

### 2.1.3. Природні системи

Природна речовина у всіх її багаточисельних проявах з величезною кількістю взаємозалежних процесів повинна розглядатись як суперскладна система складових, поєднаних впливовими зв'язками.

Системний підхід як методологічна основа вивчення особливостей об'єктів широко використовується в різних науках. У біології часто користуються популяційним підходом.

Популяційний підхід характеризується тим, що об'єктом дослідження є популяція, тобто будь-яка здатна до самовідтворення сукупність особин одного виду, більш-менш ізольована в просторі, часі і генетично відокремлена від інших аналогічних сукупностей того ж виду. Представники біосфери інших видів, які проживають на території поширення даної популяції, відносяться до “навколишнього середовища”.

Поняття “екосистема” не має загально визнаного тлумачення. Є визначення, що це сукупність різних організмів, які мешкають разом, а також фізичних і хімічних компонентів середовища, необхідних для їх існування або які є продуктами їх життєдіяльності. В системі відбувається повний обмін речовиною, енергією і інформацією. Або:

екосистема – просторово-визначена сукупність живих організмів і середовища їх існування, об'єднаних речовинно-енергетичними та інформаційними взаємодіями. Вперше поняття “екосистема” використав А. Теслі у 1935 році.

Близьким за змістом до екосистеми є введене В.М. Сукачовим та В.В. Станчинським поняття “біогеоценоз”.

Взагалі під системою розуміється сукупність взаємопов'язаних і взаємозалежних складових, об'єднаних у просторі і часі для існування чи виконання якогось призначення. Всяка система є складовою (підсистемою) наступної за розмірами системи – і так до безкінечного Всесвіту. Мінімальна складова системи – елемент – частка, яка не може більше ділитися без втрати властивостей.

Системний підхід використовується в різних галузях, на відміну від популяційного, який поширився тільки в біології.

У зв'язку з тим, що екологія вивчає не лише біологічні об'єкти, доцільно її методологію будувати на системному підході – більш універсальному в порівнянні з популяційним.

Екологічною природною системою (екосистемою) будемо вважати відносно сталу в просторі і часі сукупність природних матеріальних складових, об'єднаних процесами речовинного енергетичного та інформаційного обміну. Біосфера – це найбільша екосистема Землі.

У залежності від розмірів екосистеми можуть бути різними – від планетарної гіперсистеми до локальної в межах невеличкого острова, ставка чи дерева. Оскільки всі екосистеми відносяться до систем відкритого типу, то кожна екосистема повинна розглядатись як складова системи більш вищого порядку (наступного за ранжуванням рівня), тобто підсистемою.

Взаємодії підсистеми з системою характеризуються зовнішніми зв'язками (для системи вони будуть внутрішніми). При цьому внутрішні зв'язки всередині підсистеми при аналізі системи не розглядаються, вона уявляється як “чорний ящик”, будова якого нас не цікавить. “Чорний ящик” характеризується певною реакцією (відгуком) на зовнішню дію.

Вказана властивість складної системи дозволяє виконувати експериментальні та теоретичні дослідження на зручному для дослідника рівні системи, йдучи поступово чи від складного до

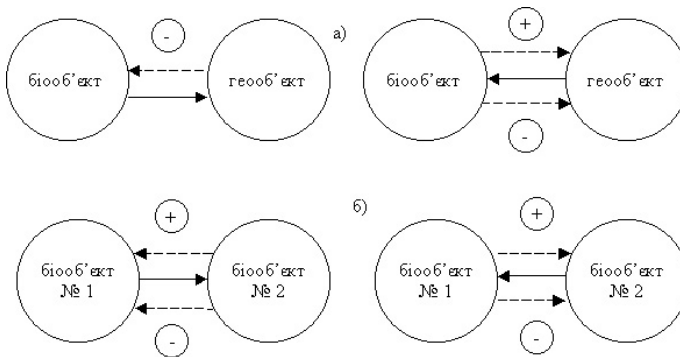
простішого, чи навпаки. Обов'язкова умова цього процесу – врахування всіх впливових зв'язків.

Зв'язки в екосистемі віддзеркалюють вплив однієї складової системи на іншу. Цей вплив середовища на біологічний об'єкт прийнято оцінювати екологічними факторами. Під *екологічним фактором* розуміється окрема властивість чи елементи середовища, які впливають на організм, або рушійна сила процесу чи вплив умови на процес. Природні екологічні фактори в літературі розділяються на біотичні та абіотичні в залежності від джерела впливу. Біотичні фактори – це форма впливу живих істот одна на одну (симбіоз, паразитизм, нейтралізм, хижацтво, фітонцидний вплив, турбування тощо). Вплив людини як біологічної особи теж враховується як фактор природного середовища. Абіотичні фактори – це властивості і показники природного середовища: рельєф місцевості, гідрохімічні властивості води, показники атмосферного повітря, особливості ґрунту тощо. Р.Ф. Реймерс приводить класифікацію факторів за 37 ознаками.

У залежності від особливостей дії фактора зв'язки в природній екосистемі можуть бути постійними (безперервними) і непостійними (тимчасовими, періодичними, випадковими), стаціонарними (незмінними по величині) і динамічними, які, в свою чергу, можуть бути гармонійними чи хаотичними.

У залежності від природи фактора зв'язки можуть бути енергетичними, речовинними та інформаційними. Дія фактора не залишається без відповіді об'єкта впливу. Як видно на рис. 2.1, дія на абіотичний об'єкт викликає з його боку рівну за величиною протидію у вигляді негативного зворотного зв'язку. Біотичний об'єкт реагує на дію значно складніше – у вигляді протидії і пристосування (позитивного зворотного зв'язку). В залежності від довготривалості дії пристосування організму проявляється як регулювання (часто називають саморегулюванням) чи адаптація. В залежності від особливостей механізму регулювання можливі два рівні – просте регулювання і складне регулювання. Механізм простого регулювання викликає реакцію організму, яка забезпечує його нормальну життєдіяльність у змінених умовах довкілля без змін конструкції організму. Наприклад, при підвищенні температури повітря організм підтримує незмінним свій тепловий стан за рахунок збільшення випаровування. Рослина забезпечує

необхідний приріст маси при зниженні інтенсивності освітлення за рахунок збільшення ККД фотосинтезу. Складне регулювання дозволяє за рахунок короточасної зміни в організмі забезпечити життєдіяльність при більш широкому коливанні зовнішнього фактора. Наприклад, у собак тепловідвід у спеку покращується за рахунок збільшення поверхні випаровування через язик, який висовується з пащі. Для того, щоб зберегти організм від замерзання, тварини зменшують поверхню тіла на



**Рис. 2.1. Зв'язки між природними об'єктами:**

а – об'єкт живої і неживої природи; б – об'єкт живої природи;  
 —————▶ прями́й зв'язок (дія); ◀----- зворотний зв'язок (відгук);  
 ⊕ позитивна реакція (приспособування); ⊖ негативна реакція (протидія)

25-30%, набуваючи пози “клубочком”.

Адаптація – це довготривале пристосування, яке виникає і змінюється протягом еволюції виду. На відміну від регулювання, адаптація має незворотний характер. Зміни в організмі відбуваються повільно і стають сталохарактерними. По відношенню до людини ВОЗ дає таке визначення: “дійсне пристосування організму до мінливих умов навколишнього середовища, яке відбувається без будь-якого порушення даної біологічної системи і перевищення нормальних можливостей її реагування, тобто тоді, коли після певного періоду дії реакція на токсичні речовини повністю і назавжди зникає”.

Зворотний негативний зв'язок живої істоти проявляється в здатності переборювати шкідливий зовнішній вплив, зменшуючи ризик свого руйнування, компенсувати негативний вплив на

життєздатність шляхом саморегуляції.

Позитивний зворотний зв'язок проявляється в здібності живої істоти еволюціонувати, адаптуватись (приспособуватись до нових умов існування).

На практиці жива природа начебто відшукує оптимальну систему пріоритетів, а природний добір “фільтрує”, відбираючи тих, хто краще врахував конкретну ситуацію.

Конкуренція в біосфері відбувається на всіх рівнях – на груповому, популяційному, міжпопуляційному, видовому, міжвидовому. Вона є регулюючим фактором зберігання біологічного різноманіття, оскільки стримує збільшення виду (популяції) зверх природної межі.

В ідеальних умовах, тобто при достатності живних речовин і відсутності конкуренції, чисельність осіб популяції  $\mathcal{C}$  зростає по експоненційному закону:

$$\mathcal{C} = \mathcal{C}_0 e^{at},$$

де  $\mathcal{C}_0$  – кількість осіб на початок періоду,  $a$  – коефіцієнт (постійна експоненти,  $t$  – час періоду.

Розрахунки показують, що в ідеальних умовах один вид може заселити планету за дуже короткий термін, наприклад, бактерії, які діляться через 20 хвилин, – за 36 годин, комахи – за рік, пацюки – за 8 років, риби – за 12 років.

Цього не відбувається завдяки конкуренції та ємкості середовища. Остання визначається максимальною кількістю організмів, які можуть існувати в умовах обмеженості ресурсів (їжі, світла, місця і т.д.). Реально це обмежує період експоненційного росту чисельності, після якого частіше настає період стабілізації і асимптотичного наближення до горизонталі. Така закономірність називається логістичною (або s-подібною) – популяція характеризується стійкою рівновагою, а ємкість середовища називається рівнозважною чисельністю (рис. 2.2).

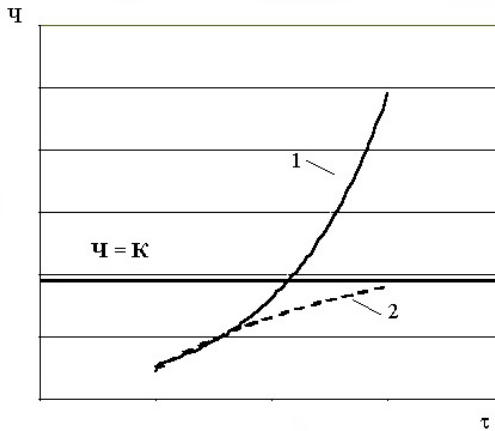
Логістичне рівняння в диференціальній формі має вигляд:

$$\frac{d\mathcal{C}}{dt} = a \cdot \mathcal{C} \left( \frac{K - \mathcal{C}}{K} \right),$$

де  $a$  – постійна експоненти в початковий період збільшення чисельності,  $K$  – ємкість середовища.

Складна система взаємодій у біосфері приводить до більш-менш стабільного співвідношення між видами. Однією з ілюстрацій цього є залежність між кількістю осіб ссавців  $Ч$  та масою особин  $M$  (рис. 2.3).

Популяції в природі складаються з окремих субпопуляцій, які відрізняються на генному рівні. Спадкове різноманіття зберігається завдяки тому, що окремі субпопуляції підтримують одна одну, обмінюючись генами. Чим вище генне різноманіття, тим більшим “запасом міцності” популяція володіє. Людство протягом багатьох



**Рис. 2.2.** Зміна кількості особин популяції з часом:

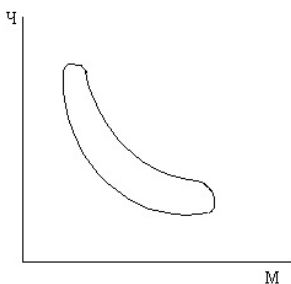
1 – експоненційний закон; 2 – логістичний закон

тисячоліть було таким, що окремі субпопуляції внаслідок територіального положення мало взаємодіяли. В наш час ситуація інша. І фахівці не беруться передбачити генетичні наслідки нових демографічних процесів.

На рис. 2.4 представлено природний фрагмент “галявина лісу на березі річки”, на прикладі якого розглянемо особливості системного аналізу.

Перше питання: як провести межі системи, що до неї включити? На відміну від штучних систем, які будуть розглянуті в главі 3, для природних систем це питання не принципове, бо її складові не мають однієї чітко визначеної функції. Всі вони багатofункціональні, потрібні одна одній, взаємовпливові. І якщо якась із них не потрапить

у межі системи, це зовсім не означає, що її вплив не повинен враховуватись. Він буде врахований у вигляді зовнішнього зв'язку системи. Це стосується перш за все Сонця, енергія якого діє на всі природні складові, але не може бути включеною в будь-яку найбільшу природну систему. Для всіх природних систем вплив Сонця повинен враховуватись у вигляді зовнішнього. Для системи на рис.



**Рис. 2.3. Залежність кількості особин від маси** Вплив цих складових повинен враховуватися двома шляхами – частково у вигляді внутрішніх зв'язків і частково – зовнішніми зв'язками. Наприклад, для річки вплив показників води біля берега на рослинність і рибу буде враховано внутрішніми зв'язками, а залежність цих показників від гідрологічних, гідрохімічних і гідробіологічних властивостей всієї ріки – зовнішніми зв'язками у вигляді відповідних її характеристик.

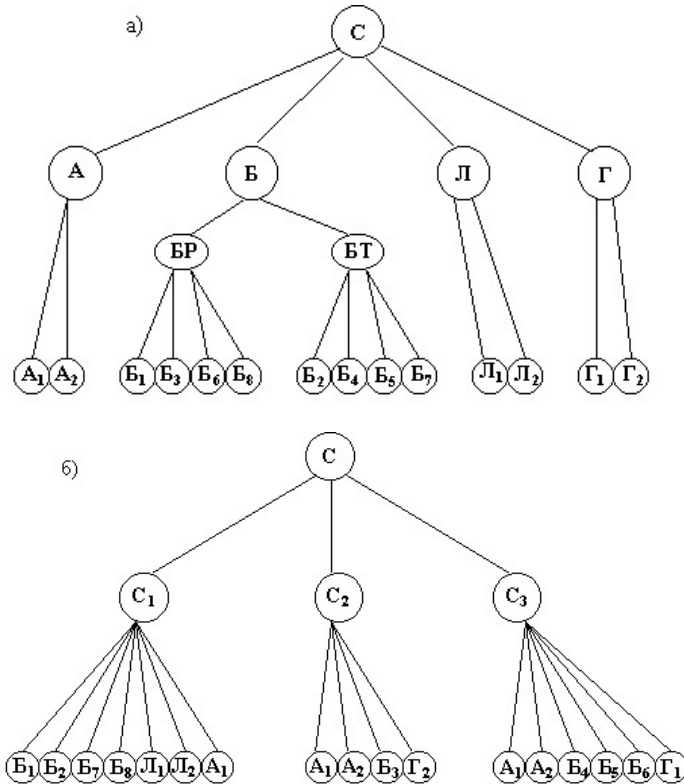
Друге питання: як краще виконати розподіл (декомпозицію) системи на складові для наступного аналізу? Відповідь залежить від



**Рис. 2.4. Природна екосистема:**

С – система; С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>, С<sub>3</sub> – підсистеми; А – атмосферна (газоподібна) речовина (А<sub>1</sub> – атмосферне повітря, А<sub>2</sub> – хмара); Б – представники живої природи – біосфери (Б<sub>1</sub> – дерево; Б<sub>2</sub> – заєць; Б<sub>3</sub> – трава; Б<sub>4</sub> – птах; Б<sub>5</sub> – риба; Б<sub>6</sub> – водна рослина; Б<sub>7</sub> – черв'як; Б<sub>8</sub> – гриб); Л – тверда (літосферна) речовина (Л<sub>1</sub> – ґрунт; Л<sub>2</sub> – підґрунтова вода); Г – річка речовина (Г<sub>1</sub> – річкова вода, Г<sub>2</sub> – ґрунтова вода)

мети аналізу – які складові і які зв'язки нас більше цікавлять. Тому декомпозиція системи може бути виконана різними шляхами і представлена різними структурно-ієрархічними схемами. На рис. 2.5



**Рис. 2.5. Схеми природної системи:**

а) декомпозиція за сферовим принципом; б) декомпозиція за фрагментарним принципом; БР – підсистема “рослини”; БТ – підсистема “тварини” (інші позначки див. на рис. 2.4)

показано дві можливі декомпозиції природної екосистеми рис. 2.4.

В обох випадках схеми мають три рівні – рівень системи, рівень підсистем і рівень елементів, які прийняті як організми – найменші утворення, якими займається екологія.



Розглянута система, в свою чергу, є підсистемою більшої системи – чотирирівневої. Чим більша за розмірами екосистема, тим більше в ній складових і рівнів, тим більш розгалужена її структурно-ієрархічна схема. Тому в дуже складних системах декомпозицію, як правило, не доводять до рівня елементів, а зупиняються на рівні складових, які розглядаються як “чорні ящики”.

У залежності від складності і розмірів природні екосистеми діляться на три групи: локальні, регіональні і глобальні. Чітко проведено межу мінімальної локальної системи і максимальної глобальної. Мінімальною локальною природною системою є окремий організм і його найближче середовище. Максимальною глобальною природною екосистемою є біосфера Землі. Межі між групою локальних і групою регіональних, так само як між групою регіональних і групою глобальних природних екосистем, нечіткі.

### *Контрольні запитання і завдання*

1. Що таке природна екологічна система?
2. Чим відрізняється системний підхід від популяційного?
3. Перелічіть сім ознак природної екологічної системи.
4. Поясніть різницю між зовнішнім і внутрішнім зв'язком системи.
5. Що таке “чорний ящик” в екологічній системі?
6. Як визначити межі природної екосистеми?
7. Дія якої природної складової не може бути представлена у вигляді внутрішнього зв'язку?
8. На базі рис. 2.4 показати декілька природних екологічних систем меншого розміру.
9. Представити структурно-ієрархічні схеми систем, розроблених по завданню 8.
10. Проаналізувати рис. 2.4 для визначення меж природних екосистем трьох груп.
11. В чому різниця реагування на дію біотичного і абіотичного об'єкта?
12. За яких умов популяція може розмножуватися по експоненційному закону?