

Методологія системних досліджень якості середовища

ЛЕКЦІЯ №2



Система та її властивості

Система – будь-який об'єкт, цілісні властивості якого є результатом взаємодії його складових. У цьому визначенні у неявній формі є платонівське положення, що ціле є чимось більшим, аніж сума його частин. Причому якісно нові особливості цілого у порівнянні з його складовими є результатом взаємодії елементів системи між собою. Водночас система є якісно новим, своєрідним утвором у порівнянні з її елементами. В цьому знаходить свій прояв принцип емерджентності.



Принцип емерджентності

- При дослідженні ієрархічної організації систем у процесі об'єднання компонентів, чи підмножин, у більшій одиниці з'ясовується, що у них з'являються нові властивості, які не притаманні попередньому рівню організації. Такі якісно нові, емерджентні властивості неможливо передбачити, виходячи з властивостей компонентів, що складають цей рівень організації. Так, властивості молекул безпосередньо не впливають з властивостей атомів, що входять до їхнього складу. Щодо екологічних систем, то їхні властивості також неможливо передбачити, виходячи з нижчих рівнів організації.

-
- Емерджентні властивості саме й обумовлені взаємодією компонентів при формуванні системи певного рівня організації. На рівні популяції емерджентними будуть: її структура (статева, генетична, розмірно-вікова тощо), тип розподілу організмів у просторі, народжуваність, смертність, біотичний потенціал, тип динаміки чисельності (щільності) тощо. На рівні угруповання – типи міжпопуляційних взаємин, трофічні ланцюги і мережі, видове різноманіття тощо. На екосистемному – характер біогеохімічних колообігів, особливості трансформації речовини і енергії, енергетичний баланс екосистеми, екологічні сукцесії, флуктуації, трансформації, спряженість речовинно-енергетичних та інформаційних процесів тощо.

Склад, структура і зовнішнє середовище системи

Розглянемо деяку систему S_0 . Вона характеризується певним складом $X = (X_1, X_2, X_3)$, структурою $\Sigma = (\delta^1, \delta^2, \delta^3, \delta^4)$ і функціонує у зовнішньому середовищі $V = (X_2, X_5)$ (рис. 2.1)

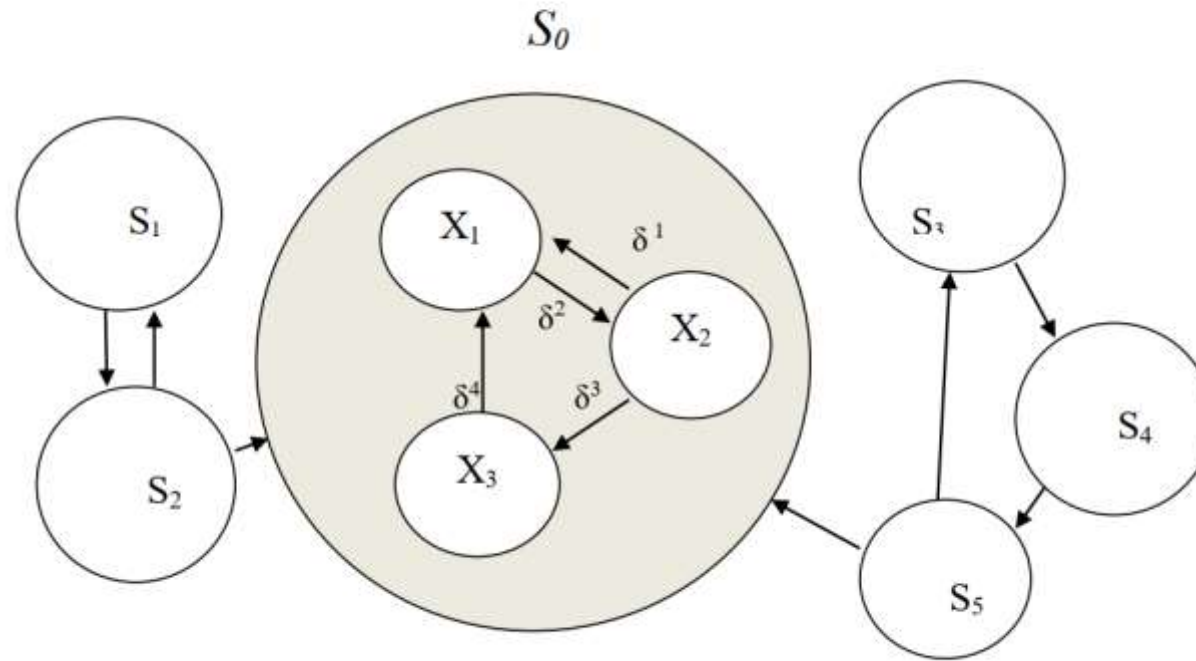


Рис. 2.1. Склад, структура і зовнішнє середовище системи

Елементи, що входять до складу системи, позначаються символами X_1, X_2, \dots, X_n , де n – кількість елементів. Множина

$$X = \{ X_1, X_2, \dots, X_n \},$$

що складається з усіх внутрішніх елементів, називається складом системи S .

Елементи X_1, X_2, \dots, X_n пов'язані між собою різноманітними зв'язками, які зветься системоутворюючими, оскільки саме вони перетворюють набір елементів у цілісну систему.

Сукупність усіх зв'язків між елементами системи називається її структурою (Σ):

$$\Sigma = \{ \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r \}.$$

Кожна система існує у зовнішньому (для неї) середовищі V :

$$V = \{ S_1, S_2, \dots, S_k \}.$$

Сукупність усіх систем, що знаходяться в безпосередніх зв'язках з даною системою, є зовнішнім середовищем системи S :

$$V = S_1, S_2, \dots, S_k;$$

де k – кількість систем, що безпосередньо пов'язані з даною системою.

Склад, структура і зовнішнє середовище можуть змінюватися з плином часу, що можна записати таким чином:

$$\begin{aligned} V &= V(t) = \{S_1(t), \dots, S_k(t)\}, \\ X &= X(t) = \{X_1(t), \dots, X_n(t)\}, \\ \Sigma &= \Sigma(t) = \{\sigma_1(t), \dots, \sigma_r(t)\}. \end{aligned}$$

Функцією системи S називається закон (сукупність правил) F , згідно якого в залежності від зовнішніх факторів $V(t)$ відбуваються зміни у часі складу $X(t)$ та структури $\Sigma(t)$ системи S .

Таким чином, системою $S(t)$, що функціонує у зовнішньому середовищі $V(t)$, зветься об'єкт

$$S(t) = S(X(t), \Sigma(t), V(t), F)$$

утворений елементами множини $X(t) = \{X_1(t), \dots, X_n(t)\}$, які пов'язані між собою певними зв'язками, що утворюють структуру $\Sigma(t)$ системи S .
Склад і структура системи, у залежності від змін у зовнішньому середовищі $V(t)$, змінюються з плином часу згідно закону F .

Закон функціювання системи

Як склад $X(t)$, так і структура $\Sigma(t)$ системи $S(t)$ змінюються з часом згідно функції F , яка і називається *законом функціювання системи*. Таким чином, *закон функціювання системи* – це сукупність залежностей, згідно яких, у залежності від змін у зовнішньому середовищі $V(t)$ відбуваються зміни складу $X(t)$ та структури $\Sigma(t)$ системи.

-
- Саме у такому вигляді має бути представлений об'єкт, який вивчається на засадах системного підходу. Це уможлиблює вивчення структурно-функційних особливостей складних систем, а також прогнозування їхнього стану в часі і просторі. Власне екологічне прогнозування, по суті, зводиться до знаходження функції F у залежності від змін зовнішнього середовища, в тому числі, обумовлених діяльністю людини. Слід відразу зазначити, що екологічні системи змінюються не лише під впливом змін у зовнішньому середовищі, а й мають свою внутрішню логіку власного розвитку, що також необхідно враховувати як при оцінках стану екосистем, так і при прогнозуванні подальших змін у них. У першу чергу, це стосується розвитку екосистем (екологічних сукцесій) та їх циклічних змін (флуктуацій) (річних, сезонних, добових тощо).

-
- Щодо методології дослідження процесів та явищ в екології, то, як і в кожній науці, можна виокремити два основні підходи – холістичний і мерологічний. Дискусії, який з підходів є більш адекватним в екології не вщухають, проте відразу слід зауважити, що кожен із них має свої особливості, проте лише органічне їх поєднання дозволяє отримати найбільш повну і необхідну екологічну інформацію.

Холістичний і мерологічний підходи в екології



-
- Мерологічний підхід (від грецького *meros* – частина, міра) істотно домінує в науці ще з часів Ісаака Ньютона (він відомий також як “редукціонізм”). Ще й зараз багато хто з учених вважає, що для того, щоб пізнати складний об’єкт, його необхідно “розібрати” на складові і дослідити їхні особливості. Так, до останнього часу великі надії на пізнання життя покладали на молекулярну біологію і молекулярну генетику. Редукціонізм, що приніс безліч відкриттів у фізиці, хімії та деяких інших природничих науках, виявився практично неспроможним пояснити найбільш фундаментальні особливості живої матерії, її специфіку. Це стосується і екологічних проблем.

Холістичний підхід (від грецького holos – цілий, цілісний) відомий також як принцип “чорної скриньки”. Остання назва пояснює суть підходу: вивчається реакція-відповідь об’єкта (системи) на певний вплив (тобто функція відгуку) без з’ясування внутрішньо системних механізмів формування цієї реакції. Особливе місце холістичного підходу обумовлене традиційним домінуванням редукціонізму.



В екології вельми вдалими прикладами застосування холістичного підходу може слугувати дослідження енергетичного балансу екосистем.

Зокрема метод світлих і темних склянок, за допомогою якого встановлюють чисту і валову продукцію та загальну деструкцію екосистеми за певний проміжок часу. Вивчення енергетичного балансу екосистеми за добовою динамікою кисню чи вуглекислоти також дає інформацію про всі складові енергобалансу, навіть не розглядаючи “дійових осіб» та «виконавців” цього процесу.

Ясна річ, що найбільш цінну інформацію, яка не лише дає величини окремих параметрів, але і дозволяє з'ясувати механізми, що лежать в основі формування тих чи інших параметрів, можна отримати лише шляхом вдалого органічного поєднання холістичного та мерологічного підходів.



-
- При цьому на основі холістичного підходу одержують загальні параметри екосистемних процесів (що практично неможливо на засадах мерологічного підходу), а вже з'ясування механізмів окремих процесів досягається на основі мерологічного підходу. Так, вивчивши складові енергетичного балансу будь-якої екосистеми, необхідно з'ясувати, внесок яких популяцій найбільш істотний у продукційно-деструкційні процеси.

-
- Вивчення впливу певного забруднення на екосистему в цілому можливе виключно на холістичному рівні – визначення змін продукційно-деструкційних процесів, їх співвідношення, видового та іншого різноманіття екосистеми, загальної біомаси, величини зв'язаної енергії на одиницю її доступного потоку, спряженості речовинно-енергетичних та інформаційних процесів тощо. А вже на мерологічному – можна з'ясувати порівняльну чутливість окремих біосистем (популяцій, геміпопуляцій, трофічних груп тощо) до певного забруднення, зміни фізіолого-біохімічних та інших параметрів у окремих організмів, популяцій тощо.

-
- Системний підхід до вивчення будь-якого об'єкта полягає у визначенні його елементів, структури, зовнішнього середовища і закону функціонування. Для цього існує три основні групи методів:



СПОСТЕРЕЖЕННЯ

- Спостереження передбачає невтручання в природний плин подій, тобто воно проводиться в інтактному режимі. Зазвичай на практиці певне втручання є необхідним, але вимушеним (кільцювання, мічення тощо). У природних умовах найчастіше використовують польові спостереження екосистем, які покликані вирішити такі завдання:

1) виділення головних типів екосистем і їхніх взаємозв'язків

2) визначення видового складу організмів кожної екосистеми та встановлення параметрів умов абіотичних чинників

3) вивчення взаємозв'язків між елементами екосистеми

4) встановлення кількісних характеристик як елементів системи (щільність популяцій тощо), так й інтенсивності взаємозв'язків між ними (трофічних тощо)

5) вивчення динаміки процесів (добових, сезонних, річних циклів)

-
- Одним із прикладів найбільш високоорганізованих польових досліджень є програми комплексного екологічного моніторингу, розгорнуті на базі біосферних заповідників згідно програми Глобальної системи моніторингу довкілля.

- В екологічних дослідженнях широко використовують найсучасніші технічні засоби. Для отримання інформації щодо стану значних територій чи акваторій вдаються до космічних спостережень, зокрема, за допомогою методу дистанційної спектрофотометрії можна отримати інформацію про стан різноманітних екосистем на нашій планеті, рівень продукційних чи деструкційних процесів, забруднення, пожежі тощо.

-
- Для з'ясування міграцій окремих видів, популяції застосовують різноманітні методи мічення – кільцювання (птахи), радіопередавачі, вмонтовані в ошийники (здебільшого для ссавців) чи фіксовані на інших частинах тіла тварин (акули, кити тощо), радіоактивні мітки, зокрема радіоізотопи фосфору широко використовують при дослідженні міграцій риб та інших гідробіонтів. Абсолютно необхідне використання радіоізотопів різноманітних елементів при дослідженні біогеохімічних колообігів, їх швидкості та ступеня замкненості.

-
- Термін «моніторинг» з'явився напередодні Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища 1972 р. Під моніторингом було вирішено розуміти систему безперервного спостереження, вимірів і оцінки стану навколишнього середовища.

- Моніторинг навколишнього середовища – комплексна система спостережень, оцінки і прогнозу змін природних середовищ, природних ресурсів, рослинного та тваринного світу, яка дозволяє виділити зміни їхнього стану і процеси, що відбуваються в них під впливом антропогенного навантаження.

У процесі моніторингу передбачається послідовна реалізація двох задач:

забезпечується постійна оцінка "комфортності" умов середовища мешкання людини і біологічних об'єктів (рослин, тварин, мікроорганізмів), а також оцінка стану і функціональної цілісності екосистем;

вжиття коректуючих дій у тих випадках, коли цільові показники критеріїв оцінки якості середовища не досягаються.

Система моніторингу реалізується на кількох рівнях:

імпактному (вивчення потужних впливів на локальному масштабі, спрямоване, наприклад, на оцінку скидів чи викидів конкретного підприємства);

регіональному (прояв проблем міграції та трансформації забруднюючих речовин, спільного впливу різних факторів, характерних для екосистем у масштабі регіону);

фоновому, що здійснюється в рамках міжнародної програми "Людина і біосфера" на базі біосферних заповідників, де виключена будь-яка господарська діяльність (має на меті зафіксувати фоновий стан навколишнього середовища, що необхідно для подальших оцінок рівнів антропогенного впливу).

-
- За своїм структурно-функційним складом моніторинг навколишнього середовища об'єднує в собі всі необхідні компоненти:

приладно-апаратне забезпечення

систему організації вимірів

сукупність методик аналізу результатів необхідних спостережень

ФУНКЦІЇ

Задачі

Цілі

Спостереження

Виявлення

Аналіз

Моделювання

Оцінка

Прогноз

За станом
навколишнього
середовища

Змін
навколишнього
середовища
, пов'язаних
із діяльністю
людини

Змін, що
спостерігають
ся

Змін
екологічної
ситуації

Стану
навколишнього
середовища

Очікуваних
змін стану
навколишнього
середовища

Функції моніторингу стану навколишнього середовища

-
- Моніторинг охоплює весь широкий спектр аналізу спостережень за абіотичною складовою біосфери, що постійно змінюється і є зворотною реакцією екосистем на ці зміни, включаючи як геофізичні, так і біологічні аспекти, що визначає широкий спектр методів і прийомів досліджень, які використовуються при його здійсненні. В літературі, як синонім, часто зустрічається вираз «екологічний моніторинг», де під терміном «екологія» розуміють не конкретний науковий напрям, окреслений Е. Геккелем, а науки про довкілля, «інвайронментологію», як теоретичну основу раціонального природокористування.

-
- Оскільки угруповання живих організмів значною мірою замикають на себе всі процеси, що протікають в екосистемі, ключовим компонентом моніторингу навколишнього середовища є моніторинг стану біосфери, або біологічний моніторинг, під яким розуміють систему спостережень, оцінки і прогнозу будь-яких змін в біотичних компонентах, викликаних факторами антропогенного походження і знаходить свій прояв на організмовому, популяційному, біоценотичному чи екосистемному рівнях.

-
- Таким чином, спостереження – основа збору інформації щодо стану екосистем з використанням найрізноманітніших технічних засобів. Крім суто наукового аспекту використання цієї інформації, на спостереженні, власне, базується вся система екологічного моніторингу, як на глобальному, так і на регіональному та локальному рівнях. За допомогою спостережень можна здійснювати експрес-діагностику стану екосистем (використовуючи метод біоіндикації). Але в усіх цих випадках втручання спостерігача в природній плин подій або зведено до мінімуму, або ж не передбачене.
 - Тому отримати відповідь на питання: а що відбудеться в екосистемі, якщо на неї вплине той чи інший чинник певної інтенсивності? – дає змогу експеримент.

ЕКСПЕРИМЕНТ

- Експеримент передбачає свідоме втручання в природний хід процесу з метою з'ясування функції відгуку системи на той чи інший вплив. Розмаїття експериментів у екології настільки величезне, що навіть перерахувати їх досить складно. Корисним може бути виділення різних їх категорій у залежності від рівня контролю експериментатора над системою, що досліджується, та кількості факторів, які свідомо змінюються.

-
- Перш за все варто розрізняти експерименти за рівнем досягнутого в них контролю над об'єктом. Тут можливі широкі варіації – від практично неконтрольованих експериментів, коли після певного впливу на систему експериментатор у подальшому лише стежить за її динамікою, до практично повного контролю над усіма параметрами системи, що цікавлять експериментатора.

- Досить поширеним є поділ експериментів на польові та лабораторні. Перші в переважній більшості випадків належать до практично неконтрольованих. У лабораторних умовах є змога контролювати ті чи інші параметри і фактори, проте більш-менш повний контроль провідних факторів можливий лише на складному сучасному устаткуванні в різноманітних фітотронах, акватронах та інших керованих лабораторних “мікрокосмах”.

-
- За кількістю чинників, вплив яких на систему вивчається, експерименти поділяють на:

однофакторні

- досліджується вплив одного чинника на систему

багатофакторні

- вивчається одночасний вплив двох і більше чинників на систему

Однофакторний експеримент

- Класичною схемою проведення експериментів ще з часів Френсіса Бекона (1561–1626) вважається однофакторний експеримент, коли вивчається вплив одного фактора за фіксованих значень решти.
- Слід відзначити, що в екології однофакторні експерименти виявляються значно менш продуктивними, ніж у фізиці чи інших природничих науках. Адже коли проводиться однофакторний експеримент, скажімо, досліджується вплив температури на інтенсивність фотосинтезу, слід мати на увазі, що отримані результати відповідають лише даному рівню освітлення, спектрального складу світла, концентрації окремих біогенних елементів, вологості тощо. Причому варто цей же експеримент провести при іншій вологості, як його результати можуть виявитися зовсім іншими, часто – діаметрально протилежними.



- Зокрема висока температура значно поживляє фотосинтез при достатній кількості вологи і, навпаки, пригнічує його за умови дефіциту води. Те ж саме спостерігаємо і в розташуванні біомів за градієнтами температури і кількості опадів: вологі тропічні ліси притаманні районам з високою температурою і вологістю. Якщо температура висока, а опадів недостатньо – має місце пустеля. Для тундри характерна достатня вологість і низька температура.

-
- Тому в переважній більшості випадків у екологічних дослідженнях адекватним вирішуваній проблемі є n -факторний експеримент, принаймні, розглядаючи різні варіанти поєднання значень провідних факторів на ті чи інші досліджувані параметри. Проте ще й сьогодні однофакторний експеримент продовжує зберігати своє значення в екологічних дослідженнях з огляду на його простоту та доступність.

Багатофакторний експеримент

- Ще в 30-х роках ХХ століття для вирішення задач одержання високих врожаїв англійським генетиком Рональдом Ейлмером Фішером були розроблені основи методу багатофакторного аналізу, які полягали в тому, що в кожному варіанті з серії дослідів експериментатор змінює не один, а відразу кілька факторів, значення яких комбінуються певним чином, унаслідок чого при наступній математичній обробці отримують багатофакторний опис процесу чи явища.

-
- При дослідженні екологічних процесів доводиться мати справу з одночасним впливом багатьох чинників. Тому завданням багатофакторного експерименту і є з'ясування впливу n факторів (за різних варіантів їхнього взаємопоєднання) на ту чи іншу систему і аналіз різних сценаріїв реагування її на сукупну дію чинників.

Із двофакторним аналізом знайомі майже всі на прикладі кліматограм. Результати двофакторного аналізу легко графічно інтерпретувати. Для цього по осі x відкладають значення одного фактора, по осі y – другого. По осі z можна відстежувати функцію відгуку системи на двофакторний вплив

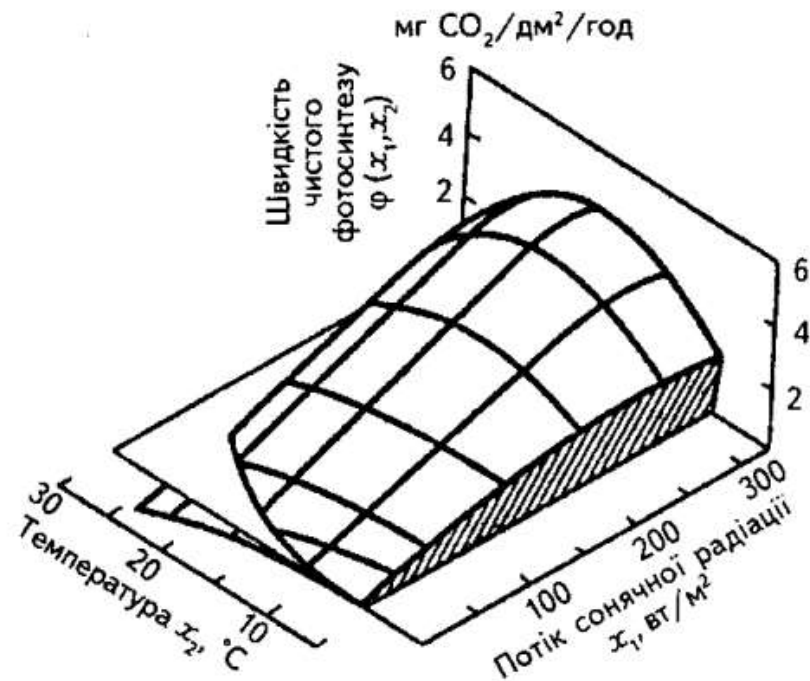


Рис. 2.2. Функція відгуку $\varphi(x_1, x_2)$ швидкості чистого фотосинтезу вереску *Calluna vulgaris* на інтенсивність сонячної радіації x_1 та температуру x_2

-
- Трьохфакторний експеримент графічно зобразити дещо складніше – по кожній з трьох осей відкладають значення відповідних факторів, а результати відгуку системи на трьохфакторний вплив можна зобразити, використовуючи засоби просторової графіки, в тому числі, використовуючи різні кольори.
 - Чотирьох- і більше факторний експеримент графічно вже значно важче інтерпретувати. Найпростіше результати таких експериментів можуть бути представлені у n -вимірному просторі, кожна точка якого має свої координати на кожну з n осей.

-
- Найпростішим графіком результатів n -факторного експерименту може бути ранжований у порядку зростання значень функції відгуку системи на комплексний вплив n факторів графік, де на осі Y – відкладають значення функції відгуку системи (у порядку зростання), а кожна точка осі X буде мати відповідні значення n факторів. Комп'ютерна графіка дозволяє, навівши курсор на будь-яку точку кривої функції відгуку, отримати значення n факторів, за яких функція відгуку має відповідне значення. Таким чином, можна отримати повну картину n -факторного впливу на ту чи іншу функцію системи чи на її стан в цілому (за інтегральними показниками).
 - Для ефективного планування багатофакторного експерименту запропоновано низку підходів. З розвитком комп'ютерних технологій багатофакторний експеримент має посісти провідне місце в експериментальній екології.

Моделювання

- Моделювання передбачає створення моделі. Подальше вивчення системи проводять не на реальному об'єкті, а на його моделі. Модель можна визначити як будь-яке спрощене відображення об'єкта (реального чи уявного). Особливо цінним моделювання є у випадках, коли досліди над реальною системою проводити неможливо з огляду на її масштаби – скажімо, біосфери в цілому, океану, моря тощо або ж небезпечно – вплив радіації на екосистеми. Тому для вивчення цих проблем створюється модель і подальші дослідження проводяться на ній.

Суть моделювання полягає в тому, що поряд зі системою-оригіналом, яку позначимо через $S^0(V^0, X^0, \Sigma^0, F^0)$ розглядається її модель, роль якої виконує деяка інша система: $S = (V, X, \Sigma, F)$, що являє собою образ (подібність) оригіналу S^0 при моделюючому відображенні (відповідності подібності) f , що позначається так:

$$f: (S^0) \rightarrow S,$$

де дужки означають, що f – частково визначене відображення, тобто не всі властивості складу та структури оригіналу відображені моделлю.

-
- Стратегія моделювання полягає у спробі шляхом спрощення отримати модель, властивості й поведінку якої можна було б ефективно досліджувати, проте яка б водночас залишалася б подібною оригіналу, щоб результати досліджень можна було б застосовувати до нього. Таким чином, мистецтво моделювати полягає у максимальному спрощенні об'єкту моделювання при збереженні якомога більшої кількості істотних властивостей оригіналу. Зворотній перехід від моделі до оригіналу зветься інтерпретацією моделі.

За формою реалізації розрізняють моделі:

реальні

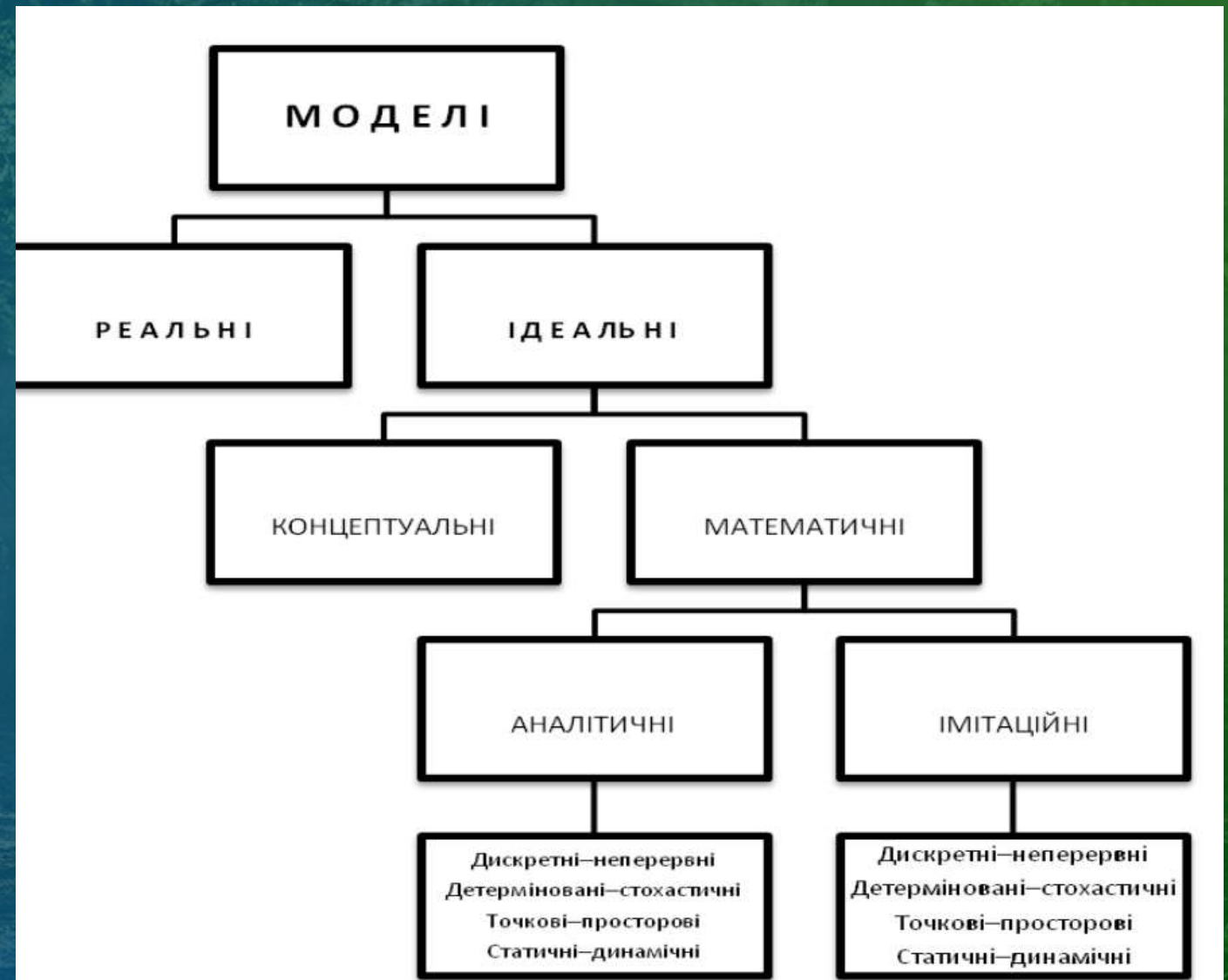
ідеальні
(знакові)

-
- Реальні моделі реалізуються у тій же формі, що і об'єкт відображення – акваріум, як модель водойми, акватрони, фітотрони тощо. Реальні моделі дозволяють шляхом істотного спрощення системи досліджувати певні процеси, що в ній відбуваються та отримувати кількісні характеристики цих процесів.
 - Невеликі автономні «світи», або мікрокосми, в невеликих посудинах (пляшках тощо) часто використовують для імітування в мініатюрі природних екосистем. Ці моделі реальних екосистем можна розглядати як мікроекосистеми. У вдало змодельованих мікрокосмах можна спостерігати основні функції природної екосистеми. Переваги мікроекосистем для досліджень полягають у тому, що вони мають чіткі межі, легко відтворювані та зручні для експериментів.

-
- На початку дев'яностих років ХХ ст. унікальні систему побудували в американському штаті Арізона, поряд з містом Оракл і назвали її «Біосфера-2». При цьому автори проекту виходили з того, що «Біосфера-1» – це наша Земля. «Біосфера-2» – це грандіозна конструкція зі скла та армованої сталі, яка займала площу 1,27 га і мала об'єм повітря 203760 м³. «Біосфера-2» містила понад 3000 видів рослин і тварин, сім біомів – дощовий тропічний ліс, савану, пустелю, болото, маленький океан з кораловим рифом, інтенсивне сільське господарство і апартаменти для людей.

-
- Ідеальні моделі – формальне відображення дійсності за допомогою даного алфавіту символів і операцій над ними. Знакові моделі незрівнянно багатші за можливостями, ніж реальні, адже вони практично не обмежені можливостями фізичної реалізації. Ідеальні моделі поділяють на дві групи – концептуальні та математичні

Класифікація моделей



-
- Концептуальна модель являє собою дещо більш формалізований і систематизований варіант традиційного опису досліджуваної екосистеми, що складається з наукового тексту, який супроводжується блок-схемою системи, графіками, таблицями тощо. Сам термін “концептуальна” підкреслює, що призначення цієї моделі – бути ясним, узагальненим і водночас досить повним виразом знань і уявлень про систему в рамках і засобами певної наукової концепції.
 - Перші концептуальні моделі в екології з’явилися лише у ХХ столітті

-
- Поряд з такими перевагами, як універсальність, гнучкість, багатство засобів вираження тощо, завдяки яким цей метод застосовується до найрізноманітніших систем, йому притаманні і певні недоліки, зокрема значна неоднозначність інтерпретації та статичність, що ускладнює опис динамічних систем і процесів.
 - Кількісне вивчення динамічних процесів ефективно досягається шляхом математичного моделювання.

Математичною моделлю системи-оригіналу називається її модель, у якій елементами множин V і X виступають математичні змінні (скалярні функції часу t) в інтервалі, що розглядається (рис. 2.5).

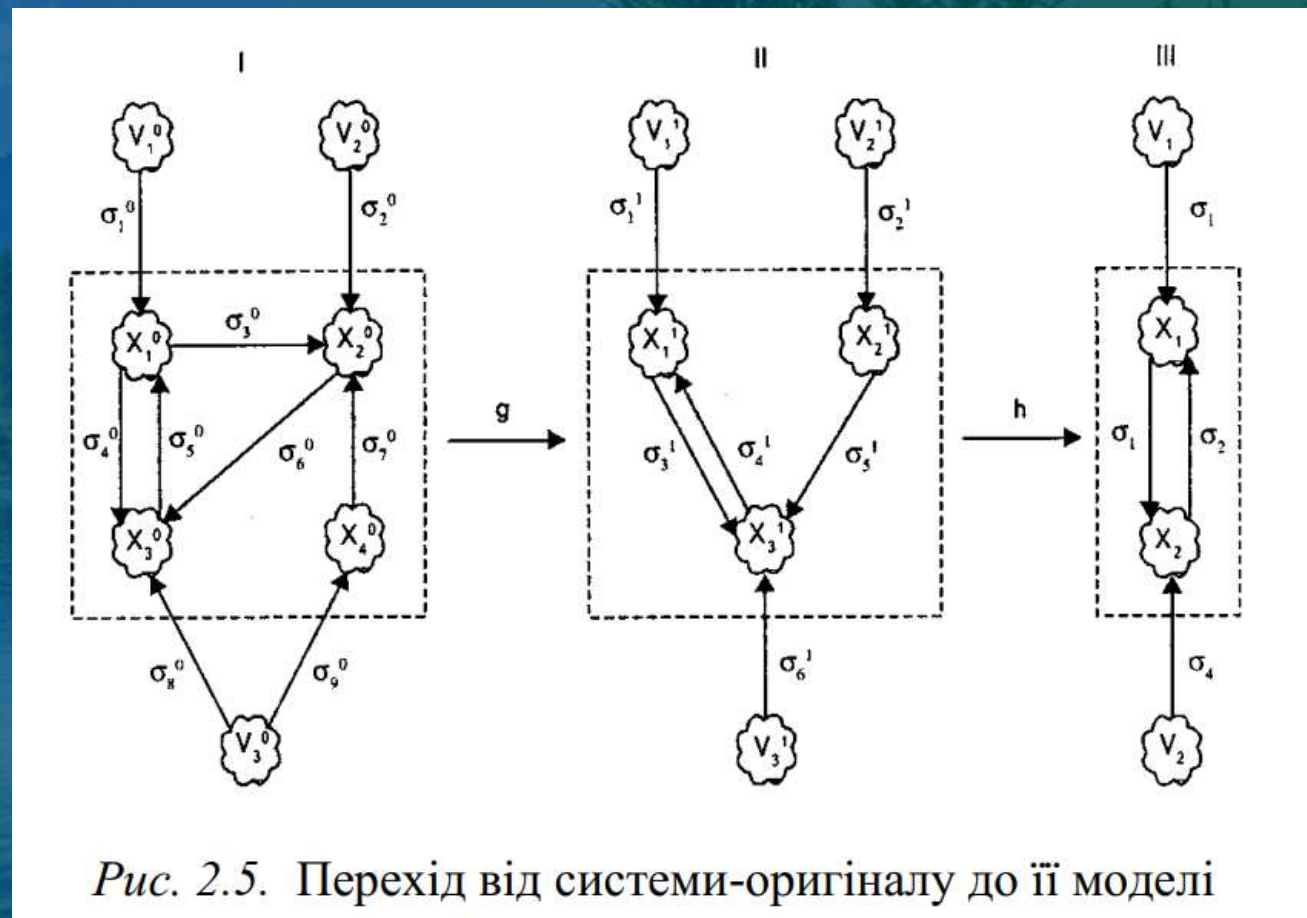
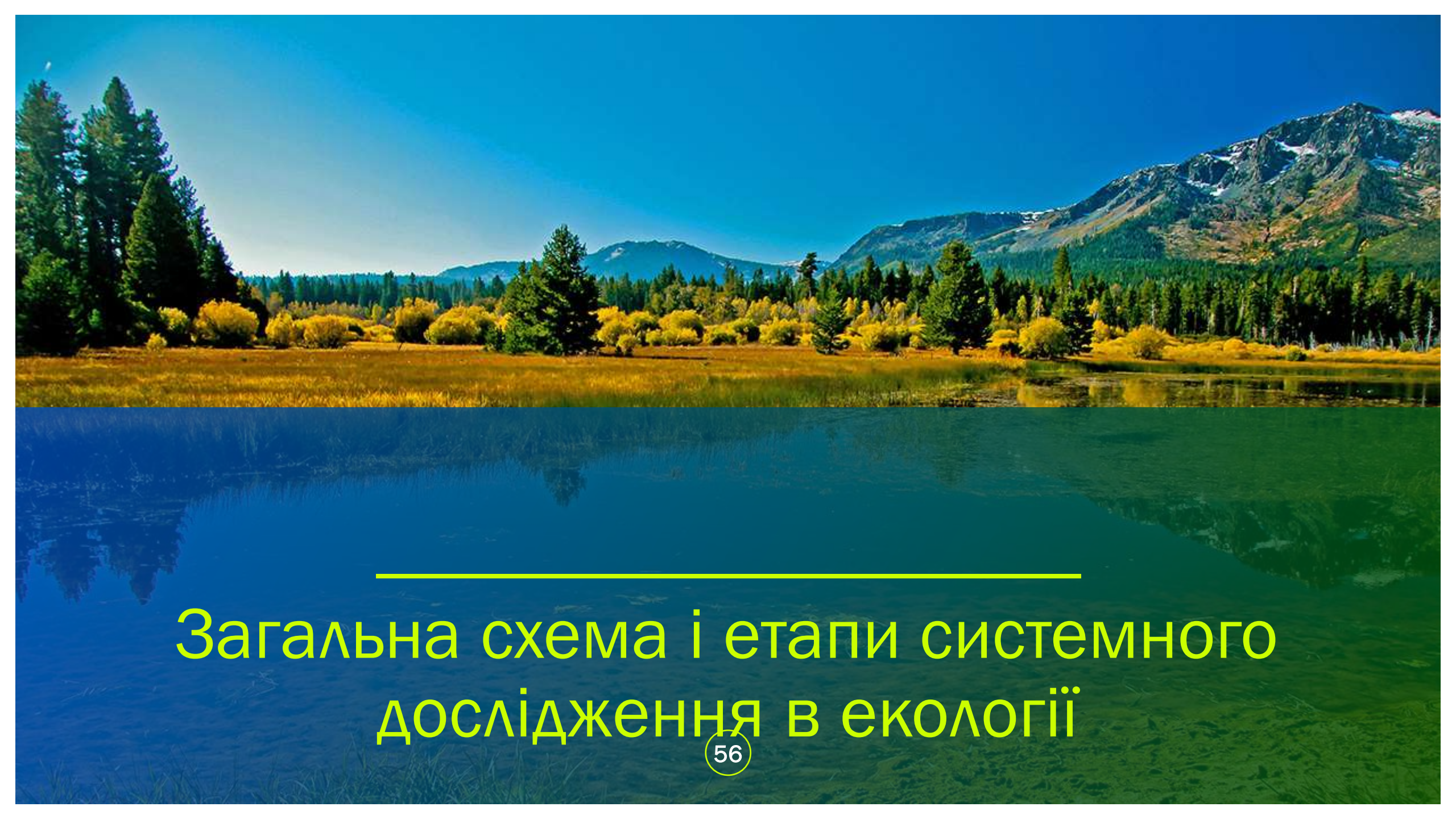


Рис. 2.5. Перехід від системи-оригіналу до її моделі

-
- При цьому мистецтво моделювання полягає, з одного боку – у максимальному спрощенні, з іншого – у якомога більш повному збереженню основних властивостей системи-оригіналу.
 - У залежності від рівня визначеності передбачення моделі поділяються на детерміновані та стохастичні (ймовірнісні). Якщо в детермінованій моделі значення змінних стану визначаються однозначно (з точністю до похибок обчислення), то стохастична модель для кожної змінної дає розподіл можливих значень, що характеризуються такими імовірнісними показниками, як математичне очікування.



Загальна схема і етапи системного дослідження в екології

Системний підхід до вивчення екологічних систем вимагає дотримання єдиної методології, якій підпорядковані зусилля всіх фахівців, залучених до вивчення певної екосистеми. Причому ефективність дослідження суттєво залежить від правильного планування і проведення цих досліджень.



Системне дослідження екосистеми складається з кількох етапів, що послідовно змінюють один одного у часі чи здійснюються паралельно:



-
- **1. Визначення задачі** – основна мета етапу – обмежити і конкретизувати кількість можливих напрямків і аспектів вивчення екосистеми, зосередивши головну увагу на тих властивостях і процесах, які заслуговують найбільшої уваги. Адже будь-яка природна екосистема – вкрай складний утвір, детальне вивчення якого вимагає колосальних людських і матеріальних ресурсів, а також величезних витрат часу. Тому цей етап є доленосним для успішного вирішення проблеми.

-
- **2. Концептуалізація** – полягає в узагальненні відомостей про систему, що вивчається, і представленні відомостей в логічно цілісній і достатньо повній концептуальній моделі. Перш за все на цьому етапі з'ясовуються зовнішні потоки (вхідні і вихідні) речовини, енергії та інформації, зв'язок з іншими екосистемами, а також з атмосферою, геологічними шарами та гідрологічними процесами. Вивчається вплив діяльності людини на ці процеси. Потім встановлюється склад, структура і певні закономірності функціонування даної екосистеми.

-
- **3. Специфікація.** Полягає у визначенні складу множин вхідних змінних (зовнішнього середовища) і змінних складу майбутньої математичної моделі.
 - **4. Спостереження.** За результатами специфікації плануються і проводяться спостереження за динамікою властивостей системи і середовища, перш за все за параметрами зовнішнього середовища і елементами системи. Результати спостережень використовуються на наступних етапах (ідентифікація, перевірка і дослідження моделі). З іншого боку, вони можуть бути основою для певного перегляду концептуальної моделі.

-
- **5. Ідентифікація.** Полягає у встановленні (ідентифікації) математичних відношень між змінними, що утворюють структуру системи, які б з певною точністю відображали кількісні відношення між властивостями екосистеми і її середовища.
 - **6. Експерименти.** Ідентифікація вимагає проведення польових та лабораторних експериментів з метою перевірки різноманітних гіпотез про характер взаємозв'язків між змінними моделі.
 - **7. Реалізація моделі.** Після ідентифікації моделі постає проблема побудови її дозвільного оператора. Це дає можливість розраховувати за допомогою моделі динаміку змінних стану на даному відрізку часу, що відповідає даним входам і початковому стану.

-
- **8. Перевірка моделі.** На даному етапі дослідження встановлюють, наскільки модель здатна відтворювати властивості системи-оригінала, які цікавлять дослідника.
 - Для цього досить ефективним способом перевірки моделі є моделювання ситуації, що імітує різні експериментальні впливи (зміни концентрацій біогенних елементів, температури, щільності окремих видів тощо) і порівняння результатів імітації з показниками реальних експериментів. У разі значної розбіжності між результатами імітаційного моделювання і реальних експериментів є необхідність повернення до попередніх етапів дослідження екосистеми і перегляд як складу структури, так і функції моделі.
 - Після кількох циклів перевірки і корекції зазвичай вдається досягти задовільного рівня моделі, придатної для подальшого використання.

-
- **9. Дослідження моделі.** Вивчається залежність між змінними моделі. Важливим також є аналіз чутливості моделі, який полягає у з'ясуванні того, які зв'язки між змінними та їхні параметри, а також які із зовнішніх факторів спричинюють найзначніші (або найнезначніші) впливи на поведінку моделі. Після з'ясування відповіді на це питання вирішують, які параметри мусять визначатися з великою точністю при спостереженнях, і на етапі ідентифікації, а які можуть задаватися відносно наближено.
 - Результати теоретичного дослідження моделі додатково використовують при оцінках адекватності моделі і можуть бути основою для повернення до попередніх етапів з метою вдосконалення моделі.

-
- **10. Оптимізація.** На цьому етапі методичною основою виступає теорія оптимального управління. В практичній роботі по збереженню (заповідників, заказників тощо) чи раціональному використанню (сільськогосподарських, водних, лісових тощо) екосистем часто виявляється, що серед екзогенних чинників, які впливають на них, є й такі, котрі людина може регулювати з метою оптимізації тих чи інших характеристик екосистем.
 - Особливістю таких проблем (оптимізаційних, оскільки вони вирішують задачі оптимізації по заданим дослідником параметрам) є їхня багатоплановість, викликана необхідністю одночасного досягнення кількох цілей. Скажімо, одержання оптимального врожаю передбачає досягнення двох задач – великої кількості та високої якості.

-
- **11. Заключний синтез.** У результаті виконаної роботи остаточно оцінюються її результати – перш за все – побудована модель та визначаються перспективи для подальших досліджень. Водночас, у випадку виявлення істотних недоліків моделі, повертаються на відповідний попередній етап дослідження для з'ясування питань, що істотно знижують цінність розробленої моделі та усунення її суттєвих недоліків.

-
- Органічне поєднання холістичного і мерологічного підходів, використання різних адекватних методів дозволяє всебічно дослідити екосистему і отримати необхідну інформацію. При цьому вкрай важливо ретельно спланувати всі етапи того чи іншого дослідження і знайти його оптимальний варіант, який полягає в мінімізації витрат на його проведення при забезпеченні належного наукового рівня.

СРАВНЕНИЕ

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.
Maecenas porttitor congue massa

Название раздела 1

- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero
- Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus.
- Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci.

Название раздела 2

- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.
- Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus.
- Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Лекція підготовлена за матеріалами:
Гандзюра В. П. Системний аналіз якості
навколишнього середовища: навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів. – К., 2020
– 180 с.