

ЛЕКЦІЯ №1
ВИДИ МОДЕЛЕЙ ТА ЇХ
КЛАСИФІКАЦІЯ

- 1. Моделювання як методологія пізнання
 - 1.1. Моделювання і споглядання
 - 1.2. Основні засади теорії подібності
 - 1.3. Аналогія. Екскурс в історію поняття
 - 1.4. Метод актуалізму
- 2. Вид и моделювання
 - 2.1. Предметне моделювання
 - 2.2. Знакове моделювання
- 3. Характеристики моделей
- 4. Особливості моделювання в екології
 - 4.1. Основні фактори що враховуються при екологічному моделюванні
 - 4.2. Принципи екологічного моделювання

1. Моделювання як методологія пізнання

1.1. Моделювання і споглядання

- **Поняття моделі.** Усяке пізнання, у тому числі наукове, починається з простого споглядання, у процесі якого накопичується емпірична інформація про об'єкт досліджень. Просте споглядання дає змогу описати зовнішні прояви феномену, за яким ведеться спостереження; проте цей спосіб пізнання рідко коли дозволяє проникнути глибоко в сутність речей, тобто зрозуміти природу й пізнати закономірності тих прихованих внутрішніх процесів, що спричиняють змін у форми існування об'єкта.

- З цих причин у випадку дослідження явищ природи і людського суспільства, що розвиваються за складними й заплутаними законами, просте споглядання не дозволяє зробити надійний довгостроковий прогноз поведінки об'єкта спостереження і його реакції на зовнішні впливи. Для глибокого пізнання таких явищ часто виявляється доцільним розкласти його, принаймні подумки, на окремі складові — прості субпроцеси — й вивчити властивості кожної з них окремо. Такий метод пізнання називають ***аналізом об'єкта***.

- З іншого боку, явище природи чи суспільства, розкладене на складові частини, вже не може бути тотожним самому собі через неодмінну втрату зв'язку між субпроцесами. Відповідно, одного аналізу об'єкта досліджень не досить для точного, детального передбачення законів його майбутнього розвитку. Для того, щоб вивчити явище (об'єкт) достатньою мірою, необхідно зрозуміти взаємини окремих його складових одне з одним, тобто знову з'єднати їх подумки в одне ціле і відтворити вихідне явище в цілому. Цю процедуру називають ***синтезом об'єкта досліджень*** .

- Якщо в процесі розчленовування об'єкта на прості субпроцеси знехтувати тією частиною з них, які не істотні для формування тих чи інших його характеристик, то після повторного синтезу ми одержимо вже новий об'єкт, що відрізняється певним чином від початкового об'єкта — так званого прототипу.

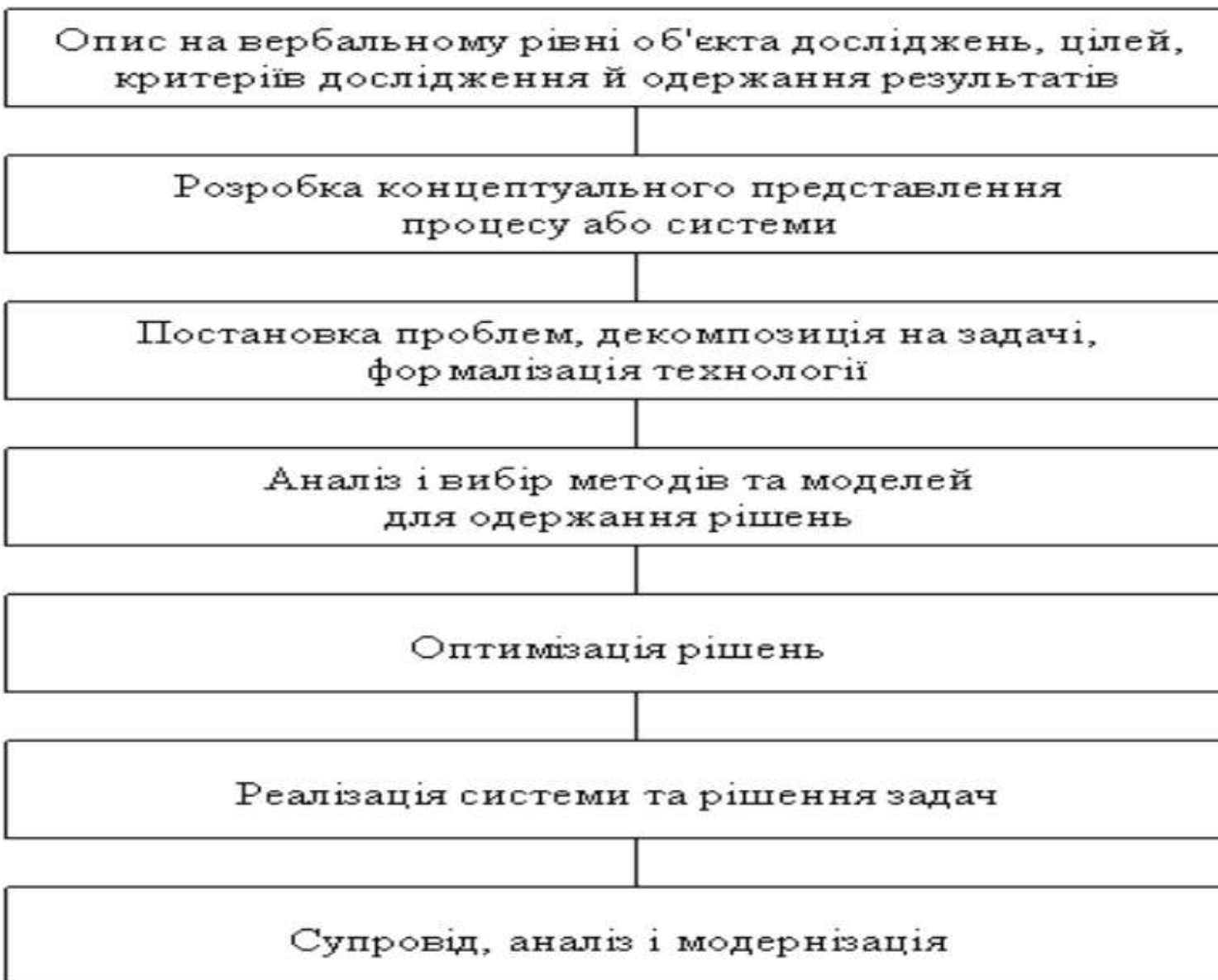
- Об'єкт пізнання,
отриманий у результаті
аналізу і синтезу об'єкта -
прототипу, називають
***моделлю об'єкта
дослідження*** .

- Очевидно, що модель завжди простіша за прототип, оскільки внаслідок розчленування його на компоненти частиною зв'язків і компонентів, що вважаються малозначними, свідомо нехтують, піклуючись лише про збереження найважливіших із них. Вивчивши властивості спрощеної моделі, переносять основні з них на об'єкт - прототип. Зіставляючи далі висновки досліджень моделі з результатами спостереження за прототипом, роблять відповідні висновки про адекватність (ступінь тотожності) моделі й прототипу, в разі потреби коригуючи модель за наслідками такого зіставлення.

- **Моделювання** — це метод дослідження реальних і абстрактних об'єктів -прототипів на умовних образах, схемах, фізичних об'єктах, що відрізняються від прототипу, але аналогічні йому за будовою чи типом поведінки, із застосуванням методів аналогії, теорії подібності й теорії обробки даних експерименту.

- Моделювання сьогодні є одним з головних способів, головною методологією пізнання людиною суті природних та суспільних явищ різного рівня складності. Цей метод набув повсюдного поширення у ХІХ -ХХ ст.; його можна зустріти в усіх галузях науки і техніки. Особливо широкого поширення він набув у зв'язку з розвитком обчислювальної техніки, що дала змогу створювати комп'ютерні моделі. Яскравим прикладом таких моделей є загальновідома "віртуальна реальність".

ПРОЦЕС МОДЕЛЮВАННЯ



1.2. Основні засади теорії подібності

- В основі методу моделювання лежать принципи подібності та математичної аналогії, що складають фундамент однойменних теорій. Говорять, що два явища подібні, якщо за відомими характеристиками або параметрами одного з них можна отримати відповідні характеристики іншого шляхом простого перерахунку, ґрунтованого на прямій пропорційній залежності.

- Такий перерахунок аналогічний перерахунку числових значень фізичних величин при переході від однієї системи одиниць фізичних величин до іншої, тому для доведення подібності процесів та обґрунтування методики отримання результатів моделювання часто використовують уявлення теорії розмірності.

- Розглянемо основні положення цієї теорії.
- Найважливішими поняттями теорії розмірності є поняття розмірних і безрозмірних величин.
- Фізичну величину називають розмірною, якщо її числове значення залежить від вибору основних величин та їх одиниць, що утворюють дану систему одиниць фізичних величин.

- Така залежність з'являється, зокрема, тоді, коли числове значення даної фізичної величини отримують шляхом порівняння її розміру з розміром відповідної одиниці, що входить до складу системи. Прикладами розмірних фізичних величин є довжина, час, маса тощо. Величини такого типу вимірюють в абсолютних одиницях — відповідно, в метрах, секундах, кілограмах тощо.

- Кожна розмірна величина має свою власну розмірність - характеристику, що відображує якісний зв'язок її одиниці з основними одиницями даної системи одиниць фізичних величин.

- Величини, значення яких принципово не залежать від вибору основних величин та їх одиниць, називають *безрозмірними*.

- Безрозмірні величини вимірюють у так званих відносних одиницях або їх частках — відсотках, проміле, тощо. Безрозмірними величинами є, наприклад, відношення двох однойменних за розмірністю величин. Зокрема, такою величиною є вагова концентрація — вагова частка певної речовини у даному її розчині. Безрозмірні величини також можуть бути утворені як деяка комбінація певних ступенів декількох (трьох і більше) величин різної розмірності.

- Оскільки значення безрозмірних величин не залежать від вибору системи одиниць, то найкраще закономірності процесів аналізувати саме у безрозмірній формі. Обґрунтуванням цього підходу служить так звана пі-теорема Букінгема. Згідно з нею, зв'язок між n розмірними величинами, незалежний від вибору системи одиниць вимірювань, може бути поданий у формі $n - k$ безрозмірних комбінацій розмірних величин, де k — число незалежних розмірностей.

- Зокрема, якщо число основних величин у даній системі одиниць дорівнює числу незалежних величин ($a_1, a_2, \dots, a_n$), що визначають шукану величину X , то така залежність визначається на основі теорії розмірності у вигляді формули:

$$X = C a_1^{\xi_1} a_2^{\xi_2} \dots a_n^{\xi_n}$$

де безрозмірна величина C визначається або теоретично, або експериментально, а показники розмірності $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, n знаходять з умови, що розмірність правої частини рівняння збігається з розмірністю лівої.

- 
- Для доведення подібності процесів досить показати, що всі незалежні безрозмірні комбінації характеристик одного з них дорівнюють аналогічним комбінаціям характеристик іншого.
 - Система всіх незалежних безрозмірних комбінацій характеристик процесу складає базу процесу. Отже, для доведення подібності процесів необхідно і достатньо довести тотожність числових значень безрозмірних комбінацій, як і утворюють базу. Тому такі комбінації називають критеріями подібності.
- 
- 
- 
- 

- Наведемо наступний приклад.
- При детермінованій постановці задачі повний математичний опис динамічної системи, тобто системи, здатної безперервно змінюватися, розвиватися, дається у вигляді системи диференціальних рівнянь, що можуть доповнюватися умовами однозначності (граничними та початковими умовами, умовами розподілення параметрів, тощо). Умови однозначності виділяють одну конкретну задачу із множини еквівалентних задач, що відображають процеси даного типу.

- В такому випадку математична подібність моделі та прототипу передбачає можливість досягнення повної тотожності відповідних диференціальних рівнянь і умов однозначності, що описують ці два процеси, шляхом помноження всіх величин, характеристик процесів, на певні масштабні коефіцієнти, так, щоб у наслідку отримані рівняння й умови не містили жодної розмірної величини. Про можливість досягнення такої тотожності говорять як про ізоморфізм систем диференціальних рівнянь й умов однозначності подібних процесів.

1.3. Аналогія. Екскурс в історію поняття

- Термін "аналогія " у перекладі з грецької означає подібність предметів або явищ у яких -небудь властивостях. Це поняття було введене Аристотелем. Аристотель розглядав її спочатку як функціональну і морфологічну подібність органів у різних організмів. Пізніше Евклід визначив аналогію як подібність відносин.

- Аналогія дозволяла робити умовиводи там, де логіка виявлялася неспроможною на це через брак достовірних знань. Вона давала поштовх інтуїції, яка допомагає проникненню думки в сферу незвіданого і стає підґрунтям для наукових відкриттів. Демокрит і Левкіп намагалися зрозуміти структуру макрокосму, тобто Всесвіту, проводячи аналогію між ним і мікрокосмом (зокрема спостерігаючи рух порошин у повітрі); Стробон зробив висновок про рухливість земної кори, про те, як піднімаються й опускаються материки, спостерігаючи за припливами і відливами, зникненням і появою острівців.

- Пізніше Аристотель і Платон поділили аналогію на якісну і кількісну.
- ***Якісна аналогія*** — це подібність будови і функцій органів у рослин і тварин.
- ***Кількісна аналогія*** — це подібність відносин, зв'язків.

- Широке поширення метод аналогії одержав у епоху Відродження. Мікеланджело й інші італійські архітектори широко використовують моделі споруд. Галілео Галілей і Леонардо да Вінчі у своїх теоретичних роботах не тільки користуються моделями, але й з'ясовують межі їх застосовності.

- Вагомий внесок у теорію моделей, а саме — в розробку логічних основ моделювання і теоретичного обґрунтування застосовності моделей вніс І. Ньютон, який став користуватися цим методом для потреб науки і техніки вже цілком свідомо. Так Ньютон, вивчаючи механічний рух тіл, застосовував аналогію для відкриття закону подібності механічного руху, поширивши метод моделювання не тільки на просторові, але і на часові відносини.

- Таким чином, ще в античні часи та у середньовіччі були встановлені, вироблені правила переносу інформації з аналога на оригінал (прототип). Зокрема, наявність подібності в тому чи іншому вигляді визнавалася як підстава для переносу інформації з моделі на прототип.
- Відзначимо, що метод аналогії здебільшого дає інформацію гіпотетичного характеру. Достовірні знання одержують на цьому шляху тільки в математиці, тобто для абстрактних об'єктів (метод повної математичної індукції).

1.4. Метод актуалізму

- Метод актуалізму полягає в перенесенні результатів спостереження над сьогоdnішніми об'єктами на аналогічні або тотожні об'єкти в минулому. Основу цього методу заклав Лайль. Він вивчав можливість перенесення результатів спостереження над геологічними процесами в сьогоdnенні на геологічні явища в минулому. Розвиваючи цей напрямок, Лайль дійшов висновку, що об'єкт може бути визнаний моделлю оригіналу тільки при наявності таких умов:
 - — проведення аналогії;
 - — для зменшених копій;
 - — для уявного експерименту;
 - — установлення подібності процесів (подібності відносин у процесах).
- Об'єкт, тотожний оригіналу, не можна назвати моделлю.

2. Види моделювання

Класифікацію моделей та видів моделювання ведуть кількома шляхами:

— за ознаками моделей;

— за ознаками оригіналів;

— за рівнями моделювання (мікросвіт, макросвіт тощо);

- та іншими ознаками.

- Зокрема, за ознаками моделей розрізняють, у першу чергу, предметне та знакове моделювання.

Класифікація моделей



2.1. Предметне моделювання

- ***Предметне моделювання*** — це вивчення властивостей оригіналу на конкретній матеріальній моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості оригіналу.

Різновидами
предметного
моделювання є:

аналогове
моделювання;

фізичне
моделювання.

- ***Аналогове моделювання*** — це вид предметного моделювання, заснований на використанні аналогії (точніше — ізоморфізмі) явищ, що мають різну фізичну природу, але описуються однаковими математичними рівняннями.

Приклади аналогового моделювання:

а) наочне моделювання коливальних процесів, що відбуваються в електричному коливальному контурі, на прикладі математичного маятника, що рухається у в'язкому середовищі;

б) моделювання особливостей процесу теплопровідності шляхом його імітації дифузійними процесами;

в) дослідження законів розвитку популяцій вищих організмів на основі вивчення закономірностей розмноження колоній мікроорганізмів, комах, гризунів тощо.

- ***Фізичне моделювання*** — це вид предметного моделювання, заснований на вивченні моделі, що має однакову фізичну природу з оригіналом.

- В основі фізичного моделювання лежить теорія подібності. Цей вид моделювання широко застосовується в екології, коли в силу тих чи інших причин не можна проводити експерименти в природних умовах, тобто на оригіналі. (Наприклад, неприпустимо визначати ГДК речовин в експериментах на людині; спостереження за рибами в акваріумі обходиться набагато дешевше, ніж підводний дослідницький комплекс у річці чи озері).

Приклади предметного моделювання:

а) випробування зменшених моделей літаків, автомобілів тощо в аеродинамічній трубі;

б) застосування тераріумів, акваріумів, штучних басейнів тощо для вивчення закономірностей розвитку популяцій тих чи інших живих організмів, взаємин між ними, впливу на них різноманітних чинників.

2.2. Знакове моделювання

- **Знакове моделювання** — це моделювання на знакових утвореннях: схемах, графіках, кресленнях, аналітичних формулах, графах, словах і реченнях природних та штучних мов.
- **Знакова модель** — це абстрактний опис того чи іншого конкретного явища, який дозволяє виявити ключові процеси, що визначають поведінку певної системи та її характеристики на різних рівнях організації, і прогнозувати ті чи інші тенденції розвитку явища, залежно від точності моделі.

Найважливішими різновидами знакового моделювання є:

математичне
моделювання;

стохастичне
моделювання;

графічне
моделювання.

- **Математичне моделювання**
здійснюється засобами математики і логіки, у тому числі за допомогою ЕОМ, і призначене для імітації або оптимізації явищ і процесів, що мають детермінований (визначений) характер. Логіко -математичні моделі можуть бути подані у вигляді програми для ЕОМ.

- ***Стохастичне моделювання***
базується на застосуванні апарату теорії ймовірності та математичної статистики і використовується для аналізу складних явищ, що мають випадковий характер. Мета стохастичного моделювання — вивчення імовірнісних характеристик таких явищ.

- **Графічне моделювання** будується на застосуванні різноманітних схем, графіків, креслень для надання моделям наочності.
- **Уявне моделювання** не використовує чітких знакових систем, а оперує модельними образами. Воно є неодмінною умовою будь-якого пізнавального процесу на початковій його стадії.
- Єдину класифікацію знакових моделей ввести важко внаслідок розмаїття їх ознак.

За рівнем формалізації розрізняють:

а) неформалізовані (прості) знакові моделі:

— уявні;

— словесні;

— графічні;

б) формалізовані знакові моделі:

— математичні;

— стохастичні та статистичні.

- Прості неформалізовані моделі можуть давати тільки якісний прогноз (прогноз тенденцій).
- Формалізовані моделі дають кількісний, а тому більш надійний прогноз.
- Наприклад, чисельність популяції комах одного певного виду прогнозується досить просто, що дозволяє одержувати певну економічну вигоду від використання формалізованих моделей, наприклад, якщо мова йде про комах - шкідників.



За способом
побудови
моделі
поділяють
на:

- а) статистичні, засновані на математичній обробці масиву статистичних даних з метою встановлення неперервних інтерполяційних просторово - часових залежностей контрольованих параметрів без виявлення причин тих їх змін, що спостерігаються;
- б) балансові, в яких шляхом формалізації явища розраховуються зміни кількості речовини або енергії на виході системи залежно від зміни вхідних параметрів і властивостей самої системи.



За метою
побудови
моделі
поділяють на:

- а) імітаційні, метою яких є прогнозування змін у системі, спровокованих заданими початковими впливами, або просте споглядання за динамікою розвитку екологічного процесу;
 - б) оптимізаційні, метою яких є визначення оптимальних значень вхідних параметрів системи та необхідних антропогенних впливів, що забезпечують досягнення бажаних змін у системі-прототипі.
- 

За рівнем
деталізації
умов
існування
системи
вирізняють:

а) статичні та стаціонарні моделі (для незмінних у часі умов);

б) динамічні моделі (для систем, що розвиваються);

в) моделі з розподіленими параметрами (для систем з неоднорідними умовами існування);

г) моделі із зосередженими параметрами (для вивчення інтегральних характеристик систем).

3. Характеристики моделей

Моделі оцінюють за такими параметрами:

а) реалістичність — ступінь якісної адекватності математичної моделі екологічному об'єкту, що описується нею; тобто ця характеристика показує, наскільки якісні властивості даного математичного твердження відповідають словесному опису екологічного об'єкта;

б) точність — здатність моделі прогнозувати кількісні зміни в системі або відтворювати (імітувати) дані, на яких вона будується;

в) загальність — діапазон застосовності моделі для опису різних за змістом екологічних об'єктів, явищ і ситуацій.

4. Особливості моделювання в екології

Моделювання є одним з головних засобів пізнання в екології. На цей час тут широко використовуються такі методи, як:

— натурно -експериментальне моделювання;

— математичне (у тому числі числове) моделювання;

— системне моделювання.

- Першими математичними моделями були роботи В. Вольтерра й А. Лоткі: математична теорія динаміки популяцій, модель "хижак — жертва" (20 -і — 30-і роки ХХ ст.). У 50 -і роки Е. Кернер створює так звану "статистичну механіку біологічних асамблей" (для склад них біоценозів з великим числом взаємодіючих видів). Надалі у зв'язку з великими труднощами математизації складних біологічних і екологічних об'єктів були взяті на озброєння методи кібернетики (системне моделювання).

4.1. Основні фактори, що враховуються при екологічному моделюванні

- Основні фактори, що враховуються при моделюванні екологічних систем, можна розділити на такі дві групи:
- а) фактори зовнішнього впливу :
 - — кліматичні зміни (температура, опади тощо);
 - — антропогенне втручання і таке ін.;
- б) внутрішні фактори :
 - — конкуренція;
 - — паразитизм;
 - — хижацтво;
 - — захворюваність та її поширення;
 - — трофічні ланцюги.

При цьому потрібно враховувати, що вплив таких факторів характеризується наявністю:

ефекту
запізнення;

кумулятивного
ефекту;

граничних
ефектів.

- Як правило, математичний опис впливу факторів зв'язаний з великою кількістю взаємозалежних змінних, зв'язаних між собою нелінійними співвідношеннями, що сильно ускладнює задачу і вимагає застосування ЕОМ.

4.2. Принципи екологічного моделювання

- При побудові моделей екологічних процесів застосовують такі основні принципи:

- **1) Принцип системності**
- Внаслідок пересиченості екосистем зв'язками екологічні об'єкти являють собою єдину систему. З цієї причини в екології виявилось необхідним злиття методів системного аналізу і математичного моделювання. Це призвело до створення інтегрального методу системного моделювання — вищого етапу в розвитку екологічного моделювання.
- Принцип системності полягає в усвідомленні цілісності об'єктів світу, їхньої стійкості, взаємодії із зовнішнім світом тощо; інший аспект цього принципу — динамічна багатогранність, єдність якості й кількості, теорії та практики.

- ***2) Принцип єдності структурності та ієрархічності***
- Фундаментальна риса екосистем — наявність у них складних ієрархічних структур. Звідси випливає вимога єдності структурності й ієрархічності системних екологічних моделей. Відповідно виникає проблема структурування моделі, тобто виділення істотних підсистем і елементів із сукупності всіх зв'язків і компонентів.
- Звичайно систему організують найбільш залежні одне від одного елементи (підсистеми). Інші впливають на поведження системи слабко, а через їхню велику кількість їх можна розглядати як інтегровані зовнішні чи внутрішні фактори впливу.

- **3) Принцип багатомодельного опису**
- Через динамізм і складність екологічних об'єктів, що виникають у результаті множинності мети антропогенного втручання, на сьогодні немає можливості побудови єдиної теорії соціоекосистеми в класичному розумінні, тобто як дедуктивної моделі, з якої можна вивести всі можливі наслідки. Тому наука йде по шляху створення множинних взаємодоповнюючих моделей.

- **4) Принцип єдності формалізованого і неформалізованого опису**
- Досвід перших глобальних моделей розвитку світової соціоекосистеми, побудованих за замовленням Римського клубу, показав: єдиного формалізованого (математичного) опису недостатньо для адекватного моделювання соціоекосистеми. Для цього необхідно враховувати неформальні фактори і доповнювати формалізований опис (з позицій історичного, психологічного та ін. підходів) неформалізованим описом.

- **5) Принцип визнання фундаментальності екологічних процесів**
- Екологічні процеси неможливо звести до простої сукупності біологічних, фізичних, економічних процесів, оскільки всі вони тісно переплетені між собою. У цьому переплетінні виникають нові, екологічні закономірності. Звідси випливає самотійна значимість екологічних цінностей.

- **6) Принцип єдності теорії та практики**
- Благополуччя соціоекосистеми, частиною якої є Людина, має для неї найважливіше значення. Тому екологія є не тільки фундаментальною, але і прикладною наукою, що поєднує пізнання екологічних закономірностей із практичним їхнім застосуванням у повсякденній діяльності Людини. Ця єдність виражається у вигляді принципу: "Не тільки дивися і думай — роби".
- Значення моделювання в екології дуже велике. За допомогою моделювання одержують можливість оцінювання потенційних наслідків застосування різних стратегій оперативного керування, впливу на екосистему, користування природними ресурсами (біотичними й абіотичними), оптимізації екосистем. Моделювання дозволяє глибоко проникнути в сутність явищ, зрозуміти їхню справжню природу.