

Розділ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

1.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД І МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГІЇ

1.1.1. Поняття про системний підхід і системи

1.1.2. Поняття про моделі й моделювання

1.1.3. Математичні моделі екосистем

1.1.1. Поняття про системний підхід і системи

Системний підхід в екології зумовив формування цілого напрямку, який став її самостійною галуззю - системної екологією.

Системний підхід - це напрям в методології пізнання об'єктів як систем.

Система - це безліч взаємодіючих і взаємопов'язаних елементів (компонентів), що утворюють єдине ціле (певну цілісність).

Основними елементами системи є компоненти, зв'язки, межі. Її склад, структуру і властивості вивчають за допомогою системного аналізу, що є основою системного підходу і являє собою сукупність методологічних засобів, що використовуються для вирішення складних наукових проблем. У цю сукупність засобів входить комплекс методів від простих описових і логічних до досить складних, математичних.

Технічною основою системного аналізу є сучасні ЕОМ і інформаційні системи з широким використанням методів математичного програмування, теорії ігор тощо. Основними *системними принципами* є: цілісність, структурність, взаємозалежність системи і середовища, ієрархічність, множинність опису кожної системи.

Цілісність - узагальнена характеристика, властивості якої не зводяться до суми властивостей її елементів і не виходять з цих властивостей (цілісність організмів буде повніше в популяції, популяції - в біоценозі тощо і властивості кожної системи не зводяться до властивостей нижче розташованих).

Структурність - встановлення структури і взаємозалежності структурних елементів, обумовленості поведінки системи її структурою (структура біоценозу, трофічна структура екосистеми і встановлення зв'язків між трофічними рівнями тощо).

Взаємозалежність системи і середовища виражається в формуванні і прояві її властивостей в результаті цієї взаємодії (взаємодія біоценозу і біотопу, популяцій в біоценозі).

Ієрархічність - це коли кожен компонент системи розглядається як самостійна система, а сама досліджувана система є складовою частиною більш широкої системи (рівні біологічної організації, аж до глобальної системи - біосфери).

В цілому, екосистеми - це складні самоорганізовані і цілеспрямовані, зі

складною ієрархічною структурою системи, що вимагають великої кількості описів кожної підсистеми, що вимагає побудови безлічі моделей, тобто широкого використання методів моделювання при дослідженні.

1.1.2. Поняття про моделі й моделювання

Побудова узагальнених моделей, що відображають всі фактори і взаємозв'язки в системі, є центральною процедурою системного аналізу.

Поняття «модель» широко використовується, наприклад, на побутовому рівні: модель літаків, кораблів, автомобілів тощо. Якщо ці моделі не діють, то вони відображають тільки морфологічні особливості об'єкта, а вже знання цих особливостей дозволяє людині, якщо він раніше не бачив оригінал, дізнатися цей оригінал по моделі. Отже, лише частина властивості об'єкта дозволяє судити про об'єкт в цілому, в даному випадку - про форму об'єкта. Щось схоже відбувається і при наукових дослідженнях.

Традиційна схема наукового дослідження: дослідник - об'єкт.

Дослідник отримує інформацію шляхом безпосереднього вивчення об'єкта. Наприклад, біолог вивчає видовий склад фітопланктону під мікроскопом. Таке можливо лише на досить простих об'єктах, але не при дослідженні цілісної (загальною) структури екосистеми, взаємодії її компонентів. В цьому випадку необхідно моделювання, при якому працює схема: дослідник - модель - об'єкт вивчення.

Таким чином, щоб отримати уявлення про енергетичні потоки в екосистемі, необхідно уявити собі модель в вигляді піраміди енергій або хоча б піраміди Елтона. Тут з'являється проміжний (допоміжний) об'єкт вивчення - модель.

Модель - це допоміжний об'єкт, що знаходиться в певній об'єктивній відповідності до оригіналу і здатний заміщати його на окремих етапах пізнання.

Моделювання - це розробка, дослідження моделі і поширення модельної інформації на оригінал. Переваги моделювання виявляються в тих випадках, коли можливості традиційного підходу виявляються обмеженими. Саме такою областю пізнання є екологія.

Модель повинна відповідати двом вимогам:

1) повинна відображати лише ті особливості оригіналу, які виступають в якості предмета пізнання;

2) повинна бути адекватна оригіналу (інакше уявлення про нього будуть спотворені).

Сам процес моделювання можна розділити на 4 етапи: якісний аналіз, математична реалізація, верифікація та вивчення моделей (рис. 1).



Рис.1. Процес моделювання екосистем

Перший етап моделювання - якісний аналіз - є основою будь-якого моделювання. На його основі формуються завдання і вибирається вид моделі. Цей етап забезпечує відповідність моделі двом вищезазначеним вимогам. Вид моделі вибирається виходячи зі способу побудови, характеру самого об'єкта та ін.

Перший етап побудови моделі припускає наявність деяких знань про об'єкт-

оригінал. Пізнавальні можливості моделі обумовлюються тим, що модель відображає (відтворює, імітує) будь-які суттєві риси об'єкта-оригіналу.

За способом побудови всі моделі ділять на два класи: матеріальні і абстрактні.

Матеріальні моделі по своїй фізичній природі схожі з оригіналом. Вони можуть зберігати геометричну подібність оригіналу (макети, тренажери, штучні замітники органів тощо), подібність фізичних процесів з оригіналом - фізичне моделювання (гідрологічна модель - течія води тощо) і можуть бути природними об'єктами прообразами оригіналу, тобто натурними моделями (метод пробних ділянок).

Матеріальні моделі використовуються зазвичай в технічних цілях і мало підходять для екологічних проблем.

Більш придатними для екологічного моделювання є абстрактні моделі, що представляють собою опис оригіналу в словесній формі або за допомогою символів і операцій над ними, що відбивають досліджувані особливості оригіналу.

Абстрактні моделі поділяються на три типи: вербальні, схематичні і математичні.

Вербальні моделі - це формалізований варіант традиційного природничо-наукового опису у вигляді тексту, таблиць та ілюстрацій.

Схематичні моделі розробляються у вигляді різних схем, малюнків, графіків і фотографій. Основні їхні переваги - наочність, інформативність і простота побудови (трофічні ланцюги, піраміда Елтона, схеми структури, динаміки і енергетики екосистем, впливу екологічних факторів, біохімічних кругообігів і ін.).

Вербальні та схематичні моделі - невід'ємна частина якісного аналізу математичного моделювання, що є найбільш досконалим видом кількісного дослідження оригіналу, що дозволяє побудувати його математичну модель.

Математична модель - це математичний опис оригіналу, що відбиває його цілісність, структуру, динаміку, функціонування та взаємозв'язку оригіналу, зовнішніх і внутрішніх факторів впливу. Це означає, що практично така модель є формулою або системою рівнянь і нерівностей.

За своїм характером виділяють моделі статичні і динамічні.

Статична модель відображає об'єкт (систему), що не змінює свій стан у часі, а *динамічна модель* відображає об'єкт (систему), що змінює свій стан у часі.

Переважає більшість живих об'єктів і систем - це динамічні системи і можуть бути відображені тільки динамічними моделями.

На другому етапі модель виступає як самостійний об'єкт дослідження. Однією з форм такого дослідження є проведення "модельних" експериментів, при яких свідомо змінюються умови функціонування моделі і систематизуються дані про її "поведінку". Кінцевим результатом цього етапу є безліч (сукупність) знань про моделі.

Другий етап моделювання - це математична реалізація логічної структури моделі. З точки зору технології застосування математичних методів можна виділити моделі аналітичні та чисельні (комп'ютерні).

Аналітична модель - це побудова теоретичних концепцій з застосуванням математичного апарату, що зазвичай дозволяє вивести загальну формальну залежність.

Чисельні (комп'ютерні) моделі П.М. Брусилівський і Г.С. Розенберг (1981) ділять на імітаційні та самоорганізовані.

Імітаційні моделі відображають уявлення дослідника про взаємозв'язки в екосистемі, і як вони реалізуються. Вони не просто відображають реальність з тим або іншим ступенем точності, а імітують її. Ці моделі дозволяють скласти прогноз змін в екосистемі.

Самоорганізовані моделі відносяться до класу регресійних рівнянь, в них широко використовуються ймовірно-статистичні методи розрахунків.

Третій етап моделювання передбачає верифікацію моделі - перевірку відповідності моделі оригіналу. На даному етапі необхідно упевнитися, що обрана модель відповідає вищезгаданій другій вимозі: адекватно відображає особливості оригіналу. Для цього може бути проведена емпірична перевірка - порівняння отриманих даних з результатами спостережень за оригіналом. Модель може бути визнана високоякісною, якщо прогнози справджуються. При відсутності емпіричних даних проводиться теоретична верифікація - з теоретичних уявлень визначається область застосування і прогностичні можливості моделі.

Четвертий етап моделювання - це вивчення моделі, експериментування з моделлю і екологічна інтерпретація модельної інформації. Це практична перевірка отриманих за допомогою моделей знань та їх використання для побудови узагальнюючої теорії об'єкта, його перетворення і управління ім.

Основна мета етапу - виявлення нових закономірностей і дослідження можливостей оптимізації структури та управління поведінкою, що моделюється, а також придатність моделі для моделювання.

Моделювання - циклічний процес. Це означає, що за першим чотирьохетапним циклом може відбутися другий, третій тощо. При цьому знання про досліджуваний об'єкт розширюються і уточнюються, а вихідна модель поступово вдосконалюється. Недоліки, виявлені після першого циклу моделювання, зумовлені малим знанням об'єкта або помилками в побудові моделі, можна виправити в наступних циклах.

Зараз важко вказати область людської діяльності, де не застосовувалося б моделювання. Розроблено, наприклад, моделі виробництва автомобілів, функціонування окремих органів людини, життєдіяльності Азовського моря, наслідків атомної війни. У перспекви для кожної системи можуть бути створені свої моделі; перед реалізацією кожного технічного або організаційного проекту має проводитися моделювання.

1.1.3. Математичні моделі екосистем

В екології математичні моделі поділяються на моделі популяційного, біоценотичного і екосистемного рівнів (рис. 2).

Популяційні моделі описують особливості окремих популяцій і відображають їх властивості та внутрішні закономірності: моделі, що дозволяють оцінити динаміку чисельності та вікового складу популяцій залежно від народжуваності і смертності, заданих як функції лише від загальної щільності та вікового складу популяцій.

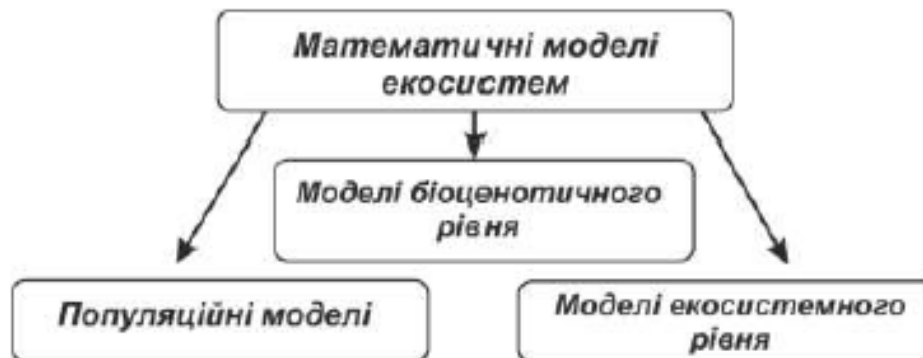


Рис.2. Напрямок математичних моделей

Моделі біоценотичного рівня задаються як системи рівнянь, що відображають динаміку біоценозу як функцію щільності складових його популяцій.

Моделі екосистемного рівня представляють собою системи рівнянь, в число аргументів яких включені як внутрішні змінні стану, так і зовнішні чинники впливу і цілісні властивості екосистем. Моделі даного рівня враховують і роль зворотних зв'язків у функціонуванні систем.

При побудові будь-якої моделі головне завдання - створити модель достатньої повноти. Для цього необхідно прагнути врахувати всі суттєві чинники, що впливають на розглянуті явища; приділити увагу наявності в ній суперечливих елементів, як однієї з ознак повноти моделі; врахувати можливість появи невідомих чинників, щоб в разі необхідності доповнити модель новим елементом.

Біологія - одна з перших наук, в якій пріоритетне значення набув системний підхід у вивченні природи, вперше в науковій формі використаний Ч. Дарвіном. Особливо широко використовуються системні ідеї в екології. На нову, більш високу ступінь ідеї системного підходу поставлені в ученні В.І. Вернадського про біосферу і ноосферу, де науковому пізнанню запропоновано новий тип об'єктів - глобальні системи.

Такою глобальною системою і є біосфера, що об'єднує на основі ієрархічного принципу всі екосистеми Землі більш низьких рівнів.

Контрольні питання

Поясніть і дайте відповідь на наступні питання:

1. Що розуміється під екосистемою?
2. Дайте визначення поняттям «система», «системний підхід», «системний аналіз», «предмет системного аналізу».
3. Що є технічною основою системного аналізу?
4. Назвіть основні системні принципи.
5. Поясніть поняття «модель», «модельовання».
6. Яким вимогам повинна відповідати модель?
7. Назвіть етапи процесу модельовання.
8. Як підрозділяються моделі за способом побудови?
9. Як підрозділяються моделі за своїм характером?
10. Які моделі за способом побудови використовуються при екологічному модельованні?
11. На які типи поділяються абстрактні моделі?
12. Що розуміється під терміном «Системна екологія»?

Побудуйте схеми:

- процесу модельовання за етапами;
- процесу математичного модельовання екосистем.