

УДК 581.52.55

А.К. Малиновський

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ФІТОЦЕНОЛОГІЇ

Малиновский А.К. Системный подход в фитоценологии // Науч. зап. Гос. природоведч. музея. – Львов, 2007. – Вып. 23. – С. 119-136.

Наработки в использовании общесистемных методов в разных областях знаний с успехом используются и в биологических исследованиях. Тем не менее, ряд вопросов относящихся к терминологии, определениям, теоретическим и методологическим аспектам исследований и моделирования фитоценосистем остаются неопределенными. Обсуждаются возможности применения принципов и методов системного подхода в фитоценологических исследованиях.

Malynovsky, A. Principles of the system approach in phytocoenology // Proc. of the State Nat. Hist. Museum. – Lviv, 2007. – 23. – P. 119-136.

The acquired experience in usage of general systems methods in different fields of knowledge are successfully used in biological researches too. Nevertheless, a number of problems concerning the terminology, definitions, theoretical and methodological aspects of researches and phytocoenoses modeling still remain unsolved. The opportunities of introducing the principles and methods of the system approach in phytocoenotic researches have been discussed.

Ідеї системності почали формуватись в середині XIX ст. під час дослідження таких складних динамічних об'єктів як людське суспільство та біологічний світ. Вже в XX ст. розробляються конкретні концепції системності: теорія Богданова – 20-ті роки, загальна теорія систем Л. Бергаланфі – 50-ті роки, системотехніка – 60-ті роки тощо. Сьогодні системний підхід знайшов найширше застосування у різноманітних наукових напрямках – соціології, психології, історії, політології, економіці, фізиці, архітектурі тощо [8, 28, 32, 44, 45, 40 та ін.].

У фітоценології системний підхід інтенсивно розвивався в останні десятиліття минулого століття [1, 2, 29, 14, 9, 30, 11, 12 та ін.]. На засадах системності створена кібернетична модель фітоценозу – схема циклів кругообігу речовини і енергії в системі фітоценоз-середовище, введені формалізовані поняття – вхід, вихід системи, зворотній зв'язок, стохастичність характеру саморегуляції фітоценосистем тощо. Водночас розроблялись моделі фітоценозів, зокрема, з застосуванням мікропідходів – аналіз передачі інформації в окремих блоках системи, і макропідходів, за яким аналізується система загалом [23], обґрунтовується імітаційний підхід – наближення числа параметрів моделі до числа реальних параметрів системи і опис зв'язків цих параметрів, та оптимізаційний – синтез оптимальних моделей, що наближаються до своїх прототипів – оптимальних систем [38], метод клітинних автоматів [36] та ін. Сьогодні математичні моделі знаходять найширше застосування у різноманітних напрямках [3, 35, 46, 47 та ін.], у тому числі таких спеціалізованих як моделювання неперервних культур мікроводоростей [43, 42, 39], моделей динаміки неоднорідних популяцій [18] тощо.

Системний підхід у фітоценології передбачає вивчення структури, організації та динаміки угруповань, встановлення взаємозв'язків і взаємозалежностей. Головний об'єкт дослідження – фітоценоз як відносно однорідний контур рослинності, сформований групами видових популяцій, які пов'язані умовами екотопу та певними

взаємостосунками в межах ділянки території – є типовою біологічною системою і типовим об'єктом системного аналізу.

Проте ряд питань, які стосуються термінології і понять, теоретичних і методологічних аспектів досліджень фітоценосистем залишилися невизначеними. Дана стаття є спробою узагальнення теоретичних і методологічних засад загальносистемного аналізу [5, 6, 19, 32, 26, 16] з метою вироблення методологічних принципів застосування системного підходу у фітоценологічних дослідженнях.

Методологічні основи, сутність і завдання системного підходу

Найважливішою особливістю природного середовища є нерівномірність розподілу в просторі і часі речовини, енергії та інформації, що і створює феномен різноманітності. Ця нерівномірність виявляється у тому, що всі компоненти матеріального групуються, об'єднуються у відносно уособлені в просторі і часі сукупності. Не існує об'єктів або явищ, які б не утворювали систему з іншими об'єктами і не були б системою [5, 6, 24 та ін]. Процесам роз'єднання, дезінтеграції протистоять процеси об'єднання, що й зумовлює ефекти системності.

Система – не тільки ціле, що складається з частин, але й порядок, що визначається певним розподілом частин у цілому та їхніми взаємозв'язками. Терміном "системний підхід" означається група методів, за допомогою яких реальний об'єкт описується і вивчається як сукупність взаємопов'язаних компонентів. Ці методи розвиваються в межах окремих наукових дисциплін, міждисциплінарних синтезів і загальнонаукових концепцій. Необхідність системного підходу у фітоценологічних дослідженнях зумовлена складністю об'єктів, потребами у використанні та збереженні, інтеграцією знань та поширенні інформації.

Сутність системності полягає у координованості та спрямованості динаміки усіх елементів на підтримку існування та функціонування усієї системи, її відносно замкнутості та цілісності. Складові системи (елементи, компоненти системи або підсистеми) розглядаються не тільки як нижчий рівень структурної ієрархії "ціле-частина" або "частина-ціле", але й у зв'язку "частина-частина". При цьому, пріоритетним для окремих елементів системи завжди залишаються "власні інтереси", певна автономність, а система вищого організаційного рівня несе у собі потенційну загрозу для підсистем нижчого ієрархічного рівня. Таким чином, кожна система є певним компромісом між "власними інтересами" підсистем і необхідністю підпорядковуватись "інтересам" корпоративним.

Загальними завданнями системних досліджень є аналіз і синтез. У процесі аналізу система виділяється з середовища, встановлюється її склад і структура, функції, інтегральні характеристики (властивості), системоутворюючі і дезінтеграційні чинники, взаємозв'язки з середовищем. У процесі синтезу будується модель реальної системи.

Системний підхід є засобом вирішення різноманітних теоретичних і практичних завдань. У теоретичному плані – це інтеграція і систематизація знань, виявлення і усунення зайвої або несуттєвої інформації, скорочення за рахунок цього обсягів описів, виявлення інформаційних інваріантів, подолання недоліків локальних підходів, зменшення суб'єктивізму в інтерпретації явищ або процесів. Системний підхід дозволяє виявити відсутність або неповноту інформації про об'єкт досліджень,

визначати завдання наукових досліджень, в окремих випадках (інтерполяцією або екстраполяцією) передбачати властивості відсутніх частин описів. Прикладні завдання, що вирішуються за допомогою системного підходу, можуть бути пов'язані з прогнозуванням, управлінням, реконструкціями і збереженням фітоценосистем або їхніх частин, та поширенням інформації.

У вузькому розумінні системний підхід слід розуміти як застосування системних методів до вивчення реальних фізичних, біологічних, соціальних та інших систем. У широкому розумінні системний підхід включає, крім цього, застосування системних методів для вирішення різноманітних конкретних завдань – систематики, планування, прогнозування, проведення комплексного і системного експерименту тощо.

Загальносистемні категорії

Систему складає сукупність будь-яких об'єктів, між якими існують певні стосунки. Множина об'єктів, що утворює систему є її складом. За розподілом множин на підмножини і елементи розрізняють макросклад і мікросклад. Структурою системи називають постійну частину взаємостосунків, які існують між компонентами системи. Між об'єктами множин можуть виникати відношення різних типів, відповідно в одній системі може бути декілька структур.

Система – будь-який об'єкт природи (або сукупність взаємодіючих об'єктів, у тому числі різної природи), що володіє системною властивістю (властивостями), тобто властивістю, якої не має жодна з частин системи за будь-якого способу розчленування і не виводиться з властивостей частин. Частини системи, що мають аналогічні властивості, називаються підсистемами. Об'єднання декількох систем є надсистемами або системами вищого порядку. Елементом системи є об'єкт (частина системи) з однозначно визначеними властивостями. Поняття "елемент", "підсистема", "система", "надсистема" можуть взаємно перетворюватись: система розглядається як елемент системи вищого порядку (надсистема), а елемент – як система (при поглибленому аналізі). Велика система, як правило, є складною, це система з великим числом підсистем. При цьому існує загроза певного суб'єктивізму – відношення до системи визначається не тільки її сутністю, але й позицією дослідника (метою досліджень).

Система (підсистема, елемент) має вхід – дискретну або неперервну множину "контактів", якою передається вплив середовища системі, і вихід – множину "контактів", через які система впливає на середовище. Будь-який елемент системи має щонайменше один вхід і один вихід. Вплив може здійснюватись через передачу речовини, енергії, інформації, або комбінації цих компонентів. Середовищем для однієї з підсистем системи можуть бути решта підсистем або частина з них, а також інші системи. Таким чином, середовище – також система.

Структура і функції системи

Одним з головних чинників, а по суті механізмом контролю та регулювання стійкості системи, є її структура. Структура фітоценосистеми – основна її характеристика, вона визначає кількість формуючих систему елементів та їхні

взаємовідношення. Для поняття структури існує багато різноманітних визначень [32]: структура – як форма представлення якогось об'єкту у вигляді складових частин; як відносно стійкий, впорядкований спосіб зв'язку елементів, що надає їхній взаємодії в межах внутрішнього розчленування об'єктів цілісний характер; як тип (вид) взаємозв'язку елементів в системі, що залежить від закономірностей, за якими елементи знаходяться у взаємодії; як впорядкованість, композиція елементів що зберігається (тобто інваріантна) відносно певних змін (перетворень); як сукупність елементів і зв'язків між ними, які визначаються, виходячи з розподілу функцій і цілей; це те, що залишається незмінним у системі за зміни її стану, тобто реалізації різних форм поведінки, перерозподілу маси та речовини тощо.

Таким чином, структура системи визначається як сукупність взаємодіючих елементів, які утворюють єдиний об'єкт, і виявляється у зв'язках між елементами системи, зворотних зв'язках, складі і будові системи та інваріантності (незмінності) системи в часі. По суті властивість незмінності і є основним поняття структури. Структура системи формується в процесі еволюції (розвитку) в якомусь ланцюгу змінних середовищ і відображає просторово-часові чинники дій цих середовищ. Тому слід розрізняти статичні структури фітоценосистем – територіальну, еколого-ценотичну, флористичну, ценопопуляційну, та динамічні – еволюційну і сукцесійну.

Функцію системи характеризує прояв її властивостей або засобів взаємодії з середовищем, тобто функція – це поведінка системи в якомусь середовищі. Визначається функція щонайменше двома чинниками: внутрішнім – структурою системи, та зовнішнім – середовищем. Середовище формують зовнішні стосовно до досліджуваної системи цілісні об'єкти (системи), а також речовинні та енергетичні ресурси середовища. Таким чином, в основі функції покладено існуючі властивості структури системи переробляти речовинні та енергетичні ресурси. Складність функції не визначається складністю структури системи: структура може бути відносно простою, тоді як складність і багатомірність зовнішнього середовища і формує складність у функції (поведінки) системи в цьому середовищі.

Стан системи – впорядкована сукупність значень внутрішніх і зовнішніх параметрів, які визначають перебіг процесів, що відбуваються в системі. Множина станів системи може бути кінцевою, континуальною або дискретною, проте реально для біосистем, з огляду на величезну кількість різноманітних за спрямованістю і інтенсивністю впливу чинників, є невизначеною. Для забезпечення впорядкованості будь-якої системи повинні існувати принципи так званої узагальненої негентропії [24]. Окрім цього існує низка понять, які використовують в описах стану і динаміки системи: процес – впорядкована в часі послідовність значень змінних, що характеризують систему; системотвірні і системоруйнівні чинники – викликають утворення або руйнацію системи, а також системозберігаючі та системорозвиваючі чинники; еволюція системи – зміни складу, структури, функцій і властивостей протягом часу її існування.

Класифікація систем та їхній опис

Системний підхід передбачає встановлення типів і розмірностей систем, розчленування їх на підсистеми, і, залежно від мети досліджень, може проводитись за різними класифікаційними схемами. Усі існуючі системи за їхніми істотними

ознаками діляться на фізичні, біологічні, соціальні і т.д. Їхній опис – гомоморфне відображення реальних систем, об'єктивними формами існування яких є час і простір, а об'єктивними умовами їхнього руху – енергія і різноманітність. Ці характеристики використовують як основу для первинної класифікації систем та їхнього опису: за часом – статичні і динамічні; за простором – з сконцентрованими і розосередженими параметрами; за енергією – активні і пасивні; за інформацією – дискретні і безперервні.

Системні описи можуть відображати статику і динаміку систем, процесів, станів, поведінки та розвитку, і складають інформаційний банк даних – різноманітну інформацію, згруповану і впорядковану відповідно до структури об'єктів і мети досліджень. Така впорядкованість загалом відображається термінами етапності, стадійності, періодичності тощо. Опис об'єкта як системи виконує загальноприйняті наукові цілі – пояснення і показу, проте головна функція полягає в інтеграції інформації про об'єкт.

Незважаючи на різноманітність варіантів системного підходу і видів систем, існує загальний принцип їхнього опису – математична теорія множин: множини, декартова похідна і відношення. Декартова похідна складає операцію поелементного впорядкованого об'єднання множин. На декартовій похідній однакових множин можуть задаватись відношення еквівалентності, порядку і толерантності. У відношеннях розрізняють неоднозначні, однозначні та взаємооднозначні відношення. Поняття "відношення" має дещо узагальнений характер і може включати взаємозв'язок, залежність, взаємозалежність. Остання може бути неоднозначною, однозначною і взаємооднозначною.

За аналогією з математичним базисом, базис системного опису складає повний впорядкований набір об'єктів, що сприймається дослідником. Базис дозволяє переконатись у повноті системного опису, впорядкувати компоненти системного опису, отримати стійку (базову) основу опису, використовувати цю основу для співставлення різних описів одного і того ж об'єкта, виявити спільність/відмінність різних об'єктів.

У математиці під базисом розуміють повний набір математичних об'єктів, за допомогою якого у стандартній формі можна представити будь-який математичний об'єкт певним числом множин. Наприклад, числовий базис – натуральний ряд чисел, ряд Фібоначчі; функціональний – набір булевих функцій одного і двох аргументів (кон'юнкція, диз'юнкція, заперечення), набір функцій синуса і косинуса натурального аргументу при розкладенні періодичних функцій в ряд Фур'є; геометричний – дерево дихотомічної ієрархії; у фізиці – множини стану речовини, множини кольорів спектра тощо [16].

В основу системного базису покладено набір принципів гармонійного (взаємопов'язаного) цілого. Основними характеристиками біосистем (ценопопуляція, фітоценоз) є часові, просторові, інформаційні (різноманітність) і енергетичні характеристики. Вони пов'язані між собою, але з них можна виділити просторово-часові та інформаційно-енергетичні континууми. Перші – об'єктивні форми існування (матерії взагалі), другі – необхідні умови виникнення руху. Сукупність цих понять, разом з поняттям субстрату, котрий є носієм перерахованих характеристик, слід розглядати як загальнонауковий базис. За певних умов їх можна розглядати як незалежні. Ефективність істотно збільшується методом накладення, зокрема,

об'єднання двох базисів: субстрат-час-простір-енергія-інформація і базису гармонійного (взаємопов'язаного) цілого – повторність-рівноваженість-підпорядкованість-співрозмірність [26, 32].

Рівні організації систем

До біологічних систем належать складні системи різних рівнів організації: біологічні макромолекули, субклітинні органели, клітини, органи, організми, популяції, угруповання, екосистеми. В організації біологічних систем відповідно виділяють рівні: молекулярний, клітинний, організмівий, популяційно-видовий, біоценотичний і біосферний [22]; організмівий, популяційно-видовий, ценотичний, формаційний та біосферний [13]; біомолекулярний, органельний, клітинний, тканинний, органний, організмівий, популяційний, ценотичний та біосферний [33]; молекулярно-генетичний, організмівий, популяційно-видовий, біоценотичний, біосферний [12]. Для фітоценозів цілком придатною видається багаторівнева класифікація механізмів управління системи. Відповідно, координація дій тут здійснюється на наступних організаційних рівнях:

1. Організмівий – взаємний контроль і взаємодія на рівні макромолекул, мультимолекулярних комплексів, органодів, клітин, тканин, органів, спрямований на підтримання цілісності і виживання організму.

2. Ценопопуляційний – спрямування розвитку ценопопуляції за оптимальним для даної ситуації сценарієм. Структурна і функціональна неоднорідність складу ценопопуляції дає можливість розподілу на підсистеми – групи особин (блоки) або субценопопуляції. Підсистемами ценопопуляції є: а) статеві у дводомних, що включають особини одної статі; б) вікові – в складі яких особини одного вікового стану; в) віталітетні – об'єднують особини однакового життєвого стану [15].

3. Ценотичний – контроль загального розвитку фітоценосистеми, обмеження і спрямування в межах угруповання для підтримання його стійкості і стабільності.

Залежно від ефективності та дієвості механізмів саморегуляції, які працюють на всіх рівнях, система набуває характерних ознак – формується структура системи. До найголовніших властивостей ценопопуляції Ю.А. Злобін [15] відносить: складність, яка полягає в характері набору елементів (особин) в ценопопуляції та особливостях взаємодії між ними з урахуванням щільності мережі зв'язків елементів; різноманітність, що визначається якісною неоднорідністю елементів в межах ценопопуляції; цілісність, яка забезпечує внутрішню організованість та взаємозалежність елементів з розподілом її на структурну і функціональну цілісність; стійкість, що виявляється у збереженні ценопопуляції за дії несприятливих чинників.

Складні системи можуть мати різну природу – фізичні, біологічні, соціальні тощо, а тому закономірним є питання, чи ґрунтуються такі різні об'єкти на однакових принципах? Виведення узагальнених законів наштовхується на істотні труднощі або унеможливується унікальністю і неповторністю складних систем. З огляду на різне розуміння понять, що використовуються для опису систем різної природи, знайти такі універсальні закони, які б охоплювали всі складні системи і водночас дозволяли конкретизацію, неможливо (принаймні сьогодні). Поняття "властивостей", тобто постійних характеристик складу і співвідношення між складниками системи, є ширшим, і в цьому випадку підходить більше.

До найголовніших властивостей фітоценотичних систем належать різноманітність, складність, відмінність, стійкість, емерджентність і неідентичність [27]. В цій статті пропонується, в загальних рисах, розглянути самоорганізаційні (синергетичні) властивості систем, які пов'язані з поняттями динамічного хаосу і нелінійної динаміки.

Самоорганізаційні властивості фітоценосистем

Під фітоценосистемою (у широкому значенні) розуміють сукупності рослинних організмів, які формують специфічне фітосередовище, що дозволяє зростання певного набору видів у певному кількісному співвідношенні. Системою планетарного рангу є фітосфера, що складається з набору фітоценохоріонів різного рангу і які є її елементами. Фітоценохоріон (фітом) – системи регіонального рівня, елементами якого є фітоценози, а елементами фітоценозу – ценопопуляції [11].

В еволюційному аспекті, зокрема з метою реконструкції розвитку рослинного покриву, системний підхід реалізується шляхом встановлення палеофітоценосистем, які формували певні типи рослинного покриву на різних часових відтинках. У сукцесійному аспекті, наприклад, лісовий фітоценоз і сформована на його місці післялісова лука, залежно від мети досліджень, можуть розглядатись як дві різні системи, або як одна система, що складається з двох підсистем. В окремих випадках, наприклад, з порушенням стоку ґрунтових вод та розвитку болототвірних процесів, на місці вже післялісових лук формуються гіпновомохові угруповання, що утруднює відтворення не тільки близького до первинного угруповання, але й лісу загалом. Такі угруповання можна розглядати як похідні системи, або як окремі системи.

Фітоценосистеми, як і всі біологічні системи, є складними, багатокомпонентними та просторово структурованими, елементи котрих володіють індивідуальними ознаками. Ступінь складності пов'язаний з числом встановлених частин і мірою їхньої зв'язності [20]. Складність виражається потужністю множин, що розглядаються – множини змінних, множини параметрів, множини станів тощо, тобто складність системи пропорційна обсягу інформації. Відсутність певної універсальної міри складності зумовлює необхідність індивідуалізації систем промірів як конкретної системи, так і окремих її елементів. Водночас, застосовуючи до одного і того ж об'єкта різні системи промірів, можна виявити різні аспекти його організації і будови.

Простими вважаються системи, що не мають розгалуженої структури, тобто в таких системах не можна виділяти ієрархічні рівні, в них незначна кількість взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів, що виконують найпростіші функції. Такі системи як статично, так і в динаміці легко описуються, проте у прогнозуванні і моделюванні можуть виникати істотні труднощі. Як не дивно, навіть простим системам властива хаотичність поведінки, і як наслідок непрогнозованість, при цьому причини виникнення хаотичності встановити важко. Складну систему характеризують розгалуженість структури та значна кількість взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів. Високий (жорсткий) ступінь взаємозв'язків і взаємозалежностей в складних системах призводить до того, що зміна властивостей будь-якого одного елемента або зв'язку спричиняє зміни в інших елементах. У складних системах можуть існувати структури, які за певних змін (впливу, дій)

входять в дисонанс зі станом або напрямом розвитку системи загалом. Тому опис системи є достовірним тільки для конкретного часового відтинку. З підвищенням складності система може бути охарактеризована параметрами стану, впорядкованості, організованості та керованості. У дослідженнях питань складності можна виділити два методологічні підходи.

Перший – агрегований підхід, полягає у встановленні визначальних характеристик системи (наприклад, загальна чисельність видів, чисельність на одиницю площі, вікова структура, синузальність та ін.), і розглядає змінність цих величин у часі – стійкість стаціонарного стану, наявність коливань, просторову неоднорідність тощо. Стаціонарний стан – режим функціонування системи, котрий встановлюється протягом певного часового відтинку і, в моделях, відповідає поняттю атрактора. До таких режимів відносять стійкий стаціонарний стан, циклічні коливання, квазістохастичні режими типу “дивний атрактор” [10, 31]. Другий підхід – детальний розгляд елементів системи та їхніх взаємодій, побудова імітаційних моделей, параметри котрих мають зрозумілий фізичний і біологічний зміст; за достатнього вивчення елементів системи можливий кількісний прогноз її поведінки за різних зовнішніх впливів.

Стійкість і нестійкість системи. Стабільність і нестабільність

Фітоценосистеми, як і всі біологічні системи, є динамічними. Функціональний режим динамічної системи є стійким, якщо малі збурення загасають з часом, прямуючи до нуля. Якщо такі малі відхилення від режиму функціонування системи нарастають з часом, то такий режим є нестійким.

Явища нестійкості і нестабільності привернули увагу завдяки новітнім експериментальним та теоретичним відкриттям, зокрема, неврівноважених структур, що виникають як результат незворотних процесів, в яких системні зв'язки формуються самі собою; ряду відкриттів щодо динамічних, нестабільних систем, що повністю змінили існуючі уявлення про детермінізм; відкриттів у галузі елементарних частин, що продемонстрували фундаментальну нестабільність матерії. Однозначна детермінованість виявилась окремим випадком, а передбачуваність – принципово обмеженою. Сформувалась нова область міждисциплінарних досліджень – нелінійна динаміка, яка включає нелінійну термодинаміку, теорію катастроф, теорію динамічного хаосу і фрактальну математику. З'явилися спеціалізовані журнали *Nonlinear World; Nonlinearity; Journal of Nonlinear Science; Physica D. Nonlinear Phenomena; Chaos; Chaos, Solitons and Fractals; Fractals; International Journal of Bifurcation and Chaos* та ін., видано численні роботи по теорії катастроф, хаосу та фракталах.

Функціонування фітоценосистеми спрямоване на підтримання стійкості і стабільності як її частин (або за рахунок частин), так і системи загалом, і здійснюється різноманітними механізмами: перебудовами, змінами структури, співвідношень і зв'язків між елементами, регуляцією чисельності, нагромадженням та перерозподілом речовини та енергії тощо. Загалом стійкість і стабільність системи є її властивість протидіяти змінам зовнішніх чинників.

Концепція стійкості екосистем (фітоценосистем) передбачає наступні положення: різноманітність, яка виявляється в ущільненні еконіш, визначає стійкість;

більша складність системи відповідає її більшій стійкості. Проте однозначної залежності між складністю системи і її стійкістю немає. Складні системи можуть бути стійкими і нестійкими, так само як стійкими або нестійкими можуть бути і прості системи [7, 41].

Відносність понять стійкості і стабільності очевидне. Фітоценосистеми є енергетично проточними і неврівноваженими структурами, в яких діють постійні коливальні режими. Проблеми зв'язків між коливальними режимами в локальних (точкових) системах та просторово-часовими структурами у екосистемах є предметом досліджень останнього часу [10]. Як і у фізичних та хімічних системах, вирішальну роль тут відіграє характер нелінійних взаємодій, який визначає шляхи масо- та енергообміну. Фітоценосистеми, як і всі біологічні системи, знаходяться під постійним періодичним і нерегулярним антропогенним і геофізичним впливом, їхні біологічні складові володіють ендogenous біологічними ритмами, вони далекі від стану термодинамічної рівноваги і тому можуть описуватись нелінійними рівняннями. Як за зміни зовнішніх чинників, так і самі собою комплекси структурних і енергетичних циклів у фітоценотичних системах перебувають у стані постійних перехідних процесів. Вони відображають адаптивну реакцію системи на зміну зовнішніх чинників, є фундаментальною особливістю живих систем загалом, специфічною тимчасовою і змінною властивістю їхньої організації. Еволюційний аспект тимчасової організації біосистем зводиться до залежності між рівнем організації, складністю і особливостями проходження циклічних процесів.

Основні типи поведінки системи пов'язані з потенціальною стійкістю і можливостями пристосування системи та її підсистем. Головним тут є координація взаємодії, ієрархічність структури, здатність системи збільшувати або зменшувати структурну цілісність під впливом навіть незначних збурень. Оцінка стійкості системи можлива за параметрами часової і просторової організації коливальних процесів [25].

Складність структури фітоценосистем, величезна кількість різного рівня взаємозв'язків і взаємозалежностей між її елементами не піддаються оцінці в конкретних промірах, має, загалом, описовий характер, і перебуває, швидше в межах інтуїтивного розуміння цих процесів. Проте зрозуміло, що стійкість і стабільність фітоценосистем є наслідком тривалого процесу еволюційно-адаптаційного розвитку як системи загалом, так і окремих її елементів. Стійкість і стабільність забезпечується певними комбінаціями видових популяцій, у яких вироблені відповідні адаптивні фізіологічні, біохімічні, екологічні та інші реакції, певною організацією структури. Стабільність середовища завжди виступає головною умовою стійкості фітоценосистем і залежить від адекватності їхньої структури даним умовам. Відношення стійкості/нестійкості і стабільності/нестабільності можна діагностувати на рівні стійкості домінантної фітоморфної будови, флористичної та популяційної стійкостей. Таким чином, вивчення стійкості/стабільності фітоценосистем – це встановлення їхньої структури, яка відображає набір діючих чинників середовища (як природних, так і антропогенних), а також їхню інтенсивність, спрямованість, обсяг, періодичність та ін. Критеріями стійкості/стабільності можуть бути різноманітні оцінки стану популяцій – життєвість, популяційна стратегія, вікова структура, чисельність і щільність популяції у різні проміжки часу тощо.

Виходячи з методологічних розробок в царині детермінованого хаосу і нелінійної динаміки [10, 32, 21, 24 та ін.], можна припустити, що нестійкість фітоценосистеми забезпечує її стабільність і, навпаки, стійкість спричиняє її нестабільність. Це положення не означає, що абсолютна нестійкість забезпечує стабільність системи. Нестійкість і нестабільність – фундаментальні властивості матерії взагалі, що забезпечує певний "люфт", "свободу дій" або "ступені свободи", і у фітоценосистемах виявляється у наявності численних вільних екологічних ніш. Існує певна область значень змінних системи (атрактор), де формуються відносно стійкі зв'язки, що забезпечує, в одному випадку, властивість протистояти порушенням, зберігаючи незмінними структуру та функції (пружна стійкість), в іншому – відновлюватись після порушень структури та функцій (резистентна стійкість). Загалом, нестійкість є головною передумовою розвитку і еволюції систем.

Для нестійких та стабільних угруповань характерна багаторівнева природа та прояви специфіки на різних рівнях організації. Стійкість угруповання є іманентною властивістю всіх елементів, полягає у здатності зберігати інваріантну структуру в умовах дії несприятливих чинників, і є наслідком тривалого адаптивного процесу. Механізми зберігання властивостей угруповання, які й забезпечують його стійкість, виявляються у своїй ієрархічності і нестійкості (постійні коливальні процеси), функціонуючи на рівні особини, груп особин, ценопопуляції і угруповання загалом. Стабільність угруповання зумовлена рівнем адаптації популяцій, тобто здатністю змінювати структурно-функціональні параметри. Адекватність популяцій умовам середовища є основою напрацювання механізмів стабілізації угруповання та механізмів змін фітоценоструктури. Механізми стабілізації можуть виявлятися у тимчасовій або перманентній зміні популяційних параметрів – маси, чисельності, віково-структурної та просторової реакції, зміни або коливання екобіоморфологічної структури та ін.

Детермінованість і стохастичність

Загальноприйнятим, принаймні до недавнього часу, було твердження (уявлення) про детермінованість структури фітоценосистем умовам середовища. Проте сьогодні постає розуміння, що структурованість може бути зумовлена не тільки реально існуючою просторовою неоднорідністю середовища, але й специфікою локальних взаємодій формуючих фітоценосистему популяцій.

Принципи детермінізму, зокрема, „класичного детермінізму”, значною мірою сформувались під впливом механіки Ньютона, що призвело до утвердження розуміння однозначності причинно-наслідкових зв'язків. Безпосереднім відображенням класичного детермінізму в біології став ламаркізм, де еволюція розглядалась як результат прямої дії певних чинників. Зокрема, спадковість ознак вважалась виникаючою за безпосереднім впливом розвитку окремого органу внаслідок постійних вправ або навантажень (механоламаркізм), виконання певної функції (психоламаркізм) тощо.

Еволюційне вчення не могло успішно розвиватись без уявлень про дискретність і стохастичність носіїв спадкової інформації. Кожна нова ознака, що виникає внаслідок „невизначеної” мінливості, повинна поступово зникати, „розчинятись” у наступних поколіннях. На стохастичному детермінізмі базується дарвінізм, теорія

ймовірностей і кібернетика. Ці напрями, окрім ідей стохастичності, вивели на перший план концепцію атомізму, дискретності, яка закладена в дискретно-математичній базі кібернетики. Фактично дискретність характеру спадкової інформації довели роботи Г. Менделя. Проте остаточно концепція дискретності була визнана і увійшла в загальнонауковий світогляд лише після відкриття квантів енергії М. Планком.

У детермінованій системі її елементи і зв'язки між ними взаємодіють прогнозовано, у їхніх дослідженнях не виникає жодної невизначеності. Якщо відомий стан системи та програма її переходу в інший стан, то завжди можна описати цей другий стан. У стохастичній системі елементи і зв'язки між ними взаємодіють таким чином, що не можна точно передбачити її поведінку, або послідовність наступних станів. Така система завжди залишається невизначеною, прогнози її розвитку або майбутнього стану (станів) визначаються в рамках вірогіднісних категорій, за допомогою яких і описується поведінка, зміни, вектори розвитку тощо.

Згідно засадам детермінізму будь-яка подія є детермінованою, різниця полягає тільки у кількості визначаючих її чинників. Базис детермінованих процесів у фітоценотичних системах складає замкнутість циклічних зв'язків, що закладено в основу будь-якої цілісної системи. Чим більша і складніша система, тим більше матеріально-енергетичних циклів в ній замикається, тим більше вона детермінована.

Детермінізм явищ (процесів) зумовлений замкнутими (циклічними) зв'язками в середині системи, які виступають регуляторами стану системи, підвищення її стійкості і більш жорсткої її детермінації. Стохастичність явищ або процесів у системі зумовлена невпорядкованими впливами як зовні, так і внутрішніми чинниками. Роботи останніх років, пов'язані з прогнозуванням і так званим детермінованим хаосом, дозволили зрозуміти існування істотних, ймовірно нездоланих труднощів. Виявилось, що в принципі не можна дати довготривалий прогноз поведінки для величезної кількості навіть порівняно простих механічних, фізичних, хімічних і біологічних систем. Припускається, що непередбачуваність на великих часових відтинках характерна для багатьох об'єктів, які вивчає екологія, економіка, соціологія, психологія тощо [31].

Дослідження детермінованого хаосу показали, що парадоксальними властивостями володіють навіть об'єкти, які добре описуються класичною механікою. Головне, що було привнесено в проблему прогнозів – новий напрям досліджень, що називається нелінійною динамікою.

Нелінійність – важлива властивість складних систем. При порушенні будь-якого нестійкого режиму (всі біосистеми перебувають в стані відносної стійкості, або нестійкої рівноваги), спочатку спостерігається зростання збурення в системі. Відхилення буде наростати до певного часу, поки в дію не вступить механізм нелінійного обмеження процесу наростання збурення. Нарощення амплітуди збурення не може розвиватись до безкінечності – через обмеженість енергетичних ресурсів системи це нарощування повинно припинитись або змінитись зменшенням амплітуди відхилень. Будь-який новий режим повинен мати кінцеву амплітуду, і управляють цими процесами нелінійні закони, а властивості нелінійності системи безпосередньо залежать від її стану [4].

Нелінійна динаміка, попри існування вже відомих двох класів об'єктів – детермінованих, прогноз яких можна провести в будь-який час, і стохастичних, де не

можна говорити про детермінований прогноз, а тільки оперувати статистичними характеристиками – середніми значеннями, дисперсіями, розподілом вірогідностей тощо, виявила ще один клас об'єктів. Формально вони є детермінованими, знаючи їхній поточний стан, можна прогнозувати розвиток і стан системи в майбутньому. Разом з тим прогнозувати їхню поведінку можна тільки протягом обмеженого часу. Будь яке мале відхилення початкового стану наростає з часом, і з якогось моменту можливість прогнозування втрачається. На таких часових відтинках система поводить себе хаотично. Такі системи, де можливості прогнозування виявились надзвичайно обмеженими, були відкриті в гідродинаміці, астрофізиці, фізиці плазми, геофізиці, екології та ін. Математичний образ детермінованих неперіодичних процесів, для яких неможливий довготривалий прогноз, були названі дивним атрактором (strange attractor) [31,10].

Індивідуальність фітоценосистем.

Кожна фітоценосистема індивідуальна і неповторна, а тому є унікальною, володіє специфічними, притаманними тільки їй властивостями і (або) ознаками у функціях, структурі тощо. Властивість унікальності є зовнішнім відносно системи і впливає на її оцінку (виділення, цінність). Унікальність фітоценосистем забезпечується властивістю цілісності.

Фітоценосистема як ціле володіє особливою, системною властивістю (або властивостями), яких немає у підсистем (елементів) за будь-якого способу декомпозиції. Системні властивості формуються шляхом нагромадження, посилення і прояву одних властивостей підсистем одночасно з нівелюванням, послабленням або приховуванням інших, тобто відбувається перехід кількості в якість. При композиційному (цільному) і декомпозиційному (покомпонентному) дослідженні системи необхідно виявляти системні і підсистемні як явно виражені, так і приховані властивості. Опис системи може не відображувати всіх властивостей, з чим пов'язана втрата точності. Точність визначення (проміру) властивостей системи залежить від притаманної цій системі області невизначеності, всередині якої підвищення точності визначення (проміру) однієї властивості спричиняє пониження точності визначення іншої (інших).

Підвищення точності визначення (проміру) будь-якої кількісної властивості складної системи понад якусь межу спричиняє пониження можливості точності визначення (проміру) іншої властивості – одночасно виміряти значення двох (або більше) параметрів з точністю, що перевищує певний рівень, неможливо. Іншими словами, існує область невизначеності, в межах якої властивості можуть бути описані тільки вірогіднісними характеристиками. Фізична причина невизначеності полягає в тому, що вимірювана величина (кількісний показник властивості) впливає на внутрішньосистемний інваріант.

Фітоценосистема – не множина підсистем, а цілісний об'єкт, що допускає різне розчленування на підсистеми, тому система не тотожна жодним поділам. Один з аспектів цілісності полягає в тому, що ні при композиції, тобто об'єднанні підсистем у систему, ні при декомпозиції, тобто розчленуванні системи, а також при дослідженні компонентів, неприпустима втрата понять цілісності. В методологічному

аспекті композиція і декомпозиція повинні здійснюватись у напрямку генерування характеризуючої систему інформації більш високої якості.

Просторове розміщення дискретних елементів системи, які локально взаємодіють один з одним, утруднюють оцінку цілісності системи і зв'язків між елементами. Коли окремі елементи системи самі по собі мають складну внутрішню структуру, вся їхня складність не виявляється у взаємодії між собою. З позицій макросистеми, тобто системи вищого рівня, вони взаємодіють як прості об'єкти з малим числом ефективних ступенів свободи.

Поняття цілісності ґрунтується на специфічній властивості (групі властивостей) системи. Якщо сума частин рівна цілому, така система є аддитивною відносно даного розчленування, якщо сума більше цілого – супераддитивною, менше цілого – субаддитивною. Такі обставини, що частина може бути складніша ніж ціле, має фундаментальне значення в процесі дослідження систем, оскільки концепція системного підходу полягає в спрощенні, проте не всяке розчленування дозволяє отримати частини (підсистеми) більш прості і доступні для досліджень.

Виявлення цілісності потребує повноти встановлення взаємозв'язків як у середині системи, так і системи з середовищем. Необхідно встановити системну властивість (зміст, механізм утворення, впливаючі чинники – позитивні чи негативні), які властивості системи пригнічуються або елімінуються загальносистемною властивістю, який механізм пригнічення і за яких умов його дія слабне або зникає.

Застосування властивості "цілісність" полягає у виявленні та нагромадженні даних про системні властивості на всіх етапах досліджень та узагальненні їх в поняттях, з наступним застосуванням цих понять до підсистем після декомпозиції. Рациональність декомпозиції оцінюється на основі визначення цілісності: якщо декомпозиція невдала, системні і підсистемні поняття неможливо пов'язати, між ними втрачається спадковість (наступність, послідовність), вони нестійкі.

Просторово-часова автономність

Складні системи мають автономну просторово-часову метрику або розмірність (групу перетворювачів) та внутрішньосистемні закони збереження, що визначаються фізичним змістом і конструкцією системи, і залежать (або не залежать) від зовнішнього середовища. Різниця в розмірностях стає різницею класів систем, і ця різниця має чітку формальну ознаку – іншу групу перетворювачів. Припускаючи, що досліджувана система знаходиться в адекватному їй геометричному просторі (реальному, функціональному) та обмежуючись метричними просторами, для кожного рівня фітоценосистем (конкретної системи) визначається і встановлюється її розмірність, що визначається відповідною групою перетворювачів.

Оскільки фітоценосистеми знаходяться у складній часовій і просторовій розмірності, то результативність досліджень залежить від рівнів деталізації, адекватності і достовірності описів її властивостей, і тут вибір метрик може відіграти визначальну роль. Наприклад, відстань в евклідовому просторі між клітинами організму дуже мало пов'язана з такими функціональними властивостями, як час передачі збудження, час реакції тощо. У фітоценосистемах евклідова відстань, як засіб опису функціональних властивостей, взагалі є другорядною, тому що

вирішального значення набуває напрям поширення процесу. Ефективніше використовувати функціональний простір з відповідним числом розмірів (промірів) і автономною метрикою. По суті кожна складна система і "живе" в автономному функціональному просторі. У фітоценосистемах часові, просторові і функціональні параметри для видів не тільки різних життєвих форм, але й близьких систематичних груп істотно різняться. Введення метрики означає створення моделі просторово-часової геометрії системи, чим ближче ця модель до справжньої геометрії системи, тим простіш уявляється система.

Отже, можна припустити, що фітоценосистеми, як і всі складні системи, мають просторову і часову метрику, для них існує автономна відстань і автономний час. Пізнання таких систем потребує розширення релятивістських категорій та їхнього поширення на різні форми руху (динаміки). Наприклад, одні і ті ж фізико-хімічні та біологічні процеси (швидкість росту, нагромадження маси тощо) у різних фітоценосистемах проходять з різною швидкістю, тому їхньою природною мірою часу повинно бути проходження якогось визначаючого внутрішнього процесу, тобто можуть мати локальний масштаб часу. При цьому для системи, що розвивається – фітоценосистем і їхніх підсистем, часові проміри можуть бути відмінними на різних етапах розвитку.

Фізичний релятивізм є фундаментом сучасної науки. Системотехнічний релятивізм має модельний характер – внутрішня міра часу може вводитись як засіб досліджень та виявлення явищ і процесів, які неможливо виявити в формалізованих описах системи. Проте автономна метрика обмежує можливі способи декомпозиції системи. З позицій цілісності – різноманітність декомпозицій допомагає виявленню системних властивостей. З позицій автономності – більшість декомпозицій, а можливо, всі окрім одної, відпадуть, оскільки кожен клас фізичних явищ ототожнюється з певним набором інваріантів, кожна група перетворювачів та породжена нею геометрія відповідає цьому ж набору.

Деякі інваріанти або функції від них змінюються при взаємодії підсистем, зберігаючи значення постійним і допускаючи тільки його перерозподіл між підсистемами. Наприклад, відповідна фізична величина підкоряється закону збереження. Швидкість – інваріант, але закону збереження швидкості немає. Проте похідна маси на квадрат швидкості не змінюється за жодних взаємодій (закон збереження енергії). Але існують і більш вузькі, внутрішньосистемні "закони збереження", що визначаються властивостями (конструкцією) системи. Будь-який закон пов'язаний з певною ідеалізацією, тобто не враховує усієї збурювальної дії сторонніх сил і достовірний тільки в межах такої ідеалізації.

Інваріанти визначаються характеристиками і особливостями системи – її конструкцією, ресурсами тощо. На основі дослідження інваріантів виявлені закони збереження, наприклад, "закон збереження енергоресурсу" та "закон збереження енергоінформативності". Ці автономні закони притаманні фітоценосистемам, їхнє знання дозволяє розкрити важливі властивості, ідентифікувати і пов'язати процеси.

Властивість вибору. Реакція систем

Всі існуючі системи в своїй структурі мають більш чи менш помітну впорядкованість. Чим більша впорядкованість системи, тим більше вона віддаляється

від врівноваженого стану. Неврівноважені системи, своєю чергою рухаються в бік термодинамічної рівноваги; якщо процеси проходять у рівних обсягах, але в протилежних напрямках, виникає динамічна рівновага [24].

Чим більша неуврівноваженість системи, тим більша їхня чутливість і властивість перебудовуватись, що, своєю чергою, розширює можливості саморозвитку. Тільки у неуврівноважених системах можуть мати місце флуктуації, може відбуватись розширення масштабів системи і набуття нових властивостей, підвищення чутливості системи до зовнішніх чинників. Наприкінці з'являється перспектива – можливість формування нових, більш досконалих форм організації.

Відкриття неуврівноважених структур супроводжувалось відкриттями у вивченні траєкторій. Виявилось, що траєкторії багатьох систем нестабільні, що обмежує прогноз навіть на невеликі часові відтинки. Малі величини часових відтинків означають, що через певний проміжок часу траєкторія стане невизначеною, непрогнозованою. Розуміння поведінки об'єкта в якомусь певному часовому інтервалі не дозволяє передбачити поведінку в будь-якому іншому наступному інтервалі.

Складні системи у взаємодії з середовищем можуть формувати поведінку, тобто виявляти різні властивості у різних ситуаціях, які несумісні в жодній з них, тобто володіють властивостями вибору поведінки. Властивість вибору дозволяє складній системі використовувати сприятливі події і процеси, що виникають у взаємодії з середовищем. Проте жодне апріорне знання не дозволяє для складної системи однозначно передбачити цей вибір.

Складна система формує свою поведінку в суттєвому (хоч і неоднозначному) зв'язку з ситуацією, тобто на поведінку може впливати. Ступінь неоднозначності залежить від ситуації, тобто зовнішніх зв'язків. Загалом, будь-який живий організм поводить себе "майже" передбачувано в певних умовах, проте повної однозначної залежності вихідної реакції від вхідної не досягається.

Перебуваючи у різних середовищах (наприклад, дві видові ценопопуляції в різних фітоценозах), складні системи можуть виявляти різні системні властивості, у тому числі альтернативні. Єдність властивостей може бути описана узагальнюючою теорією (метатеорією), наприклад, для мікросвіту – квантова механіка, проте і вона не охоплює релятивістичних властивостей, а тому недостатньо загальна. Більш загальною є релятивістична теорія квант, проте і вона має обмеження.

Реакція системи на зовнішній вплив (дію) має пороговий характер. Поведінка системи – це розгорнута в часі послідовність реакцій системи на зовнішню дію. Для зміни поведінки системи необхідне нарощення дії, яка перевищує деяке порогове значення. Конструктивне значення реакції визначається покомпонентними порогами, значення яких регулюються системою. До певного рівня дія середовища компенсується посиленням одних та послабленням інших процесів, після чого починається "перебудова" системи.

Ієрархічність структури біосистем, які формують складні комбінації підсистем нижчого рівня, зумовлює їхню здатність до самоорганізації, тобто спонтанного утворення та розвитку складних впорядкованих структур. Сьогодні інтенсивно розвивається новий напрям досліджень – синергетика, наука про самоорганізацію, тобто спонтанне виникнення просторової і часової впорядкованості у відкритих нелінійних системах [21, 17]. Необхідною умовою самоорганізації є наявність

потоків енергії, що поступають до неї із зовні, завдяки чому відбувається активація системи, набувається здатність до автономного утворення структур. Ентропія, яка виступає в ролі оцінки неупорядкованості (міра неупорядкованості), може зменшуватись у дисипативних системах з плином часу.

Висновки

Системний підхід відіграв значну роль у розвитку біології і сьогодні є парадигмою наукових знань взагалі. Найголовнішими досягненнями системного підходу є розуміння ієрархічності рівнів організації живих і неживих систем та емерджентний характер змін між цими рівнями. Перевага концепції системного підходу полягає і у тому, що вона полегшує розуміння сутності предмета – певні явища стають аналогічними, порівняльними, покращується синтез, узагальнення та формулювання гіпотез. Окрім того, системний підхід дозволяє виявити відсутність або неповноту інформації про об'єкт досліджень, в окремих випадках (інтерполяцією або екстраполяцією) передбачати властивості відсутніх частин описів, а найголовніше – визначати напрями та завдання наукових досліджень.

Ця робота не дає повного огляду уявлень про системоорганізуючі і залежні від цього чинники розвитку фітоценосистем. Кожна з виділених властивостей – предмет окремої публікації. Мета статті – суто методична, і полягала у тому, щоб показати необхідність враховувати описані властивості у виробленні стратегій фітоценотичних досліджень.

Описані властивості можуть доповнити методологію системного підходу. Ними передбачено встановлення причинно-наслідкових зв'язків у формуванні структури, динаміки та напрямів розвитку фітоценосистем. Формалізація зв'язків і визначаючих ними автономних залежностей дозволяє виразити в єдиних термінах (єдиною мовою) структурно-функціональний опис системних об'єктів.

Сукупність цих властивостей не тільки формує єдність у методах досліджень і описування системи будь-якої природи, але й створює концептуальну основу побудови математичного апарату нелінійних моделей. Процес створення моделей – від побудови до перевірки прогнозованих нею явищ та процесів, повинен пов'язуватись з методично обгрунтованою стратегією досліджень та перевіркою використаних в аналізі даних. Такі положення особливо доречні для фітоценосистем, які мають різноманітні взаємодії між множиною живих організмів та середовищем. Особливістю фітоценосистем є динамічність просторово-часових взаємодій між елементами та їхня постійна змінність. Складність фітоценосистем підсилюється на різних рівнях мінливістю самих живих організмів, для популяцій – генетичною неоднорідністю та внутрішньо- і міжпопуляційною конкуренцією, для фітоценосистем – міжвидовою конкуренцією тощо, для підсистем усіх рівнів – змінами середовища. Як наслідок – нелінійність зміни швидкості росту, поновлення, виживання, віталітетності, структури, стійкості тощо. До цього безпосередньо або опосередковано додаються геофізичні та антропогенні зміни середовища.

1. Александрова В.Д. Растительное сообщество в свете некоторых идей кибернетики // Бюл. Моск. о-ва испытат. природы. Отд. биологии. – 1961. – 66, вып. 3. – С.101-113.
2. Александрова В.Д. О методе моделирования в фитоценологии // Бот. журн. – 1970. – 55, № 3. – С. 369-375.

3. Алексеев В.В., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Физическое и математическое моделирование экосистем. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. – 367 с.
4. Анищенко В.С. Детерминированный хаос // Соросовский образовательный журн. – 1997. – № 6. – С.70-76.
5. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем, критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М., 1969. – С. 23-82.
6. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. – М.: Наука, 1973. – 270 с.
7. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. – М.: Мир, 1989. – 477 с.
8. Валлерстайн И. Миросистемный анализ // Время мира. Альманах современных исследований по теоретической истории, макросоциологии, геополитике, анализу мировых систем и цивилизаций. – Новосибирск, 1998. – Вып. 1. – С. 105-123.
9. Василевич В.И. Очерк теоретической фитоценологии. – Л.: Наука, 1983. – 247 с.
10. Глейк Дж. Хаос. Создание новой науки. – С-Пб.: Амфора, 2001. – 400 с.
11. Дидух Я.П. Растительный покров горного Крыма (структура, динамика, эволюция, охрана). – К.: Наук.думка, 1992. – 256 с.
12. Дидух Я.П. Популяційна екологія. – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – 192 с.
13. Завадский К.М. Вид и видообразование. – Л.: Наука, 1986. – 404.
14. Злобин Ю.А. Исследование механизмов, определяющих межвидовые ассоциированности и фитоценологическую структуру растительного покрова // Бот. журн. – 1976. – 61, № 4. – С. 466-479.
15. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. – 146 с.
16. Калман Р., Фалб П., Арбиб Майкл А. Очерки по математической теории систем: Пер. с англ. – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 400 с.
17. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Наука, 2001. – 228 с.
18. Кареев Г.П. К теории неоднородных популяций // Математика. Компьютер. Образование. – 2000. – Вып. 7. – С. 731-740.
19. Келле В. В. Переосмысление системной методологии: версия П. Чекленда // Системные исследования. Методологические проблемы: Ежегодник 1995-1996 / Под ред. Д.М. Гвишиани. – М.: Эдиториал УРСС, 1996. – 400 с.
20. Клир Дж. Системология. – М.: Радио и связь, 1990. – 535 с.
21. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М.: Наука, 1994. – 238 с.
22. Лавренко Е.М. Об уровнях изучения органического мира в связи с познанием растительного покрова // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1964. – № 1. – С. 32-46.
23. Ляпунов А.А., Яблонский С.В. Теоретические проблемы кибернетики. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 134 с.
24. Лийв Э.Х. Инфодинамика. Обобщенная энтропия и негэнтропия. – Таллинн, 1998. – 200 с.
25. Малиновский А.К. Коливальні процеси у фітоценологічних системах // Наук. зап. Держ. природозн. музею. – Львів, 2006. – Вип. 22. – С. 93-104.
26. Математические методы исследования сложных систем, процессов и структур // Сб. науч. трудов. – М.: МГОПУ, 2002. – Вып. 5. – 121 с.
27. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. – М.: Наука, 1978. – 212 с.
28. Модельски Дж. Эволюционный подход к миросистемной истории: проблема периодизации // Время мира. – Новосибирск, 1998. – Вып. 1. – С. 300-305.
29. Ниценко А.А. Структура растительного покрова и ее изучение // Тр. Петергоф. биол. ин-та. – 1973. – № 22. – С. 275-285.
30. Норин Б.Н. Растительный покров: ценологическая организация и объекты классификации // Бот. журн. – 1983. – 68, № 11. – С. 1449-1455.

31. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. – М.: Прогресс, 1994. – 342 с.
32. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1998. / Под ред. Д.М. Гвишиани, В.Н. Садовского и др. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – Ч. 1 - 360 с.; 2000 – Ч. 2. – 400 с.; 2001. – 400 с.; 2002. – 400 с.; 2004. – 400 с.
33. Шеляг-Сосонко Ю.Р., Крисаченко В.С., Мовчан Я.И. Методология геоботаники. – Киев: Наук.думка, 1991. – 272 с.
34. Bertalanff L. Von. The Theory of Open Systems in Physics and Biology // Science. – 1950. – Vol. 111. – P. 23-29.
35. Edelstein-Keshet L. Mathematical Models in Biology. – N.Y.:Random Hause, 1988. – 586 pp.
36. Ermentrout G.B. & Edelstein-Keshet L. Cellular automata approaches to biological modelling//Jornal of Theoretical Biology. – 1993. – V.160. – P. 97-133.
37. Fleischaker, Gail Raney (eds.) Autopoiesis in System Analysis: A Debate // Intern. J. of General Systems. –1992. – Vol. 21, № 2 – P. 134-156.
38. Fleischman B.S. Phylosophy of systemology. // Cybernetica. – 1976. – 19, № 4. – P. 31-43.
39. Grover J.P. Effects of Si:P supply ratio, supply variability, and selective grazing in the plankton. An experiment with a natural algal and protistan assemblage // Limnol. Oceanogr. – 1989.– V. 34. – P. 349-367.
40. Stearns S. The evolution of life histories. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1992. – 237 p.
41. Subrahmanyam C.B. Principles of ecology. – Florida A&M University: McGraw-Hill, 1998. – 379 p.
42. Sommer U. Comparison between steady state and non-steady state competition: Experiments with natural populations // Limnol. Oceanogr. – 1985. – V. 30. – P.335-346.
43. Tilman D. Resource competition and community structure. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1982. – 290 p.
44. Varela F., Maturana H., Uribe R. Autopoiesis: the Organisation of Living Systems, its Characterization and a Model // BioSystems. – 1974. – № 5. – P. 187-96.
45. Varela F. Describing the logic of the living: The adequacy and limitations of the idea of autopoiesis // Zeleny M. (eds.) Autopoiesis: A Theory of Living Organisation. – N. Y.,1981. – P. 36-48.
46. Zeide B. Quality as a characteristic of ecological models // Ecological Modelling. – 1991.–55, №.3-4. – P. 161-174.
47. Xu F.-L., Jorgensen S.E., Tao S., Li B.-G. Modeling the effects of ecological engineering on ecosystem health of a shallow eutrophic Chinese lake (Lake Chao) // Ecol. Modelling. – 1999. – V. 117. – P. 239-260.

Державний природознавчий музей НАН України, м. Львів,
e-mail:akm@museum.lviv.net