбору проби), залізо, марганець, твердість, розчинений кисень та ставлять проби для визначення БСК. У випадку неможливості проведення фізико-хімічних досліджень в день доставки проб воду можна зберігати у холодильнику до 48 (слабко забруднену) та 72 год (чисту) Бактеріологічний аналіз води необхідно розпочинати не пізніше ніж через 2 год після відбору проби; за температури від 1 до 5° С проба може зберігатися до 6 год. Бактеріологічні посіви, органолептичні дослідження та постановку проб для визначення БПК здійснюють обов'язково в день відбору проб, оскільки консервувати воду в цьому випадку не можна.

Для зберігання проб використовують поліетиленовий та скляний посуд. Перед використанням його миють концентрованою кислотою та споліскують водопровідною водою. Основні вимоги до посуду — міцність, стійкість до розчинення, щільність закривання.

Консервування необхідне під час відбору проб для визначення нестійких компонентів. Їх аналізують не пізніше ніж через 3 дні після відбору. Проби зберігають за температури 3-5° С в холодильнику. Взимку за температури нижче 0°С відібрану пробу переносять у тепле приміщення, де проводять аналіз.

Спосіб відбору проб *морського та льодовикового льоду та льоду водойм і водотоків* визначається типом льоду, метою аналізу та переліком компонентів, що визначаються.

Вимоги до пристроїв для відбору проб льоду повинні відповідати нормам для подібних пристроїв, які застосовуються на метеорологічних станціях та постах, затверджених Держкомгідрометом, а саме:

- забезпечувати отримання представницької проби за одну операцію відбору;
- матеріал пробовідбірників повинен мати підвищену корозійною стійкістю (особливо під час відбору морського льоду) і виключати можливість зміни складу відібраної проби за час її „ знаходження у камері пробовідбірника;
- пристосування, які використовують для видалення поверхневого шару льоду з проби перед аналізом та для відтаювання проби льоду для отримання талої води, а також засоби, що застосовують для зберігання і транспортування проби, мають виключати можливість забруднення отриманої талої води;
- комплекти обладнання мають бути компактними та мати відносно малу масу.

Відбір проб морського льоду, а також льоду водойм і водотоків для визначення головних іонів проводять на рівній ділянці поверхні льоду, очищеній від снігового покриву, ручним кільцевим буром. Після відбору вимірюють довжину отриманої проби льоду, пробу поміщають у потрійний поліетиленовий мішок або циліндричний контейнер з гвинтовою покриткою, виготовленою із полімерного матеріалу (дозволяється застосовувати металевий контейнер), контейнер (мішок) з пробю льоду маркують і зберігають за мінусової температури до початку аналізу.

За необхідності визначення хімічного складу різних форм льоду, проба безпосередньо на місці ділиться на зразки, кожний з яких запаковують і маркують окремо.

Контейнери та мішки для зберігання проб льоду перед використанням обробляють аміачним розчином трилона Б та ретельно промивають дистильованою водою.

Об'єм проби, необхідний для виконання аналізу, залежить від переліку визначуваних компонентів і методів аналізу.

Для визначення органічних забруднювальних речовин відбір проб льоду здійснюють кільцевим буром. Усе пробовідбірне обладнання та місткості для зберігання проб льоду безпосередньо перед відбором обробляють відповідними розчинниками, які використовуються для екстракції забруднювальних речовин під час подальшого визначення їх хімічного складу. Перед аналізом з відібраного зразка видаляють поверхневий шар за допомогою металевого різака. Транспортування та зберігання проб здійснюють у ящиках і контейнерах з нержавіючої сталі з кришкою, що герметично закривається.

Для визначення неорганічних забруднювальних речовин відбір проб льоду також здійснюють кільцевим буром. Після відбору проби льоду поміщають у контейнери, виготовлені з полімерного матеріалу з гвинтовою кришкою, або у потрійний поліетиленовий мішок і зберігають за від'ємної температури до початку аналізу. Видалення снігового покриву з поверхні льоду у точці відбору здійснюють совком з полімерного матеріалу. Мішки і контейнери для зберігання проб, а також совок тримають у спеціальному ящику, виготовленому з полімерного матеріалу і перед відбором проб витримують протягом доби у розчині азотної кислоти та обов'язково промивають водою до нейтральної реакції промивних вод. Визначення компонентів, що змінюються у часі, особливо головних іонів, здійснюють безпосередньо зразу після відбору проб.

Проби *атмосферних опадів* відбирають на метеостанціях або спеціально обладнаних постах, які є представницькими для даного району. Залежно від мети аналізу, місця відбору проб можуть бути розташовані як у зоні впливу окремих джерел забруднення або їх групи, так і поза нею. Періодичність відбору проб визначається метою досліджень, ступенем змінності концентрацій визначуваних компонентів, метеорологічними умовами.

Розрізняють точкові або об'єднані проби атмосферних опадів. Точкову пробу відбирають під час дощу або снігопаду (інтервал часу у разі випадання не більше 1 години). Об'єднана проба відбирається за певний період часу - місяць, декаду, тиждень, добу та характеризує середній вміст визначуваних компонентів за цей період часу.

Під час ручного відбору проб використовують пристрої, які встановлюють тільки на період випадання опадів.



У разі автоматичного відбору проб використовують пристрої, які автоматично відкривають кришку над збірною місткістю на початку випадання опадів і закривають її після їх закінчення. Для збірних місткостей і посудин для зберігання проб використовують посуд, виготовлений з хімічно стійкого матеріалу (поліетилен).

Відбір проб проводять на висоті 2 м. Проби (сніг, град) переводять у талу воду за кімнатної температури у збірних місткостях. Плівки, що утворюються на поверхні талої води та на стінках збірної місткості, змивають талою водою у посудини для зберігання проби.

Визначення компонентів, що змінюються у часі, здійснюють безпосередньо відразу після випадіння опадів та відбору проб.

Транспортування проб до лабораторії для проведення аналізу проводять в оптимально короткий термін після відбору. При цьому використовують спеціальні ящики, які забезпечують збереження і чистоту проб.

Відбір проб *грунту* проводять з метою контролю забрудненості, оцінювання якісного стану фунтів природного або порушеного складу.

Відбір проб для хімічного, бактеріологічного та гельмінтологічного аналізів проводять не менше одного разу на рік, для контролю забруднення важкими металами - не менше одного разу на 3 роки. Для контролю забрудненості ґрунтів території дитячих садків, лікувально-профілактичних закладів та зон відпочинку населення відбір проб проводять не менше 2 разів на рік - весною та восени.

У разі вивчення динаміки самоочищення ґрунту відбір проб проводять протягом першого місяця щоденно, а потім щомісяця протягом вегетаційного періоду до завершення активної фази самоочищення.

На досліджуваній території проводять рекогносцирувальні роботи, за результатами яких заповнюють паспорт досліджуваної ділянки і здійснюють опис ґрунтів. Під час контролювання забруднення ґрунтів промисловими підприємствами майданчики для відбору проб намічають уздовж векторів "рози вітрів". За неоднорідності рельєфу місцевості майданчики відбору проб розташовують за елементами рельєфу. На карти або плани наносять місця розташування джерел забруднення, майданчики відбору проб та місця відбору точкових проб.

Майданчики відбору проб закладають на ділянках з однорідним ґрунтовим та рослинним покривом, а також з урахуванням господарського використання основних ґрунтових відмін. Для контролю забрудненості ґрунтів сільськогосподарських угідь залежно від характеру джерела забруднення, вирощуваних культур та рельєфу місцевості на кожні 0,5-20,0 га території закладають не менше ] ділянки розміром не менше 10x10 м. Для контролю санітарного стану ґрунту в зоні впливу промислового джерела забруднення майданчики відбору проб закладають на території, яка відповідає 3-кратному розміру санітарно-захисної зони.

Точкові проби відбирають на майданчику з одного або декількох шарів і горизонтів методом конверта, за діагоналю або будь-яким іншим способом з таким розрахунком, щоб кожна проба являла собою частину ґрунту, типового для генетичного горизонту або шарів такого типу ґрунту. Точкові проби відбирають ножем або шпателем з прикопок або ґрунтовим буром.

Для контролю забруднення речовинами, що розподіляються поверхнею (нафта, нафтопродукти, важкі метали) — точкові проби відбирають пошарово з глибини 0-5 та 5-20 см масою не більше 200 г кожна. Для контролю забруднення легко мігруючими речовинами точкові проби відбирають з генетичних горизонтів на всю глибину ґрунтового профілю.

Об'єднану пробу складають шляхом змішування точкових проб, відібраних на одному майданчику. Для хімічного аналізу об'єднану пробу складають не менше, як з 5 точкових проб, взятих з одного майданчика. Маса об'єднаної проби має бути не менше одного кілограма.

Під час відбору точкових проб і складання об'єднаної проби повинна бути виключена можливість їх повторного забруднення.

Точкові проби, призначені для визначення вмісту в ґрунті важких металів, відбирають інструментом, якій не містить металів. Перед відбором проб стінку прикопки або поверхню

проби необхідно зачистити ножем, виготовленим з поліетилену або полістиролу або пластмасовим шпателем.

Точкові проби ґрунту, призначені для визначення летких хімічних речовин, необхідно відразу помістити у флакони або скляні банки з притертими пробками, заповнивши їх повністю до корка.

Для визначення вмісту в ґрунті пестицидів точкові проби не варто відбирати у поліетиленову або пластмасову тару.

Для бактеріологічного аналізу з одного майданчика відбору проб складають 10 об'єднаних проб. Кожну об'єднану пробу складають з точкових масою 200-250 г кожна, відібраних пошарово з глибини 0-5 та 5-20 см. З метою запобігання повторному забрудненню проби слід відбирати стерильним інструментом, перемішуючи на стерильній поверхні і використовуючи стерильну тару.

Для гел'мінтологічного аналізу з кожного майданчика відбору проб беруть одну об'єднану пробу масою 200 г, яку складають з 10 точкових масою 20 г кожна, відібраних пошарово з глибини 0-5 та 5-10 см. За необхідності відбір проб проводять з глибоких шарів ґрунту пошарово або з генетичних горизонтів.

Під час транспортування і зберігання ґрунтових проб мають бути вжиті заходи із запобігання їх повторному забрудненню.

Проби ґрунту для хімічного аналізу висушують до повітряно-сухого стану і зберігають їх у матерчатих торбинках, картонних коробках або у скляній тарі. Проби ґрунту, призначені для визначення летких і хімічно нестійких речовин, доставляють до лабораторії, де відразу аналізують.

Проби ґрунту, призначені для бактеріологічного аналізу, транспортують до лабораторії у сумках-холодильниках. За неможливості проведення аналізу протягом однієї доби проби ґрунту зберігають у холодильнику за температури від 4 до 5° С не більше 24 годин. Для аналізу на вміст кишкових паличок та ентерококів проби зберігають у холодильнику не більше 3 діб, для дослідження на яйця біогел'мінтів ґрунт без обробки зберігають не довше 7 діб, на яйця геогел'мінтів - не довше одного місяця. Під час зберігання проб для запобігати висиханню та розвитку личинок у яйцях гел'мінтів ґрунт зволожують і аерують один раз на тиждень, виймаючи проби з холодильника на 3 години, зволожують в міру втрати вологи і знову повертають проби до холодильника на зберігання.

Якщо необхідно зберігати проби довше одного місяця, тоді застосовують консерванти: ґрунт пересипають до кристалізатора, заливають розчином формаліну з масовою часткою 3%, приготуваним на ізотонічному розчині натрію хлористого з масовою часткою 0,85% (рідина Барбагалло), або розчином соляної кислоти з масовою часткою 3%, а потім ставлять до холодильника.

Необхідною умовою для правильної хімічної характеристики ґрунту є правильна підготовка проби до аналізу. Для визначення хімічних речовин пробу ґрунту у лабораторії розсипають на папері і розминають товчачиком великі грудки. Потім видаляють включення - коріння рослин, комах, камінці, скло, вугілля, кістки тварин, а також новоутворення - друзи гіпсу, вапнякові журавчики тощо. Ґрунт розтирають у ступці товчачиком і просіюють крізь сито з діаметром отворів 1 мм. Відібрані новоутворення аналізують окремо, готуючи їх до аналізу так само, як і пробу ґрунту. Для бактеріологічного аналізу підготовку проб ґрунту проводять аналогічно, але зі суворим дотриманням умов асептики.

Для визначення валового вмісту мінеральних компонентів з просіяної проби відбирають представницьку пробу масою не більше 20 г і розтирають її у ступці до пудроподібного стану. Для аналізу вмісту летких речовин наважки ґрунту беруть без проведення попередньої підготовки проби до аналізу.

Розрізняють три види *рослинних* проб: попередню, середню (лабораторну) та аналітичну.

*Попередню* пробу відбирають безпосередньо в полі, на складі тощо за спеціальними правилами, наведеними в інструкціях або стандартах.

Методика складання зразків залежить від об'єкта досліджень. Загальним є те, що до зразка потрібно включати якомога більшу кількість рослин або їх частин, але водночас проби

не повинні бути надто громіздкими. Тому для культур установлюють мінімальні розміри зразків, для ґрунту та добрив - мінімальну їх масу.

Відбір зразків проводять за доброї погоди, до настання спеки чи наприкінці дня (завжди в один час). Умови відбору зразків мають бути однаковими в усіх варіантах.

Кожен зразок зберігається в коробці чи мішечку, які повинні мати чітко заповнені етикетки.

*Середню* пробу готують з попереднього зразка. Для цього пробу рослин розділяють на окремі органи, зважують і визначають їх масове співвідношення. Потім подрібнюють ножицями чи ножем, добре перемішують і відбирають квадратуванням або в окремих місцях середню пробу. Краще це робити, розстеливши речовину тонким шаром на склі чи фанері.

Середні проби висушують за кімнатної температури чи нагрівання до 50-60° С до ламкого (крихкого) стану.

Середні проби повинні бути подрібнені таким чином, щоб ґрунт просіювався крізь сито з діаметром 1 мм, а рослинна маса - 0,25 мм.

*Аналітичну* пробу відбирають з повітряно-сухої середньої проби: подрібнений матеріал розподіляють тонким рівномірним шаром на пергаментному папері у вигляді квадрата, який розділяють за діагоналями на 4 трикутники, з двох протилежних матеріал забирають. Залишок старанно перемішують і знову рівномірно розподіляють на папері; операцію повторюють доти, поки не залишиться стільки речовини, скільки потрібно для аналітичної проби. Її переносять у склянку з притертим корком.

Маса аналітичної проби рослин становить 50-100 г. Зберігають зразки протягом 10 місяців у сухих приміщеннях у закритих коробках.

Під час відбирання наважок аналітичну пробу ще раз ретельно перемішують. Зразки одного виду продукції з усіх варіантів досліду слід аналізувати одночасно.

Проби *рослин* зернових і зернобобових культур відбирають у чотирьох місцях ділянки по 25 см з двох суміжних рядків. Рослини виривають, струшують ґрунти і загортають їх у папір. Перед збиранням врожаю виривають всі рослини з двох сусідніх рядків на чотирьох ділянках розміром 0,25 м<sup>2</sup> (кожна), які розміщені на одній з діагоналей ділянки на однакових відстанях одна від одної. Корені відрізують, рослини висушують, зважують, обмолочують, очищують, зважують зерно. Середні зразки відбирають: зерна - 2 кг, подрібненої соломи з половиною - не менше 500 г.

Проби кукурудзи відбирають уздовж однієї з діагоналей ділянки в 10 гніздах (місцях). Рослини розділяють на органи (листя, стебла, качани), визначають їх вагове співвідношення (з урахуванням вологості). Для проби беруть по півлистка, півобгортки, четвертій частині стебла, четвертій частині качана, розділених уздовж. Подрібнені зразки висушують до крихкого стану, розмелюють і просіюють.

Проби картоплі відбирають за діагоналлю ділянки (по 10 кущів), зважують. Для подальших проб беруть 3 фракції (дрібні, середні та великі) відповідно до їх частини в урожаї. До середньої проби беруть четверту частину кожної бульби, розрізаної вздовж. Потім бульби ріжуть на шматочки та сушать при температурі до 60° С. Бадилля подрібнюють, перемішують, відбирають середню пробу квадратуванням, сушать.

До проби коренеплодів включають 40 рослин, викопаних за діагоналями ділянки. Зразок після очищення від землі кладуть у вологий мішок. Листки подрібнюють і відбирають пробу 250-300 г. Коренеплоди обережно миють, не залишаючи у воді, витирають, провітрюють, подрібнюють на тертушці, вирізуючи вздовж коренеплода сегмент, що досягає його серцевини. Дрібні коренеплоди труть до кінця. Одержану масу добре перемішують, частину беруть для аналізу, решту висушують.

## **5. Вибір методів і засобів вимірювань.**

Вибір методів і засобів вимірювань параметрів джерел впливу та показників стану навколишнього середовища залежить не тільки від того, за якими компонентами чи параметрами вестимуться спостереження, але й від завдань програми загалом. Наприклад, не завжди є необхідним застосування інструментальних методів визначення забруднюючих речовин — існують достатньо прості та інформативні прийоми, що не потребують складного

обладнання і високої професійної підготовки виконавців (візуальні методи, деякі способи біоіндикації, тощо).

Якщо для вирішення поставленої мети необхідні інструментальні методи, слід мати на увазі, що їх вибір визначається багатьма міркуваннями, включаючи придатність методики, доступність необхідного обладнання, вартість аналізу, чутливість та необхідну тривалість вимірювань і відбору проб, а також можливість впливу на хід аналізу сторонніх факторів. З метою забезпечення порівняння результатів спостережень засоби і методи, що застосовуються, повинні бути атестованими і введеними в дію відповідними нормативними документами. Методики вимірювань можуть бути затверджені і допущені до застосування Держстандартом України, а також міністерствами і відомствами. Перевагу слід надавати методикам, затвердженим Державним комітетом стандартизації, метрології та сертифікації України, допускається застосування методик державної санітарно-епідеміологічної, гідрометеорологічної служби, Міністерства екології та природних ресурсів України тощо. У разі використання інших відомчих методик (наприклад, таких, що застосовуються у хімічній чи харчовій промисловості) слід упевнитися, що рекомендовані способи здійснення вимірювань є придатними для технологічного контролю чи для оцінювання якості природного середовища. Виконання аналітичних вимірювань за неатестованими методиками може поставити під сумнів достовірність отриманих результатів.

Достовірність інформації про стан і рівень забруднення об'єктів навколишнього середовища залежить від добору методів аналізу даних. Як правило, для окремих ситуацій необхідно добирати методи спостереження і дослідження, які дають можливість отримати різнобічну і якомога точнішу інформацію. Для цього можливостей одного методу часто виявляється недостатньо, тому для підтвердження, перевірки, розширення спектра даних використовують різноманітні методи, які дають можливість побачити об'єкт дослідження під різним кутом зору і в різних вимірах.

Під час дослідження стану довкілля використовують методи якісного (діагностують наявність певного хімічного елемента, сполуки) і кількісного (визначають кількість (концентрацію) хімічного елемента, сполуки у довкіллі) аналізу довкілля. Залежно від параметрів, які підлягають вимірюванню, методи кількісного аналізу поділяють на хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні.

Характеристику методів для аналізу стану довкілля наведено в табл. 1. Дані таблиці є орієнтовними, тому що окремі методи аналізу можуть бути більш або менш чутливими і точними, ніж зазначено у таблиці.

Таблиця 1

**Загальна характеристика методів  
аналізу об'єктів природного середовища**

Показники	Методи.		
	хімічні	фізико-хімічні	фізичні
Мінімальна визначувана концентрація, мг/дм (без концентрування)	1,0-0,1	0,05-0,005	0,01-0,001
Точність аналізу, % відн.	0,01-0,5	1-10	2-20
Селективність	добра	висока	дуже висока
Тривалість аналізу (без підготовки проби), хв.	30-200	15-60	10-30
Ціна поділки вимірювальної апаратури у відносних одиницях	1	20-100	100-500
Можливість швидкого виконання масових аналізів	низька	середня	висока
Необхідність в обслуговуючому персоналі	не потрібна	бажана	обов'язкова

Автоматизація процесів виміру	низька	середня	висока
-------------------------------	--------	---------	--------

Поділ методів на хімічні та фізико-хімічні є умовним. Однак поділ методів вимірювання аналітичного сигналу на три основні групи - фізичні, хімічні та фізико-хімічні є доцільним, тому що вони мають різні можливості, які слід врахувати під час вибору оптимальних варіантів аналізу об'єктів навколишнього середовища.

Вибір конкретного методу дослідження залежить від вмісту аналізованої речовини і хімічного складу досліджуваного об'єкта (табл. 2).

Таблиця 2

**Методи визначення певних інгредієнтів у об'єктах довкілля**

Метод	Визначення інгредієнтів у об'єктах довкілля		
	у ґрунтах і донних мулах	у природних водах	у повітрі (газах і аерозолях)
Гравіметричний	Вологість, мінеральний залишок, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , карбонати	SO <sub>4</sub> , нафтопродукти, зависі, мінеральний залишок	Запиленість (вміст пилових часток)
Титриметричний	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca, Mg	Окисен (розчинений), CO <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , твердість води (загальна і карбонатна), ХСК, БСК <sub>5</sub>	Кислоти та кислотні оксиди
Фотометричний	NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , F, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Al, Hg, Cu, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Колір, органічні речовини, H <sub>2</sub> S, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , P (неорг.), Al, Cu, Fe	сю, CS <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HCl, HNO <sub>3</sub> , Al, Fe, Pb, пестициди, деякі органічні сполуки.
Люмінесцентний	Нафтопродукти	Нафтопродукти, хлорорганічні ароматичні сполуки, спирти, ацетон	Смолисті речовини, ароматині вуглеводні, кетони
Фотометрія полум'я	Na, K	Li, Na, K, Ca	Li, Cs, K
Емісійна спектрометрія	Метали, мікроелементи, бор	Li, Na, K, Ca, Sr, Ba, Cu, Al, Fe, Pb	Be
Атомно-абсорбційна спектроскопія	Cu, Ni, Zn, Hg, Pb, Cr	Ca, Mg, Cu, Pb, Hg та інші	Hg, Cd, Sr, Cu, Pb та інші
Кінетичний і хемілюмінесцентний	Катіони важких металів	Mn, Cu, Ni, Fe (III), амінокислоти	Озон
Потенціометричний	pH, F, NO <sub>3</sub> , K, Ca	pH, F, NO <sub>3</sub> , K, Ca, Cu, Cl, окисно-відновний потенціал	HF, ненасичені органічні сполуки
Радіометричний	Sr-90, Cs-137, U-238	Sr-90, Cs-137, U-238, Pu-239	Sr-90, Cs-137
Хроматографічні	Нафтопродукти, хлорорганічні сполуки, вуглеводні, пестициди	Na, K, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Ca, органічні сполуки	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , CCl <sub>4</sub> , Al, Cu, органічні сполуки

Застосування певного методу під час вивчення стану об'єктів довкілля дає можливість визначити інгредієнти, характерні лише для визначеного об'єкта дослідження.

**Хімічні методи кількісного аналізу концентрації хімічних елементів (сполук) у довкіллі.** Вони ґрунтуються на виявленні певних речовин за допомогою хімічних реакцій.

До хімічних методів належать титрометричний і гравіметричний методи.

*Титрометричний (об'ємний) метод* аналізу ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину реагенту відомої концентрації, витраченого на взаємодію з аналізованою речовиною за умови, що речовини вступають у реакцію в концентраціях  $10^{-1} - 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. Цим методом визначають загальну і карбонатну твердість води, хімічне споживання кисню, біохімічне споживання кисню, кислотність, лужність, уміст розчиненого кисню, концентрацію катіонів меркурію, заліза (II), аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}$ .

*Гравіметричний метод аналізу.* Цей метод оснований на кількісному переведенні аналізованого компонента в малорозчинну сполуку і зважуванні продукту після виділення, промивання, висушування чи прожарювання.

Застосовують його за концентрації речовини в розчині не нижче  $10^{-2} - 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. Гравіметричним методом визначають у природних і стічних водах наявність заліза (III) та алюмінію, які присутні у формі оксидів, хлориди -  $\text{AgCl}$ , сульфати -  $\text{BaSO}_4$  (у кислому середовищі), багато металів (у вигляді малорозчинних сполук з органічними реагентами) - оксихінолінати, дитизонати та ін.

**Фізико-хімічні методи кількісного аналізу концентрації хімічних елементів (сполук) у довкіллі.** Ці методи ґрунтуються на хімічних реакціях, однак за їх допомогою визначають фізичну характеристику (оптичну густину, електропровідність, окисно-відновний потенціал), що залежить від вмісту аналізованої речовини. До цієї групи належать **фотометричний і хроматографічний аналізи.**

*Фотометричний аналіз.* Він охоплює всі методи, які базуються на поглинанні світла речовиною чи продуктом реакції в ультрафіолетовій (УФ), видимій та інфрачервоній (ІЧ) частинах електромагнітного спектра.

Вони є придатними для визначення всіх хімічних елементів, крім інертних газів. З їх допомогою визначають як макро-, так і мікрокількості (до  $10^{-8}\%$ ) аналізованого компонента. Широко їх застосовують під час аналізу природних об'єктів (повітря, поверхневих вод, ґрунту, донних мулів, рослин), стічних вод, газоподібних викидів, відходів промисловості. Наприклад, катіони міді визначають у вигляді діетилдитіокарбонату міді жовтого кольору або аміачного комплексу  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$  волошково-синього кольору; залізо (III) - у вигляді роданітного комплексу  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$  криваво-червоного кольору чи сульфосаліцилату (залежно від рН середовища окремо можна визначити вміст  $\text{Fe}(\text{II})$  і  $\text{Fe}(\text{III})$ );  $\text{Al}^{3+}$  утворює рожеві комплекси з алюмініоном в ацетатному буфері.

*Хроматографічний аналіз* забезпечує розподіл, якісне виявлення та кількісне визначення компонентів рідких і газоподібних сумішей. Ґрунтується він на різному їх розподілі між рухомою і нерухомою фазами. Завдяки йому вдалося, наприклад, швидко виявити стафілококове та мікозне ураження ліквідаторів аварії на ЧАЕС. Хроматографічними методами в організмі виявляють алкалоїди, що спричиняють отруєння.

Для аналізу складних органічних проб використовують рідинну хроматографію. В установках рідинної хроматографії (як і в газових) використовують різноманітні детектори:

ультрафіолетовий, електрохімічний, детектор з діодною матрицею, флюорометричний. Застосування електрохімічного детектора дає змогу визначати сполуки за їх вмісту  $10^{-12}$  г в 1 мл проби. Найбільшу чутливість під час визначення сполук з малими ГДК (біогенні аміни, поліароматичні вуглеводні, гормони, токсини) має флюорометричний детектор.

Послугуючись методом газорідинної хроматографії, визначають склад стічних вод нафтопереробних і хіміко-фармацевтичних підприємств, заводів органічного синтезу.

Газова хроматографія характеризується високою розподільною здатністю, гнучкістю завдяки застосуванню різних детекторів, найпоширенішим серед яких є полуменово-іонізаційний. Для визначення галогеновуглеводнів застосовуються детектор електронного захоплення, а за допомогою спеціального N/P-детектора виявляються азото- і фосфоровмісні агрохімічні препарати.

Кількісною характеристикою газової та рідинної адсорбційної хроматографії є висота або площа хроматографічного піка, які пропорційні вмісту компонента в досліджуваній суміші.

Під час розділення сумішей методом *тонкошарової хроматографії* (її різновид - паперова хроматографія) отримують забарвлені плями окремих компонентів; безбарвні сполуки проявляють фізичним (УФ-опромінення) або хімічним (обробка реагентом, який утворює забарвлені сполуки з речовинами, наприклад, амінокислоти набувають блакитного кольору після обробки їх розчином нінгідрину) способом. Так відбувається якісне виявлення компонентів суміші. Кількісний склад визначають за площею плями або розчиняють вміст у розчиннику і аналізують одним із методів. Методом тонкошарової хроматографії розділяють амінокислоти і барвники рослин, визначають активність ґрунтової фауни за продукцією амінокислот.

*Йонообмінна хроматографія* дає можливість після попереднього розподілення і послідовного вилучення компонентів суміші з розподільної колонки визначити вміст елементів з подібними хімічними властивостями, фотометричним, титриметричним чи іншим способами.

Цим методом виявляють загальну твердість води, вміст катіонів важких металів у воді, ґрунті, донних мулах. Йонна хроматографія забезпечує визначення понад 70 аніонів неорганічних і органічних кислот, катіонів лужних і лужноземельних металів у воді, продуктах, лікарських препаратах тощо.

*Молекулярно-ситову хроматографію* використовують для розділення речовин на основі різних розмірів їх молекул. У такий спосіб можна розділити, наприклад, мономерні і полімерні гідросокомплекси алюмінію, які у разі їх надлишкової кількості в природних водах мають різну токсичність і механізм дії на гідробіоти.

**Електрохімічні методи аналізу.** Їх сутність полягає в дослідженні електрохімічних властивостей проб. До них відносять потенціометрію, вольтамперометрію, кондуктометрію.

**Потенціометрія.** Вона охоплює методи, що передбачають вивчення хімічних процесів, які змінюються в результаті хімічних реакцій потенціалу електрода, зануреного у досліджувану суміш.

*Абсолютна потенціометрія* дає можливість виміряти потенціал  $E$  і за рівнянням Нернста обчислити концентрацію йона в речовині. Цей метод використовують для визначення рН природних і стічних вод за допомогою скляного електрода. Йоноселективні електроди забезпечують встановлення вмісту нітратів у рослинах і продуктах, концентрації катіонів натрію, калію, кальцію, магнію, міді, аніонів хлору, бромиду, йоду та ін.

*Потенціометричне титрування* використовується для аналізу забарвлених і каламутних середовищ, визначення в них різноманітних сполук. Потенціометричні біодатчики використовують для визначення концентрації пестицидів у складних багатокомпонентних системах.

**Вольтамперометрія.** Цю групу методів поділяють на два типи:

– полярографічний аналіз, що ґрунтується на процесі електролізу і вивченні залежності сили струму від прикладеної напруги. Цим методом у природних водах і ґрунтах визначають вміст цинку, кадмію, свинцю, міді з попереднім екстракційним відокремленням токсичних елементів - залишкову кількість свинцю у виноградному соці з чутливістю  $0,002 \text{ мг/дм}^3$ ; токсичні елементи в продуктах, повітрі, стічних водах; концентрацію вітамінів, ферментів, гормонів в організмі людини; діагностують захворювання;

– амперометричне титрування, яке дає можливість визначати аніони, для яких немає точних і швидких титриметричних методів:  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$  а також багато органічних сполук.

*Абсорбційна інверсійна вольтамперометрія* є методом визначення понад 40 катіонів металів, аніонів, органічних сполук (білків, ферментів, лікарських препаратів, пестицидів, стимуляторів росту тварин) у різних екологічних об'єктах.

*Кондуктометрію* (аналіз за електричною провідністю) використовують для визначення концентрації розчинених солей у питних водах і водах для теплообмінного обладнання (пряма кондуктометрія). Кондуктометричним титруванням встановлюють склад

сумішей кислот у водному і водно-органічному середовищах, катіони й аніони. Титруванням розчином  $\text{BaCl}_2$  визначають сульфати, хромати, оксалати, карбонати, цитрати; трилоном Б за різних значень рН аналізують суміші катіонів металів без попереднього їх розділення.

**Фізичні (інструментальні) методи аналізу концентрацій хімічних елементів (сполук) у довкіллі.** Це кількісні аналітичні методи, для виконання яких необхідна електрохімічна, оптична, радіохімічна та інша апаратура, а також методи, що ґрунтуються на емісії чи абсорбції випромінювання: фотометрія, спектральний аналіз, атомно-абсорбційний спектральний аналіз, мас-спектрометрія, метод ядерного магнітного резонансу.

*Фотометричний метод.* Він полягає у порівнянні оптичної щільності досліджуваної та контрольної рідини. Цим методом кількісно визначають понад 70 хімічних елементів, зокрема катіони лужних і важких металів у природних водах.

*Спектральний аналіз.* Метод є фізичним способом визначення складу та будови речовини за її спектром - упорядкованим за довжиною хвилі електромагнітним випромінюванням. Для збудження речовини використовують полум'я пальника, енергію електричної дуги, іскри. Спектральний аналіз дає можливість встановити елементний, нуклідний і молекулярний склад речовини, її будову (атомно-емісійний спектральний аналіз).

*Атомно-абсорбційний спектральний аналіз* ґрунтується на визначенні концентрації речовини за поглинанням шаром атомної пари елемента монохроматичного резонансного випромінювання. Цей метод характеризується універсальністю, простотою виконання аналізу і високою продуктивністю. Він дає можливість виявити велику кількість елементів у концентраціях 0,1-0,01  $\text{мкг/дм}^3$  і нижче. Метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу є принципом роботи багатьох аналізаторів. Так, атомно-абсорбційний аналізатор МГА-915 - спектрометр із земанівською корекцією - застосовують для елементного аналізу природних, питних і стічних вод, ґрунтів, біологічних проб повітря (за об'єму проби 40  $\text{мл}$  межі визначення окремих елементів становлять:  $\text{Zn}$  - 0,004,  $\text{Cd}$  і  $\text{Cr}$  - 0,03,  $\text{Si}$  - 0,07,  $\text{Pb}$  - 0,12  $\text{мкг/дм}^3$ ).

*Мас-спектрометрія* оснований на розділенні газоподібних йонів у магнітному полі залежно від відношення величини маси йона ( $m$ ) до його заряду ( $z$ ), яке впливає на інтенсивність сигналу. Особливістю методу є дослідження малих об'ємів проб і висока вибірковість. Застосовують його переважно для визначення відносних ізотопних мас та ізотопного вмісту елементів, а також відносних молекулярних мас і структури органічних речовин. Мас-спектрометрією виявляють у ґрунті надзвичайно небезпечну забруднювальну речовину - тетрахлордифенілдіоксин у концентрації  $10^{-6}$   $\text{мг/кг}$ .

*Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР)* відображає взаємодію магнітного моменту ядра молекули речовини із зовнішнім магнітним полем. Він дає можливість працювати у широкому діапазоні концентрацій, визначати, зокрема, вміст різних форм алюмінію та інших металів у природних водах і є дуже ефективним.

**Люмінесцентні методи аналізу хімічних речовин (сполук) у довкіллі.** Тривалий час у більшості екологічних, технологічних, біохімічних лабораторій домінували фотометричні методи. Однак зниження ГДК і необхідність виявлення забруднювальних і токсичних речовин у надзвичайно малих концентраціях зумовили широке впровадження методів люмінесценції, які мають високу селективність, дають змогу працювати з малими об'ємами, що зумовлює їх переваги над фотометричними методами. Репрезентують цю групу методів люмінесцентний аналіз, сортовий аналіз, хемілюмінесцентний аналіз.

Люмінесцентними методами аналізують природні й стічні води, повітря, ґрунт, продукти, виявляють нафтопродукти - до 0,005  $\text{мг/дм}^3$ ; феноли - до 0,0005; кадмій - до 0,0005; мідь - 0,05; у питній воді - свинець у концентрації до 0,005  $\text{мг/дм}^3$ ; бенз(а)пірен - до 0,00002  $\text{мг/дм}^3$  (ГДК цього забруднювача у повітрі населених пунктів - 0,0000001  $\text{мг/м}^3$ ).

*Люмінесцентний аналіз* ґрунтується на здатності речовин випромінювати світло під дією різних збудників: ультрафіолетового (УФ) випромінювання або видимого світла (фотолюмінесценція), розламування (тріболюмінесценція), енергії хімічної реакції (хемілюмінесценція), яка дуже поширена в живій природі: світяться окремі види моллюсків, ракоподібних, глибоководних риб, червів внаслідок взаємодії кисню з люциферином. Ця реакція каталізується ферментом люциферазою, а явище називають біоломінесценцією.



Деякі мінерали, наприклад флюорит  $\text{CaF}_2$ , світяться за дії на них ультрафіолетового випромінювання, що використовують для безконтактного пошуку корисних копалин, зокрема, нафти, виявлення плям нафти і нафтопродуктів на поверхні ґрунту чи водної поверхні Світового океану.

*Сортовий аналіз* застосовують для визначення якості зерна (свіже і зерно, що псується, світяться по різному в УФ-променях), різних видів палива, виявлення забруднень, сурогатів, підробок.

*Хемілюмінесцентний аналіз* оснований на здатності продуктів хімічних реакцій світитися, коли один з компонентів реакції опиняється у збудженому стані. Аналіз виконують за допомогою сумішей: люмінол + пероксид гідрогену (за  $\text{pH} > 8,5$ ); люцигенін + пероксид гідрогену ( $\text{pH} > 9$  - виникає блакитна люмінесценція); силосен + окисник ( $\text{pH} < 5,0$ , рожева люмінесценція). Каталізують ці реакції метали  $\text{Cr(III)}$ ,  $\text{Mo(VI)}$ ,  $\text{Hf(IV)}$ ,  $\text{Mn(II)}$  та ін. Інтенсивність люмінесценції прямо пропорційна концентрації каталізатора (швидкості хімічної реакції), тому хемілюмінесценцію застосовують у кінетичних методах аналізу. Метод дає можливість визначити метали у надзвичайно малих кількостях (до  $10^{-8}\%$ ).

Кількісний хемілюмінесцентний аналіз полягає у вимірюванні інтенсивності або кількості виділеного в хімічній реакції світла фотографічним методом та за допомогою хемілюмінесцентних фотометрів. Хемілюмінесцентним методом визначають наявність мастил, каучуків, вітамінів, бітумів. Це один з найчутливіших методів, який дає можливість виявити  $10 - 10^4$  мкг/мл речовини.

*Радіометричні методи аналізу концентрацій хімічних речовин (сполук) у довкіллі.* Основою їх є виявлення й вимірювання природної і штучної радіоактивності. Для кількісної характеристики радіоактивності послуговуються поняттями "абсолютна активність радіоактивних речовин", яку вимірюють у кюрі, і "питома активність" (радіоактивність одиниці маси речовини, тобто міри відносного вмісту радіонуклідів у досліджуваному зразку), яку виражають кількістю розпадів за хвилину або секунду і вимірюють у беккерелях.

За природною радіоактивністю можна кількісно визначити понад 20 хімічних елементів, зокрема уран, торій, радій, актиній. Калій можна виявити у воді у концентрації  $0,05$  моль/дм<sup>3</sup>. Природна радіоактивність вказує на наявність уранових руд, чим користуються під час їх пошуку за допомогою авіації та супутників.

Радіонукліди застосовують для виявлення пошкоджень у газопроводах, місцях витікання води з магістральних колекторів стічних і каналізаційних вод.

До радіометричних методів аналізу концентрації хімічних речовин належать такі:

– *активаційний аналіз* (опромінення нерадіоактивних елементів нейтронами, протонами та іншими високоенергетичними частинками, внаслідок чого вони набувають радіоактивності);

– *відносний метод аналізу* (опромінення за однакових умов досліджуваного зразка й еталона з відомим вмістом елемента, який є об'єктом дослідження. Часто зразок після опромінення розчинюють, концентрують його методами осадження, співосадження, екстракції, хроматографії і визначають активність продуктів розділення);

– *ізотопне розбавлення* (введення ізотопу елемента в аналізований розчин, що набуває активності; відтак цей елемент переводять в осад (екстрагують, хроматографують) і визначають активність розчину після його видалення. За різницею визначають активність осаду (екстракту, елюату) і обчислюють вміст компонента в зразку);

– *рентгеноспектральний аналіз* (ґрунтується на послабленні інтенсивності рентгівського випромінювання під час проходження крізь пробу. У рентгенофлуоресцентному аналізі на пробу діє первинне рентгівське випромінювання, під впливом якого виникає вторинне рентгівське випромінювання ч проби, характер якого залежить від якості та кількісного складу аналізованої речовини).

**Біологічні та біохімічні методи аналізу кількості хімічних речовин (сполук) у довкіллі.** Їх основою є дослідження реакцій рослин, тварин і мікроорганізмів на дію певного чинника. Зміни в організмах можуть стосуватися активності ферментів, проникності мембран, зміни інших органел клітини, окремих органів, систем, організму загалом, популяції, екосистеми.

Біологічні методи використовують під час дослідження стану довкілля (біоіндикація). Тест-об'єктами під час вивчення дії токсичних речовин (визначення ГДК і летальних доз), фармакологічного ефекту лікарських препаратів найчастіше бувають живі організми. Біологічні методи ефективні під час аналізу біологічно активних речовин: антибіотики аналізують за їх спроможністю зупиняти ріст мікроорганізмів; серцеві глікозиди здатні припинити роботу ізольованого серця жаби; накопичення фенольних сполук у листі рослин сигналізує про стресову ситуацію.

Здебільшого визначають активність ферментів, оскільки вони мають високу чутливість, вибіркочу дію, дають змогу численним хімічним реакціям у живому організмі відбуватися за звичайних умов (амілаза каталізує розщеплення вуглеводів, глюкозооксидаза - окиснення Д-глюкози).

Активність біохімічних каталізаторів залежить від багатьох чинників, оскільки вони мають білкову природу, а саме від рН середовища, наявності окремих катіонів металів, що можуть підвищувати чи знижувати їх активність, окисно-відновний потенціал тощо.

Коливання активності ферментів фіксують спеціальні електроди на підставі зміни концентрації субстрату чи метаболіту. Вивчення ферментних реакцій має велике значення під час дослідження функцій і виявлення концентрацій мікроелементів та інших біологічно активних сполук. Активність ферментів може бути тестом під час моніторингу забруднення довкілля деякими речовинами, зокрема важкими металами, що діють як ферментні отрути, кислотними оксидами тощо.

З метою контролю стану поверхневих природних вод використовують методи біотестування. Наприклад, зміна статичного стану п'явки медичної на динамічний; динаміка виживання та плодючості дафнії магна; біолюмінесценція окремих видів бактерій тощо є свідченням наявності різних забруднювачів.

Широкий вибір методів спостережень за рівнем забруднення природного середовища дає можливість цілісно оцінити стан довкілля і встановити найменші концентрації речовин у незабруднених об'єктах фонових районів і високі значення їх концентрацій за антропогенної дії протягом тривалого часу.

Але будь-які вимірювання супроводжуються тією чи іншою похибкою. *Похибка вимірювань* є характеристикою результату вимірювань і являє собою відхилення отриманого значення величини від її дійсного значення. Похибка вимірювань є результатом дії на засоби вимірювань та досліджувану величину несприятливих факторів (коливань температури, електромагнітних завад тощо), недосконалості методу та самого засобу вимірювань (неточності його початкового градування, нестабільності у часі тощо).

Розрізняють *випадкові* та *невраховані систематичні* похибки вимірювань.

*Систематичні* похибки спричинюються головним чином неправильними показаннями приладів чи помилковістю методу вимірювань, або ж постійним, але одностороннім зовнішнім впливом (наприклад, вимірювання температури термометром зі зміщеною нульовою точкою). Джерела систематичних похибок методу, зазвичай, визначають, проводячи контрольні вимірювання із застосуванням інших відомих методик. Систематичні похибки можуть бути усунені перевіркою приладів, удосконаленням методів вимірювань та внесенням поправок у результати вимірів.

*Випадкові* похибки є наслідком незначних неточностей, яких не уникнути під час встановлення приладів та зняття їх показань. Випадкові похибки завжди спостерігаються у разі вимірювань і пояснюються недосконалістю органів чуття експериментатора. Вони не підкоряються будь-якій певній закономірності і можуть мати як позитивне, так і негативне числове значення. Уникнути випадкових похибок неможливо, проте можна зменшити їх кількість, застосовуючи більш чутливі прилади, які мають шкали з малою ціною ділення, та пристрої, що підвищують точність відліку показів приладу, а також збільшуючи кількість вимірів тих самих величин за однакових умов проведення досліду. Випадкова похибка вимірювань характеризується розсіюванням (середнім квадратичним відхиленням) результату за повторних вимірювань з урахуванням заданого рівня довірчої ймовірності.

Математична теорія помилок вказує на системи, які дозволяють зменшити вплив похибок на кінцевий результат вимірювань і більш точно встановити його похибку. Застосовувати цю теорію можна тільки для випадкових похибок.

Величину похибки наближених значень прийнято оцінювати *абсолютною* та *відносною* похибками.

*Абсолютна* похибка наближеного значення деякої величини являє собою різницю між точним  $X$  та наближеним  $A$  значенням цієї величини:

$$\pm \epsilon = X - A.$$

*Відносна* похибка наближеного значення деякої величини — це відношення абсолютної похибки  $\pm \epsilon$  до точного значення  $A$  вимірюваної величини (у частках одиниці, відсотках тощо):

$$\delta = \pm \epsilon / X$$

або наближено:

$$\delta = \pm \epsilon / A.$$

*Точність вимірювань* характеризує якість спостережень і відображає близькість до нуля похибки їх результатів. Висока точність вимірювань відповідає малим складовим похибок усіх видів (як *випадкових*, так і *систематичних*).

Як відомо, кожне вимірювання, зазвичай, повторюють декілька разів, а потім обчислюють середнє арифметичне з усіх результатів, отриманих під час окремих вимірювань. Для остаточного оцінювання результатів вимірювань у цьому випадку необхідно користуватися висновками теорії випадкових помилок. Ця теорія дозволяє математично обґрунтувати *постулат середнього арифметичного*, який полягає в наступному: під час вимірювань однакової точності найбільш ймовірним значенням вимірюваної величини є середнє арифметичне з результатів, отриманих під час усіх вимірювань. Таким чином, середнє арифметичне є *точним* значенням вимірюваної величини, а лише *найбільш ймовірним* її значенням.

Мірою точності вимірювань є такі показники: *середня квадратична похибка вимірювань*, *ймовірна похибка вимірювань* і *середня похибка вимірювань*.

*Середня квадратична похибка вимірювань* визначається за

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots + \epsilon_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{n-1}},$$

де  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_n \dots$  - відхилення результатів окремих вимірювань від їх середнього арифметичного;  $n$  - кількість вимірювань.

*Ймовірна похибка вимірювань* визначається за формулою:

$$\rho = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{n-1}} = \pm \frac{2}{3} \sigma.$$

*Середньою похибкою окремого виміру* називають середнє арифметичне абсолютних величин всіх випадкових похибок цього ряду  $n$  вимірів. Середню похибку вимірів обчислюють за формулою:

$$\eta = \pm 0,8 \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{n-1}} = \pm 0,8 \sigma.$$

Для остаточного з'ясування точності вимірювань інколи визначають ще й похибку їх середнього арифметичного.

Під час підготовки до спостережень слід враховувати, що для зменшення випадкової помилки вимірювань деякої величини слід збільшувати кількість вимірювань цієї величини. Попередній аналіз точності вимірювань дозволяє правильно визначити методику і склад досліджень, обрати методи вимірювань та прилади.

Важливо також чітко розрізняти значення термінів *границя виявлення* та *чутливість* методу. *Границя виявлення* — це найменший вміст досліджуваного компонента, за якого за цією методикою можна визначити його присутність із заданою похибкою. Термін *чутливість* (який нерідко, але неправомірно використовують у разі обговорення нижньої межі вмісту, що визначається) характеризує зміну аналітичного сигналу, яка відповідає зміні концентрації речовини, що визначається. Іншими словами, границя виявлення характеризує мінімальний вміст речовини, який можна визначити за допомогою цього методу, а чутливість — мінімальну різницю між вмістами речовини, яку метод здатен "помітити" чи "відчути".

Під час вимірювання концентрацій, близьких до границі виявлення методу, отримують дуже великі похибки визначення, які швидко збільшуються у разі наближення концентрації до цієї границі. Проте, якщо шукана концентрація приблизно на порядок більша за цю границю, то похибки вже мало залежать від концентрації. Отже, перевагу слід надавати методам, границя виявлення яких щонайменше у 10-15 разів нижча за вимірювані концентрації. Особливо важливо, щоб обрана методика аналізу працювала за концентрацій компонента, що визначається, на рівні його гранично допустимої концентрації.

Терміни *селективність* і *специфічність* методу відображають ступінь стороннього впливу основного матеріалу проби на визначення досліджуваного компонента за цією методикою. При цьому специфічним для речовини називають гранично селективний метод, що не підпадає під сторонній вплив з боку інших речовин.

У деяких випадках велике значення мають багатокomпонентні методи, які дозволяють визначати одразу значну кількість компонентів (наприклад, атомно-емісійний та рентгенівський спектральний аналіз, хроматографія). Роль таких методів невпинно зростає. За інших рівних умов перевагу слід надавати методам прямого аналізу, тобто не зв'язаним з хімічною підготовкою проб, проте інколи така підготовка все ж таки необхідна. Наприклад, попереднє концентрування досліджуваного компонента дозволяє визначати менші його концентрації, усуває труднощі, пов'язані з неомогенним розподілом компонента у пробі та з відсутністю зразків для порівняння. У будь-якому випадку важливо уникати втрат досліджуваного матеріалу в процесі аналізу, тому перевагу слід надавати методам, які потребують мінімальної кількості стадій фільтрування, екстракції, відгону, перенесення з однієї посудини в іншу, дії високих температур тощо (до того ж методика виконання аналізу має бути достатньо чутливою та селективною).

Складність природних середовищ є причиною того, що завади, які виникають під час вимірювань концентрації однієї речовини у присутності інших, можуть призводити до істотних помилок. Більшість стандартних методик містять перелік таких проблем і способів їх усунення.

### Тема 3

## МЕТОДИ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

План:

1. Методологія експериментальних досліджень.
2. Обробка результатів експериментальних досліджень.
3. Методи графічної обробки результатів експерименту.
4. Аналітична обробка результатів експерименту.

### 1. Методологія експериментальних досліджень.

**Методологія експерименту** - це загальна структура (методика) експерименту, тобто постановка та послідовність виконання експериментальних досліджень.

Експеримент включає такі **основні етапи**:

- 1) розроблення плану - програми експерименту;
- 2) оцінку вимірювання та вибір засобів для проведення експерименту;
- 3) проведення експерименту;
- 4) обробку та аналіз експериментальних даних.

Наведена кількість етапів характерна для традиційного експерименту. Разом з цим останнім часом широко використовують математичну теорію експерименту, яка дозволяє значно підвищити точність та зменшити обсяг експериментальних досліджень.

У цьому випадку експеримент включає такі етапи: розроблення плану – програми експерименту; оцінку вимірювання та вибір засобів для проведення експерименту; математичне планування експерименту з одночасним проведенням експериментального дослідження, обробкою та аналізом одержаних даних.

Зупинимося дещо детальніше на окремих етапах експериментального дослідження.

**Розроблення плану-програми експерименту.** План-програма включає найменування теми дослідження, робочу гіпотезу, методику експерименту, план створення експериментальної ситуації, перелік необхідних матеріалів, приладів, установок, список виконавців експерименту, календарний план робіт і кошторис витрат на виконання експерименту. В ряді випадків до плану-програми включають роботи з конструювання та виготовлення приладів, апаратів, пристроїв, їх методичне обстеження, а також програми дослідних робіт на підприємствах.

Одним з найбільш важливих етапів складання плану-програми є визначення **мети і завдань експерименту**. Чітко обґрунтовані завдання – це вагомий внесок у їх вирішення. Кількість завдань повинне бути невеликим. Для конкретного (некомплексного) експерименту оптимальна кількість завдань 3 – 4. У великому комплексному експерименті їх може бути 8 – 10.

Основа плану-програми - **методика проведення експерименту**. В методиці детально проектують процес проведення експерименту. Спочатку складають послідовність (черговість) проведення операцій вимірювань та спостережень.

Потім ретельно описують кожну операцію окремо з урахуванням вибраних засобів для проведення експерименту. Особливу увагу приділяють методам контролю якості операцій, які повинні забезпечувати при мінімальній(раніше встановленій) кількості вимірів високу надійність та задану точність. Розробляють форми журналів для запису результатів вимірів та спостережень.

Важливим розділом методики є вибір методів обробки та аналізу експериментальних даних. Обробка даних зводиться до систематизації всіх цифр, класифікації, аналізу. Результати експериментів повинні бути зведені до таких форм запису – таблиць, графіків, формул, номограм, які дозволяють швидко та доброякісно співвідносити одержані результати.

Особливу увагу в методиці повинно бути приділено математичним методам обробки та аналізу одержаних дослідних даних – встановленню емпіричних залежностей, апроксимації зв'язків між варіюючими характеристиками, встановленню критеріїв тощо.

Після розроблення методики визначають **обсяг та трудомісткість експериментальних досліджень**, які залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня

точності прийнятих засобів вимірювання. Чим чіткіше сформульована теоретична частина дослідження, тим менший обсяг експерименту. На обсяг та трудомісткість експерименту істотно впливає і вид експерименту.

Після встановлення обсягу експериментальних робіт складають перелік необхідних засобів вимірювання, матеріалів, список виконавців, календарний план та кошторис витрат.

Не менш важливим є неодмінне розроблення в рамках плану-програми експериментального дослідження, так званого плану створення експериментальної ситуації.

**Експериментальна ситуація** – це сукупність умов, за яких проводиться експеримент.

План створення експериментальної ситуації завжди пов'язаний не лише з завданнями, методикою, але і з конкретним об'єктом, на якому потрібно вирішувати поставлені завдання та реалізовувати саму методику.

На завершення плану-програму експериментального дослідження розглядає науковий керівник, обговорюють в науковому колективі та затверджують в установленому порядку.

**Оцінка вимірювання та вибір засобів для проведення експерименту.** Обґрунтування засобів вимірювання – це вибір необхідних для спостережень та вимірювань приладів, обладнання, машин, апаратів тощо. Засоби вимірювання можуть бути вибрані стандартні або за їх відсутності виготовлені самостійно.

Дуже відповідальною частиною є встановлення точності вимірів та похибок. Методи вимірювання повинні базуватися на законах спеціальної науки – метрології.

**Проведення експерименту.** Проведення експерименту є найважливішим та трудомістким етапом. Експериментальні дослідження необхідно проводити у відповідності до затвердженого плану-програми і особливо методики експерименту. Розпочинаючи експеримент, остаточно уточнюють методику його проведення, послідовність випробувань.

**Обробка та аналіз експериментальних даних.** Завершується експеримент переходом від емпіричного вивчення до обробки отриманих даних, логічних узагальнень, аналізу і теоретичної інтерпретації отриманого фактичного матеріалу.

#### **Загальні вимоги до проведення експерименту**

При проведенні експерименту потрібно дотримуватися таких загальних вимог:

- об'єкт дослідження повинен допускати можливість опису системи змінних, що визначають його функціонування;
- потрібно мати можливість проведення якісних та кількісних вимірів факторів, які впливають на об'єкт дослідження, зміну його стану або поведінки під час експерименту;
- опис об'єкта експериментального дослідження потрібно проводити в системі його складових;
- потрібне обов'язкове визначення та опис умов існування об'єкта дослідження (галузь, тип виробництва, умови праці тощо);
- потрібно мати чітко сформульовану експериментальну гіпотезу про наявність причинно-наслідкових зв'язків;
- необхідне предметне визначення понять сформульованої гіпотези експерименту;
- потрібне обґрунтоване виділення незалежної та залежної змінних;
- потрібний обов'язковий опис специфічних умов діяльності об'єкта дослідження (місце, час, соціально-економічна ситуація тощо).

#### **Типові помилки в проведенні експерименту**

- 1 Сформульовані гіпотези не відбивають проблемну ситуацію, суттєві залежності у даного об'єкта.
- 2 Як незалежну змінну виділено фактор, який не може бути причиною, сталою детермінантою процесів, що відбуваються у даному об'єкті.
- 3 Зв'язки між залежною та незалежною змінною мають випадковий характер.
- 4 Допущено помилки в попередньому описі об'єкта, що призвело до неправильної емпіричної інтерпретації змінних і вибору неадекватних показників.

5 Допущено помилки при формулюванні дослідних і контрольних вихідних результатів експерименту, виявляється значна їх різниця, що викликає сумніви в можливості порівняти ці групи за складом змінних.

6 Важко підібрати контрольний об'єкт за однорідними або схожими з експериментальними параметрами.

7 При аналізі результатів експерименту переоцінюється вплив незалежної змінної на залежну без урахування впливу випадкових факторів на зміни в експериментальній ситуації.

### **Робоче місце експериментатора та організація експерименту**

*Робочим місцем експериментатора* називається частина робочого простору, на яке поширюється безпосередній вплив експериментатора в процесі дослідження.

*Робочий простір* – це частина лабораторного або виробничого приміщення, оснащена необхідними експериментальними засобами, що обслуговується одним або групою дослідників. Робочий простір може бути стаціонарним (в лабораторіях, науково-дослідних закладах, полігонах тощо); умовно-стаціонарним (у пересувних лабораторіях, на тимчасових полігонах); мобільним (у ходових лабораторіях).

*Лабораторія* являє собою спеціально обладнане приміщення, в якому проводяться експериментальні дослідження.

Дослідник (експериментатор) в лабораторії виконує відповідальну роботу, від якої залежить правильність вирішення теоретичної або практичної задачі в цілому. Точність при виконанні методики дослідження, акуратність, старанність при плануванні і підготовці експерименту, уважність при його проведенні – основні умови ефективності експериментальної роботи.

Особливе місце серед причин невдач експериментальних досліджень займають суб'єктивні, джерелами яких є психологічні або психофізіологічні причини. Наприклад, психологічними причинами похибок можуть бути психологічні бар'єри та інерційність мислення. Часто нові неочікувані результати експерименту дослідник намагається пояснити з позицій старих уявлень, і якщо вони не вкладаються в старі уявлення, то розглядаються ним як помилки та відкидаються. Тут має місце інерційність мислення, віра в досконалість та універсальність старих уявлень, іноді страх перед новим. Іноді дослідник у процесі аналізу результатів експерименту позасвідомо підганяє експериментальні дані, щоб підтвердити раніше висунуту гіпотезу. Іноді помилки в експерименті пов'язані з тим, що дослідник не уявляє чітко, що він має одержати у результаті експерименту.

Все це свідчить про необхідність ретельної підготовки експерименту та багаторазової перевірки його результатів. Розпочинаючи експеримент, дослідник повинен ще раз обдумати та уточнити методику, підготувати всю необхідну документацію (акти, лабораторні зошити, журнали), яка призначена для реєстрації ходу та результатів експерименту.

Обов'язковою вимогою до проведення експерименту є ведення журналу. Форма журналу може бути довільною, але найкраще відповідати процесу, що досліджується для максимальної фіксації всіх факторів.

У процесі експериментальних робіт необхідно строго дотримуватися вимог промислової санітарії, техніки безпеки, пожежної безпеки. Особливо ретельно потрібно виконувати ці вимоги при проведенні виробничих експериментів. Результати деяких лабораторних та більшості виробничих експериментів оформлюються протоколом, який підписується керівником виробництва та експериментатором. Якщо досліджуються люди, то протокол підписують і піддослідні.

## **2. Обробка результатів експериментальних досліджень.**

*Основи теорії випадкових помилок та методів оцінки випадкових похибок у вимірюваннях.*

Аналіз випадкових похибок базується на теорії випадкових помилок, яка дає можливість з визначеною гарантією обчислити дійсне значення вимірної величини та оцінити можливі помилки.

Основу теорії випадкових помилок складають такі *припущення*:

- при великій кількості вимірів випадкові похибки однакової величини, але різного знаку зустрічаються однаково часто;
- більші похибки зустрічаються рідше, ніж малі (випадковість появи похибки зменшується зі зростанням її величини);
- при нескінченно великому числі вимірів істинне значення вимірюваної величини дорівнює середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірів, а поява того чи іншого результату вимірів як випадкової події описується нормальним законом розподілу.

Вирізняють *генеральну та вибірккову сукупність вимірів*.

Під *генеральною сукупністю* розуміють всю множину можливих значень вимірів  $x_i$  або можливих значень похибок  $\Delta x_i$ .

Для *вибіркової сукупності* число вимірів  $n$  обмежене і у кожному конкретному випадку строго визначається.

Звичайно вважають, що якщо  $n > 30$ , то середнє значення даної сукупності вимірів  $\bar{x}$  достатньо наближається до його дійсного значення.

Теорія випадкових похибок дозволяє оцінити точність та надійність вимірів при даній кількості вимірів або визначити мінімальну кількість вимірів, що гарантує задану точність та надійність вимірів. Разом з цим виникає необхідність виключити грубі похибки ряду, визначити достовірність одержаних даних тощо.

Для великої вибірки та нормального закону розподілу загальною оціночною характеристикою вимірів є дисперсія  $D$  та коефіцієнт варіації  $K_v$ :

$$D = \sigma^2 = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] / n; \quad K_v = \sigma / \bar{x}. \quad (3.1)$$

Дисперсія характеризує однорідність вимірів. Чим вище  $D$ , тим більше розкид вимірів. Чим вище  $K_v$ , тим більше мінливість вимірів відносно середніх значень,  $K_v$  оцінює також розкид при оцінці кількох вибірок.

**Довірчим інтервалом** значень  $x_i$  є такий інтервал, в який потрапляє дійсне значення  $x_d$  вимірюваної величини із заданою імовірністю.

**Довірчою імовірністю (вірогідністю) ( $P_d$ )** вимірів називається імовірність того, що істинне значення вимірюваної величини потрапить до даного довірчого інтервалу, тобто в зону  $a \leq x_d \leq b$ . Ця величина визначається у частках одиниці або у відсотках.

**Довірчий інтервал характеризує точність вимірів даної вибірки, а довірча імовірність – достовірність виміру.**

Довірча імовірність визначається за допомогою інтегральної функції Лапласа, а довірчий інтервал визначається при  $n > 30$  за допомогою аргумента функції Лапласа, а при  $n < 30$  - за допомогою аргумента функції Стюдента.

Для проведення дослідів із заданою точністю та достовірністю необхідно знати ту кількість вимірів, при якій експериментатор буде впевнений у позитивному результаті. У зв'язку з цим одним із найперших завдань при статистичних методах оцінки є встановлення мінімального, але достатнього числа вимірів для даних умов. Завдання зводиться до встановлення мінімального обсягу вибірки (числа вимірів або спостережень)  $N_{\min}$  при заданих значеннях довірчого інтервалу та довірчій імовірності.

Для визначення  $N_{\min}$  може бути використана така послідовність розрахунків:

- 1) проводиться попередній експеримент з кількістю вимірів  $n$ , які становлять залежно від трудомісткості дослідів від 20 до 50;
- 2) розраховується середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  за формулою (3.1);
- 3) відповідно до поставлених завдань експерименту *визначається потрібна точність вимірів  $\Delta$  за формулою*



$$\Delta = \sigma_0 / \bar{x}, \quad (3.2)$$

де  $\sigma_0$  - середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення  $\sigma$ , яке дорівнює  $\sigma_0 = \sigma / \sqrt{n}$ .

4) встановлюється нормоване відхилення  $t$ , значення якого звичайно задається (залежить також від точності методу);

5) визначають  $N_{\min}$  за такою формулою:

$$N_{\min} = \sigma^2 t^2 / \sigma_0^2 = k_b^2 t^2 / \Delta^2, \quad (3.3)$$

де  $k_b$  – коефіцієнт варіації (мінливості), %;

$\Delta$  – точність вимірів, %.

При подальшому проведенні експерименту число вимірів не повинне бути меншим за  $N_{\min}$ .

У процесі обробки експериментальних даних слід виключати грубі помилки ряду. Однак перш ніж виключити той чи інший вимір, необхідно упевнитись, що це дійсно помилка, а не відхилення внаслідок статистичного розкиду. Найпростішим способом виключення із ряду виміру, що різко відрізняється від інших, є **правило трьох сигм**: розкид випадкових величин від середнього значення не повинен перевищувати

$$x_{\max, \min} = \bar{x} \pm 3\sigma. \quad (3.4)$$

Більш достовірним є метод, що базується на використанні довірчого інтервалу. Другим методом встановлення грубих помилок є метод, що базується на використанні критерію В.І. Романовського. Ці методи використовують за наявності малої вибірки.

**У випадку більш глибокого аналізу експериментальних даних рекомендується така послідовність:**

1) після одержання експериментальних даних у вигляді статистичного ряду його аналізують і виключають систематичні помилки;

2) аналізують ряд з метою виявлення грубих помилок та похибок: встановлюють підозрілі значення  $x_{\max}$  або  $x_{\min}$ ; визначають величину середньоквадратичного відхилення  $\sigma$ ; розраховують критерії виключення із статистичного ряду значень  $x_{\max}$  та  $x_{\min}$  (за допомогою одного з двох згаданих вище методів); виключають за необхідності із статистичного ряду  $x_{\max}$  та  $x_{\min}$  і одержують новий ряд із нових членів;

3) розраховують середньоарифметичне  $\bar{x}$ , похибки окремих вимірів  $(\bar{x} - x_i)$  та середньоквадратичне очищеного ряду  $\sigma$ ;

4) знаходять середньоквадратичне  $\sigma_0$  серії вимірів, коефіцієнт варіації  $k_b$ ;

5) при великій вибірці задаються довірчою імовірністю  $P_D = \varphi(t)$  або рівнянням значущості  $(1 - P_D)$  та за допомогою таблиць значень інтегральної функції Лапласа визначають  $t$ ;

6) визначають довірчий інтервал  $\mu_{cm}$ ;

7) встановлюють дійсне значення величини, що досліджується за формулою

$$x_D = \bar{x} \pm \mu_{cm}; \quad (3.5)$$

8) оцінюють відносну похибку результатів серії вимірів при заданій довірчій імовірності  $P_D$ .

### 3. Методи графічної обробки результатів експерименту.

При обробці результатів вимірів та спостережень широко використовують методи графічного зображення. Графічне зображення надає найбільш наочне уявлення про результати експерименту, дозволяє краще пізнати фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності змінних величин, що вивчаються, встановити наявність максимуму або мінімуму функції.

Для графічного зображення результатів досліджень, як правило, використовують систему прямокутних координат. Якщо аналізується графічним методом функція  $y=f(x)$ , то наносять в системі прямокутних координат значення  $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$ . Перш ніж будувати графік, необхідно знати хід (перебіг) досліджуваного явища. Як правило, експериментатор має орієнтовне уявлення про якісні закономірності та форму графіка з теоретичних досліджень.

Точки на графіку необхідно з'єднувати плавною лінією таким чином, щоб вона проходила найближче до всіх експериментальних точок. Якщо з'єднати точки прямими відрізками, то одержимо ламану криву. Вона характеризує зміну функції за даними експерименту. Звичайно функції мають плавний характер. Тому при графічному зображенні результатів дослідження слід проводити між точками плавні криві. Різке викривлення графіка пояснюється похибками вимірів. Якби експеримент повторили з використанням засобів вимірювання більш високої точності, то одержали б менші похибки, а ламана крива більше відповідала б плавній кривій.

Однак можуть бути і винятки, тому що іноді досліджуються явища, для яких у визначених інтервалах спостерігається швидка стрибкоподібна зміна однієї з координат. У таких випадках необхідно особливо ретельно з'єднувати точки кривої.

Іноколи при побудові графіка спостерігається різке віддалення однієї або двох точок від кривої. У цьому випадку спочатку потрібно проаналізувати фізичну сутність явища, і якщо немає підстав до стрибку функції, то таке різке відхилення можна пояснити грубою похибкою.

Часто при графічному зображенні результатів експерименту доводиться мати справу з трьома змінними  $b=f(x, y, z)$ . У цьому випадку використовують метод поділу змінних. Одній з величин  $z$  у межах інтервалу вимірів ( $z_1 - z_n$ ) надають кілька послідовних значень. Для двох інших змінних  $x$  та  $y$  будують графіки функцій  $y=f_i(x)$  при  $z_i = const$ . У результаті на одному й тому самому графіку одержують сімейство кривих  $y=f_i(x)$  для різних значень  $z$ .

При графічному зображенні результатів експерименту великого значення набуває вибір масштабів та координатної сітки.

**Координатні сітки** бувають рівномірні та нерівномірні. У рівномірних координатних сіток ординати та абсциси мають рівномірну шкалу.

Нерівномірна координатна сітка використовується для більшої наочності у випадках, коли функція має різко змінюваний характер. З нерівномірних координатних сіток найбільшого поширення набули **напівлогарифмічні, логарифмічні та імовірнісні**.

**Напівлогарифмічна сітка** має рівномірну шкалу на ординаті та логарифмічну шкалу на абсцисі.

**Логарифмічна координатна сітка** має на двох осях логарифмічні шкали.

**Імовірнісні координатні сітки** мають на ординаті, як правило, рівномірну шкалу, а на осі абсцис - імовірнісну шкалу.

Доцільність використання нерівномірної функціональної сітки пояснюється, крім вищезазначеного, бажанням представити функцію, що досліджується, у вигляді прямої, що підвищує точність побудови. При цьому здійснюється так зване вирівнювання, тобто криву, що побудована за дослідними даними, представляють лінійною функцією. Нехай, наприклад, для деякої емпіричної кривої підібрана функція типу  $y = ax^n$ . Процес вирівнювання буде таким. Наведений вираз перетворюється за допомогою логарифмування у вираз  $\lg y = n \lg x + \lg a$ . Якщо ми позначимо  $\lg y = y_1; \lg x = x_1; \lg a = a_1$ , то одержимо лінійну формулу  $y_1 = nx_1 + a_1$ , графіком якої буде пряма лінія.

Масштаб за координатними осями, як правило, використовують різний. Від його вибору залежить форма графіка – він може бути пласким (вузьким) або витягнутим (широким) вдовж осі. Вузькі графіки дають більшу похибку на осі ординат, широкі на осі абсцис. Правильно підібраний масштаб дозволяє підвищити точність відрахування. Розрахункові графіки, що мають екстремум функції або який-небудь складний вигляд, особливо ретельно потрібно креслити у зонах вигину. На таких ділянках кількість точок для накреслення графіка повинно бути істотно більшою, ніж на плавних ділянках.

У деяких випадках будують *номограми*, які істотно полегшують використання для систематичних розрахунків складних теоретичних та емпіричних формул у відповідних межах зміни величин.

*Номограма* (від грец. *nomos* – закон та *gramma* – риска, буква, писемний знак, зображення) – креслення, яке є зображенням функціональних залежностей, які використовуються для одержання (без розрахунків) приблизних розв'язань рівнянь.

#### 4. Аналітична обробка результатів експерименту.

У процесі експериментальних вимірів звичайно одержують статистичний ряд вимірів двох величин, які об'єднуються функцією  $y=f(x)$ . Кожному значенню функції  $y_1, \dots, y_n$  відповідає відповідне значення аргумента  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

На основі експериментальних даних можна підібрати алгебраїчні вирази, які називають емпіричними формулами. Такі формули підбирають лише у межах вимірних значень аргумента  $x_1 - x_n$ . Емпіричні формули мають тим більшу цінність, чим більше вони відповідають результатам експерименту. Досвід показує, що емпіричні формули є незамінними для аналізу вимірних величин. До емпіричних формул висувають дві основні вимоги – по можливості вони повинні бути найбільш простими та точно відповідати експериментальним даним у межах зміни аргументу. Таким чином емпіричні формули є приблизним виразом аналітичних. Заміну точних аналітичних виразів приблизними, більш простими називають апроксимацією, а функції апроксимуючими.

Процес підбору емпіричних формул складається з двох етапів. На першому етапі дані вимірів наносять на сітку прямокутних координат, поєднують експериментальні точки плавною кривою і вибирають орієнтовно вид формули. На другому етапі обчислюють параметри формул, які найкраще відповідали б прийнятій формулі. Підбір емпіричних формул необхідно починати з найбільш простих виразів.

Криві, що побудовані за експериментальними точками, вирівнюють за допомогою статистичних методів. Наприклад, методом вирівнювання, який полягає в тому, що криву, яку побудовано за експериментальними точками, представляють лінійною функцією. Для знаходження параметрів заданих рівнянь часто використовують метод середніх та найменших квадратів.

Для дослідження закономірностей між явищами (процесами), які залежать від багатьох факторів, використовують кореляційний аналіз.

У процесі проведення експерименту виникає потреба перевірити відповідність експериментальних даних теоретичним передумовам, тобто перевірити гіпотезу дослідження. Перевірка експериментальних даних на адекватність необхідна також у всіх випадках на стадії аналізу теоретико-експериментальних досліджень. У практиці адекватності використовують різні критерії: Фішера, Пірсона, Романовського.

*Елементи теорії планування експерименту.* Теорія математичного експерименту включає ряд концепцій, які забезпечують успішну реалізацію завдань дослідження. До них відносять *концепції рандомізації, послідовного експерименту, математичного моделювання, оптимального використання факторного простору* і деякі інші.

*Принцип рандомізації* полягає в тому, що до плану експерименту вводять елемент імовірності. Для цього план експерименту складають так, щоб ті систематичні фактори, які складно піддаються контролю, враховувалися статистично і потім виключалися в дослідженнях як систематичні похибки.

При *послідовному проведенні експерименту* виконується не одночасно, а поетапно, для того щоб результати кожного етапу аналізувати та приймати рішення про доцільність проведення подальших досліджень.

У результаті експерименту одержують рівняння регресії, яке часто називають *математичною моделлю процесу*. Для конкретних випадків математична модель створюється на основі цільової направленості процесу та завдань дослідження з урахуванням визначеної точності рішення та достовірності вихідних даних, яка звичайно проводиться за критерієм Фішера. В зв'язку з тим, що ступінь полінома, який адекватно описує процес, передбачити неможливо, спочатку намагаються описати явище лінійною моделлю, а потім, якщо вона неадекватна, підвищують ступінь полінома тобто проводять експеримент поетапно.

Важливе місце в теорії планування експерименту займають питання *оптимізації* процесів, що досліджуються якостей багатокomпонентних систем або інших об'єктів. Як правило, не можна знайти таке поєднання значень факторів впливу, при якому одночасно досягається екстремум всіх функцій відгуку. Тому в більшості випадків за критерій оптимальності вибирають лише одну зі змінних стану – функцію відгуку, що характеризує процес, а інші беруть прийнятними для даного випадку.