

**А.К. МАЛИНОВСЬКИЙ<sup>1</sup>**

## **НЕСТАБІЛЬНІСТЬ І ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ БІОСИСТЕМ**

*Явища детермінованого хаосу, нелінійної динаміки і нестабільності, котрі описуються нелінійними диференціальними рівняннями, призвели до формування нового напрямку досліджень і дали змогу описати нові класи нестійких динамічних систем, поведінка яких є хаотичною. На цьому ґрунті обстоюються ідеї про те, що фундаментальними характеристиками живого і неживого є нестабільність, невідновуваність та нелінійність. Розглянуто засади досліджень поліваріантності розвитку, котрі ґрунтуються на нестабільності біосистем різного організаційного рівня.*

Мета роботи – окреслити, в загальних рисах, проблему нестабільності та поліваріантності розвитку фітоценосистем, опираючись на пізнання в царині нелінійної динаміки та детермінованого хаосу.

Дослідження останніх років [5, 18, 11, 14 та ін.], пов'язані з прогнозуванням і так званим детермінованим хаосом, допомогли зрозуміти існування істотних, ймовірно нездоланих труднощів. Виявилось, що принципово не можна дати довготривалий прогноз поведінки для величезної кількості навіть порівняно простих механічних, фізичних, хімічних і біологічних систем. Непередбачуваність, неможливість прогнозування на великих часових відтинках є характерними для багатьох об'єктів, які вивчають екологія, економіка, соціологія, психологія тощо. Роботи з детермінованого хаосу показали, що парадоксальні властивості мають навіть об'єкти, які добре описує класична механіка. Головне, що було внесено у проблему прогнозів – новий напрям досліджень, який має назву нелінійна динаміка.

Нелінійність динаміки – важлива властивість всіх складних систем. У разі порушення будь-якого нестійкого режиму (всі біосистеми перебувають у стані відносної стійкості або нестійкої рівноваги), спочатку спостерігається посилення збурень у 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 керують цими процесами нелінійні закони, а властивості нелінійності системи безпосередньо залежать від її стану [1].

Нелінійна динаміка, попри існування вже відомих двох класів об'єктів – детермінованих, прогнозувати які можна будь-коли, і стохастичних, – де не може бути й мови про детермінований прогноз, а доводиться тільки оперувати статистичними характеристиками – середніми значеннями, дисперсіями, розподілом ймовірностей тощо, виявила ще один клас об'єктів. Формально вони

є детермінованими. Знаючи їхній поточний стан, можна спрогнозувати розвиток і стан системи на майбутнє. Водночас, прогнозувати їхню поведінку можна тільки на обмежені часові відтинки. Будь-яка мала неточність у визначенні початкового стану наростає з часом, і з певного моменту можливість прогнозування втрачається. Такі системи, де можливості прогнозування виявились надзвичайно обмеженими, було відкрито в гідродинаміці, астрофізиці, фізиці плазми, геофізиці, екології та ін. [14].

Нестабільність динамічних процесів уможливорює стрибкоподібний перехід системи в новий стан. Стрибок можна розглядати як її прискорену реакцію на збурення з метою компенсації, тільки система не повертається у старий стан, а переходить в новий, тобто розвиток через нестійкість забезпечує стійкість на вищому щаблі. Тут саму стійкість слід розуміти не як стійкість рівноважних структур, а як динамічну стійкість відкритих систем за рахунок самоорганізації. Еволюція, принаймні на видовому рівні, згідно з розробленою американськими дослідниками "концепцією переривистості рівноваги" [22, 23], у 95% випадків відбувається не безперервно, а стрибкоподібно. Вид може не змінюватись протягом мільйонів років, а потім, внаслідок швидкого нагромадження мутацій і відбору ряду поколінь, відбувається формування нового виду.

Нестабільність – нормальний стан системи, що характеризується неоднорідністю та різночасовістю кожного перебіжного у ній процесу та усіх змін загалом. Це форма взаємозв'язків та причинно-наслідкової зумовленості всіх явищ. Загалом, нестабільність (як філософська категорія, як світогляд) заперечує ідеологію детермінізму. Ставлення до нестабільності змінилось з 60-х років ХХ ст., коли детермінізм було визнано якщо не помилковою теорією, то принаймні такою, що потребує переосмислення. Нестабільність багато хто розглядає як структуротворчий елемент світобудови [14].

Усі існуючі системи у своїй структурі мають більш чи менш помітну впорядкованість. Чим більша впорядкованість системи, тим далі вона віддаляється від врівноваженого стану. Неврівноважені системи, своєю чергою, рухаються в бік термодинамічної рівноваги – не

<sup>1</sup> Андрій Костянтинович МАЛИНОВСЬКИЙ – член-кореспондент ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник, Державний природознавчий музей НАН України. Україна, м. Львів. Тел.: (380-322) 72-89-17. E-mail: akm.museum@lviv.net

отримуючи додаткової енергії, не можуть тривалий час зберігати свій стан. Якщо процеси однакові за обсягом, але протилежно спрямовані, то виникає динамічна рівновага [8]. Проте, чим більша невірноваженість систем, тим вони чутливіші та пластичніші, що, своєю чергою, розширює можливості розвитку. Тільки невірноважені системи здатні до флуктуації, розширення масштабів і набуття нових властивостей, підвищення чутливості до впливу зовнішніх чинників: з'являється перспектива – можливість формування нових, досконаліших форм організації.

Явище нестабільності добре ілюструють фізико-механічні моделі [13]. Якщо запустити всередину ввігнутої сфери кульку, то цілком зрозуміло, що після коливальних хаотичних рухів вона зупиниться у центрі, що й можна було передбачити. В іншому випадку, якщо сфера випукла, а кулька поміщена у її верхній точці, передбачити, в який бік вона почне рухатись, принципово неможливо. Така система нестабільна, і будь-яка флуктуація визначить напрям руху кульки. Модель можна ускладнити, задавши самій сфері коливальний момент. У першому випадку ситуація дещо зміниться: залежно від амплітуди коливань тривалість хаотичних рухів кульки зросте, проте вона все одно прагнуче до крайньої нижньої точки і, з віщуханням коливальних рухів сфери, у ній і зупиниться. У другому випадку принципово все залишиться без змін. Провівши, з певними застереженнями, аналогію між сферою і природним середовищем, а коливальний момент аналогізуючи з флуктуаціями, можна дійти висновку про існування двох класів розвитку системи – прогнозованого (за природою – детермінованого) і непередбаченого (стохастичного).

Непередбаченість розвитку біосистем ускладнюється труднощами у виявленні прихованих коливальних і циклічних процесів, що зумовлено, насамперед, їхньою аперіодичністю – зміною фаз, амплітуди і періодів коливання у системі загалом або у її підсистемах, тобто у тимчасовій організації функцій. Тимчасовість організації функцій належить до фундаментальних властивостей систем, основу якої становлять комплекси стійких циклів, котрі відображають один з головних принципів організації живих систем, так званий принцип стійкої нерівноваги [2].

Стабільність фітоценотичних систем на певних відтинках часу, очевидно, забезпечується тимчасовою організацією функцій, яка проявляється у постійних, різного спрямування і амплітуди коливаннях, які є обов'язковим атрибутом навіть для кліматичних угруповань. Стабільність основних параметрів будь-якої саморегульованої системи не виключає можливості змін, які стосуються її компонентів. Власне, такі зміни зворотного характеру сприяють збереженню цілісності системи взагалі або усталеного вектора й алгоритму її розвитку зокрема. Тобто в одних випадках флуктуації спрямовані на збереження умовно стабільного стану, в інших – на дотримання напрямку та інтенсивності змін. Залежно від ефективності та дієвості механізмів саморегуляції, фітоценосистема набуває характерних ознак. Питання полягає у тому, як співвідносяться у процесі саморегуляції фітоценотичної системи передбачувані та випадкові регулятори.

Спричинена зовнішніми умовами нестабільність призводить до зростання інтенсифікації дисипації, нас-

лідком чого створюються умови виникнення нової нестабільності – в системі посилюється інтенсивність перебігу певних незворотних процесів, завдяки чому відхилення від стану рівноваги стає ще більшим. Це може означати, що є ймовірність існування нового класу флуктуацій, а їхній вплив на напрям розвитку системи не прогнозований.

Якщо внаслідок нестабільності інтенсивність дисипації знижувалась, то система прямувала до якогось зрівноваженого замкнутого стану, тобто стану, де припиняються будь-які флуктуації. Інтенсивність дисипації, тобто збільшення ентропії, можна пов'язати з інтенсивністю росту нових елементів-ознак у системі. Якщо флуктуації призводять до виникнення нових елементів, між якими (а також між ними і системою) не встигають утворюватись зв'язки, порушується організація системи, зростає її ентропія, вона стає структурно нестійкою. Таким чином, існування нестабільності можна розглядати як наслідок флуктуацій, які на початку були локалізовані в малій частині системи, а потім поширились і спричинили перехід до нового макроскопічного стану.

Поняття стійкості і порядку через флуктуації можна застосовувати до систем різної природи, при цьому вважають, що границі структурної стійкості не існує, нестійкість може виникати у будь-якій системі, а мутації, флуктуації і нові структурні елементи з'являються стохастично і формуються в єдину систему панівними у певний момент детерміністичними принципами [14]. Власне ці властивості й забезпечують неперервність розвитку.

Важливою особливістю широкого класу процесів самоорганізації систем різної природи є втрата стійкості усталених і закритих структур та подальший перехід до стійких дисипативних структур. У точці зміни стійкості, внаслідок дивергенції (біфуркації), повинні виникнути щонайменше два напрями розвитку, які відповідають стійкому, близькому до зрівноваженого стану і дисипативній структурі. Теоретично можна припустити, що таких напрямів розвитку може бути більше ніж два.

Для дисипативних структур, якими є всі біологічні об'єкти, характерна стійкість, водночас структурна і функціональна. Еволюцію можна розглядати як проблему структурної стійкості, до того ж еволюція дисипативної структури визначається послідовністю подій [17, 6]. Перехід системи з нестійкого стану у стійкий, і навпаки, – це якісний стрибок у її розвитку, унаслідок якого вона стає організованішою та впорядкованішою.

Під розвитком загалом, як і під sukcesією зокрема, розуміють поступовість переходів від неупорядкованості до порядку через нестійкість і у напрямку зростання складності. У невірноважених ситуаціях упорядкованість можлива тільки за наявності зовнішніх речовинно-енергетичних потоків, які утримують систему у стані, далекому від рівноваги. За відсутності таких потоків (для фітоценосистем – зменшення їхньої інтенсивності, перерозподілу) розвиваються дисипативні (у значенні розсіювання) руйнування системи, унаслідок чого система деградує у напрямку до врівноваженого стану. Взаємодія з середовищем створює потенційні можливості для її переходу до нестійкого стану і формування нової, більш впорядкованої структури.

Нестабільність, що виникає в процесі розвитку, уможлиблює стрибкоподібний перехід системи у новий стан. Такий різкий перехід слід розглядати як реакцію системи на збурення і перехід її в новий стан на вищому рівні, тобто розвиток відбувається через нестійкість. Тому стійкість слід розуміти не як стійкість зрівноважених структур, а як динамічну стійкість відкритих систем, що виникає за рахунок саморегуляції [26, 27].

Виходячи зі сказаного, можна припустити, що стійка система (абсолютно стійка система) не здатна до розвитку, бо вона пригнічує будь-які відхилення від свого гіперстійкого стану, і за будь-яких флуктуацій повертається у врівноважений стан. Для переходу в новий стан система повинна стати на певний час нестійкою. На противагу перманентна нестійкість унеможлиблює закріплення адаптивних механізмів і властивостей, потрібних для виживання системи у цьому середовищі. Таким чином, хоч існують різні стійкі системи, розвиватись можуть тільки ті, котрі здатні виходити зі стійкого стану і тимчасово ставати нестійкими. Погодившись з таким уявленням про розвиток складних систем, можна виділити два параметри, що характеризують процес розвитку (сукцесію) – стійкість системи та міру її організованості.

Сукцесія, як частина єдиного цілісного процесу розвитку, є наслідком кооперативної взаємодії елементів системи і середовища. Дослідження окремих елементів в сукцесії передбачає виокремлення їх у вигляді систем та виділення зовнішнього середовища. Мірою організованості може бути ентропія у широкому розумінні цього терміна. Таким чином, насамперед, треба з'ясувати, в якому стані перебуває система – стійкому чи нестійкому, і як при цьому змінюється ентропія [8].

Автогенна сукцесія, як складник еволюційного розвитку, характеризується стійкістю системи та збільшенням ентропії – не тільки зростанням числа елементів, але й порушенням зв'язків. Порушення (або переструктурування) зв'язків може призвести до змін структурно-функціональної організації, унеможливлення виконання певних функцій через дезорганізованість. Таким чином, посилення ентропії не завжди є ознакою підвищення стійкості.

Поблизу точок біфуркації (області дивергенції сукцесії) флуктуації можуть змінити траєкторію (напрямок) руху системи. Система може деградувати, змінити напрям розвитку або перейти на якісно новий рівень. Період зародження та формування нової сукцесійної стадії супроводжується втратою стійкості та збільшенням дисипації. У разі збереження певних умов у системі можуть виникнути впорядковані структури, внаслідок чого ентропія зменшується і система переходить в новий стійкий стан. На цьому завершується одна стадія і починається інша – розвиток нової системи.

Розвиток фітоценосистем – це послідовність сукцесійних стадій, що є аналогом траєкторії руху, характеризується чергуванням стійких областей, де переважають детерміністичні причинно-наслідкові закони, і нестійких областей поблизу точок дивергенції (біфуркації), де, залежно від ситуації, може бути декілька варіантів подальшого розвитку. Вибір одного з багатьох варіантів розвитку, тобто поліваріантність, значною мірою залежить від випадкових флуктуацій, особливо в

області дивергенції (біфуркації), тобто історію розвитку системи формує поєднання потрібного і випадкового.

Таким чином, сукцесія – нестійкий перехідний процес, випадкові події можуть істотно змінити її хід і вплинути на кінцевий результат. На початкових стадіях розвитку сукцесії спостерігається дивергенція (розходження траєкторій розвитку), яка підсилюється флуктуаціями, а на пізніх стадіях може спостерігатись конвергенція. Будь-яка нестійкість створює нові ніші в угрупованні, і навпаки, кожна незайнята ніша може породжувати нестійкість. У клімаксових угрупованнях ніші дуже ущільнені, їхні ємності наближаються до оптимальної ефективності використання ресурсів і підвищеної, але не абсолютної, стійкості. Тому сукцесію можна розглядати як процес переформатування екологічних ніш.

Будь-який фітоценоз структурований, а його структура визначається різноманітними градієнтами, що відображають зміну однорідності його властивостей у чотиримірному (четвертий вимір – час) просторі. Прикладом відносної структурованості середовища є поверхневі горизонти водойм, відносно однорідні для риб і, внаслідок наявності у фотичній зоні постійного світлового градієнта, неоднорідні для фітопланктонних організмів [12, 4]. Високий ступінь структурованості характерний ґрунтам. Локуси у ґрунті, що відповідають точкам простору ніш окремих видів, як правило, невеликі, що зумовлює відповідні розміри популяцій. Тому переважна більшість процесів у ґрунті є мікропроцесами, локалізованими мікрооднорідністю його структури.

Якщо взяти узагальнену схему дигресивно-дедукційної сукцесії "ліс→післялісова лука→ліс", то, зрозуміло, і не виникає жодних вагань, що на місці вирубаного лісу виросте новий. Справа в іншому – який ліс, або точніше які саме варіанти лісу з потенційно можливих утворились, що зумовило формування саме такої структурної організації (екобіоморфологічної, популяційної і т.ін.), в чому полягають регуляторні механізми і як їх описати.

Як відомо, у розвитку сукцесійних систем формуються області біфуркації – коли кількість потенційно стійких станів більше одного. Отже, сукцесія може закінчитись в будь-якому з них, і наперед не можна передбачити, в якому саме. Всі угруповання, зокрема і клімаксові, зберігають вільні параметри, що зумовлено наявністю вільних екологічних ніш або частковою наповненістю зайнятих. Це забезпечує оптимальну відповідність угруповання умовам конкретного середовища.

Причинно-наслідкові ланцюги розвитку сукцесій загалом відповідають принципам транзитності і послідовності (Марківський ланцюг). Якщо стадія сукцесії А є причиною виникнення стадії В (В – наслідок А), і якщо, своєю чергою, стадія В є причиною стадії С, тоді стадія А є також причиною (першопричиною) стадії С. Тобто  $A \rightarrow B$  та  $B \rightarrow C$ , тоді  $A \rightarrow C$ . Таким чином, утворюється причинно-наслідковий ряд, який, за потреби, можна розчленувати до простіших причинно-наслідкових ланцюгів:  $A \rightarrow C$ , тоді  $A \rightarrow B_1, B_1 \rightarrow B_2, \dots, B_n \rightarrow C$ . Тут і виникає проблема: чи причинно-наслідковий ланцюг розвитку сукцесії є безперервним, послідовним, чи здатний він ділитись безкінечно, і з якої стадії ( $B_1, B_2, B_3, \dots$ ) може відбутись перехід на стадію С. Залежно від умов середовища, інтенсивності та спрямування дії як

внутрішніх чинників (синергетичні механізми), так і зовнішніх – зміни умов середовища під дією різноманітних впливів, ймовірний перебіг подій відбувається за будь-яким сценарієм:  $A \rightarrow C$ , або  $B_2 \rightarrow C$  і т.ін.

Причинно-наслідкові механізми, з огляду на останні відкриття в теорії детермінованого хаосу, потребують перегляду. Питання полягає в тому, що слід розуміти під причиною і наслідком. Насамперед, під причиною можна розуміти стан динамічної системи (наприклад, суцесійна стадія) у момент часу  $t_0$ , а наслідком – її стан в наступний момент  $t_1$ . Таку причинність називають зв'язком станів. Для динамічної системи стан в початковий момент  $t_0$  і закон руху однозначно визначають її майбутній розвиток. У такому випадку одна і та ж причина дійсно приводить до одного і того ж наслідку. Але таке розуміння причинності нічим не відрізняється від поняття детерміністичного закону [14], а тому потрібне з'ясування таких найголовніших аспектів [12, 4, 24]:

чи одночасні причина і наслідок? Чи вони розділені часовим інтервалом, тобто чи є ефект запізнення? Якщо причина і наслідок одночасні, або, принаймні, часово перекриваються, тоді як наслідок впливає на причину? Іншими словами, проблема зворотного зв'язку – вплив наслідку на причину;

коли закінчується дія причини? Тобто якщо чинники, які зумовили наслідок, вже відсутні, а наслідок продовжує розвиватись? Насамперед, тут важлива сутність синергетичних механізмів: які процеси виникають в інтервалі між причиною і наслідком, якщо вони часово розділені?

як описати однозначність/неоднозначність причинно-наслідкових зв'язків? Чи може одна причина мати один наслідок, чи одна причина може зумовити будь-який наслідок з багатьох потенційно можливих? Чи може один і той самий наслідок впливати з різних причин?

проблема пов'язаності причини та умов. Чи може за певних обставин причина стати умовою, а умова причиною? Як встановити "критичну масу умов", за яких формується причина? Виходячи з концепції організаційної ролі хаотичних змін, можна припустити, що узгодженість взаємодій у фітоценотичних системах реалізується через комплекс випадкових і безсистемних імпульсів на організмовому, популяційному та ценотичному рівнях [9]. Такі випадкові зміни можна розглядати як флуктуації ознак або параметрів певної підсистеми з незначним відхиленням від середнього їхнього значення, які виявляють (або не виявляють) чіткі причинно-наслідкові зв'язки. Нестабільність можна розглядати як наслідок флуктуацій, які спочатку були локалізовані в малій частині системи, а потім поширилися і привели до нового макроскопічного стану.

Флуктуації у фітоценотичних системах є хаотичними і у конкретний часовий проміжок можуть відрізнятися за спрямуванням, амплітудою та інтенсивністю. При цьому природа чинників – внутрішніх чи зовнішніх, які спричиняють ці зміни, не завжди дає змогу адекватно зрозуміти такі флуктуації. Вочевидь, характер цих змін визначається насамперед особливостями самої системи – складністю структури і зв'язків між компонентами.

Отже, флуктуації фітоценозів слід розглядати як неспрямовані, нелінійні, по-різному зорієнтовані або циклічні зміни рослинних угруповань протягом року або тривалішого часу, що завершуються поверненням до близького до первинного стану і є характерними як

для серійних, так і для клімаксових систем. Важливим у цьому визначенні є поняття незворотності змін системи, що полягає у її поверненні до наближеного, але вже відмінного від попереднього стану.

Причини виникнення флуктуацій у системі можуть бути детерміновані змінами з року в рік або за річні періоди метеорологічних умов, гідрологічного режиму, антропогенного впливу тощо, а також внутрішніми чинниками, які закладені в самій системі. Ці чинники, кожен сам собою або сукупно, прямо або опосередковано, через зміни фітоценозу впливають на ґрунтові організми, які забезпечують мінералізацію відмерлих організмів рослин, спричиняють значні перепади чисельності фітофагів, паразитарних грибів та інших компонентів консортивного блоку, що, своєю чергою, може призвести до зворотного впливу – спричинення різноманітних флуктуацій у фітоценозі.

Найчастіше флуктуація є наслідком короткотривалих коливальних або циклічних змін параметрів середовища, спричинених дією зовнішніх чинників як природного, так і антропогенного походження. Вочевидь, можливі різні сценарії перебігу флуктуації угруповання: його склад і структура можуть залишатись незмінними, проникнення нових видів або період їхньої присутності в угрупованні нетривалий. В іншому разі відбуваються незначні зміни складу та структури угруповання, тобто флуктуаційні коливання не мінають безслідно. Істотні структурні перебудови можливі внаслідок масштабних екологічних змін або антропогенного впливу.

Відкриття невірнісбалансованих структур сприяло пізнанню особливостей траєкторій. Виявилось, що траєкторії багатьох систем (напрями та інтенсивність розвитку суцесій) нестабільні, це обмежує прогноз навіть на невеликі часові відтинки. Малі величини цих відтинків засвідчують, що колись траєкторія стане невизначеною, непрогнозованою. Окрім цього, інформація про структуру та функції елементів (підсистем) не дає змоги визначити функції об'єкта загалом. Знання поведінки об'єкта в якомусь певному часовому інтервалі не є підставою для точного передбачення його поведінки у будь-якому наступному інтервалі.

Тривкість або стійкість, як один з найважливіших параметрів будь-якої системи, визначає здатність системи зберігати себе у зміненому середовищі. Тому стійкість, у певному розумінні, можна вважати синонімом життєздатності, і її можна визначати за параметрами об'єму (масою речовини системи), продуктивністю (швидкістю самовідновлення речовини) системи та виробленістю структури. Функціональний режим будь-якої динамічної системи є стійким, якщо малі збурення вщухають з часом, прямує до нуля. Якщо такі малі відхилення від режиму функціонування системи нарастають, то він є нестійким.

Функціонування фітоценосистеми спрямоване на підтримання стійкості як її частин (або за рахунок частин), так і системи загалом, і здійснюється різноманітними механізмами: змінами співвідношень і зв'язків між елементами, регулюванням чисельності, нагромадженням та перерозподілом речовини й енергії тощо. Концепція стійкості екосистем (фітоценосистем) передбачає такі постулати: різноманітність визначає стійкість; більша складність системи відповідає її більшій стійкості. Проте виразної залежності між складніс-

тю системи та її стійкістю немає. Складні системи можуть бути стійкими і нестійкими, точніше – перебувати у стійкому або нестійкому стані, так само як і прості системи [4, 24].

Відносність поняття стійкості очевидне. Як через зміну зовнішніх чинників, так і за своєю природою комплекси структурних і енергетичних циклів у фітоценотичних системах постійно перебувають у перехідному стані. Вони відображають адаптивну реакцію системи на зміну зовнішніх чинників, є фундаментальною ознакою живих систем загалом, специфічними, повсякчас змінними рушіями їхнього розвитку. Еволюційний аспект тимчасової організації біосистем зводиться до залежності між рівнем організації, складністю та особливостями перебігу циклічних процесів. 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.

Виникнення взаємовиключних типів поведінки в одній і тій самій динамічній системі виявилось несподіваним відкриттям. До цього вважали, що детермінованість і стохастичність властиві системам різної природи. Детермінованість пов'язували з системами з малим числом ступенів свободи, а засіб опису – з використанням диференціальних рівнянь, стохастичність – з системами з нескінченим числом ступенів свободи, передбачення – зі застосуванням апарату теорії ймовірностей. Ґрунтуючись на таких уявленнях, розвинулась синтетична теорія біологічної еволюції. Мінливість і дрейф генів характеризувались ймовірнісними рівняннями, зміну чисельності популяцій описували диференціальними рівняннями на кшталт рівнянь Вольтерра-Лотки, природний добір – диференціальними рівняннями Фішера [15, 10].

Популяційна екологія в описах процесів боротьби за існування, росту популяцій і чинників, які обмежують цей ріст, ґрунтується на засадах системного підходу, а в основу математичних моделей покладено динаміку Ферх'юльста (логістичні рівняння). Рівняння Ферх'юльста нелінійне, а де проявляється нелінійність, там безліч несподіваних, парадоксальних нових явищ.

Одне з найцікавіших, мало вивчених і важко пояснюваних явищ – квазіперіодичні зміни чисельності популяцій видів з високим коефіцієнтом розмноження і коротким життєвим циклом. Усі спроби пов'язати такі перепади з чинниками середовища зазнали невдач. Понад це, доведено [16, 17], що такі зміни можуть не бути пов'язані зі змінами середовища. Ці квазіперіодичні процеси спричинені нестійкістю рішень дискретного логістичного рівняння у сценарії переходу до хаосу шляхом подвоєння періоду.

Популяції одного і того ж виду у різних частинах ареалу, зазвичай, істотно різняться за типами поведінки, структурою тощо з огляду на відмінності у репродуктивній інтенсивності, швидкості нагромадження і розподілу фітомаси внаслідок неоднаковості екологічних умов. Для переходу до стохастичного режиму досить навіть надзвичайно малої зміни мальтузіанського параметра, що виникає за відхилення середньорічної температури на 10, або вологості на 1-2 %. Тобто поліваріантність розвитку в різних частинах ареалу популя-

ції може виникати за малих змін геофізичних показників. Важливим чинником виникнення таких режимів є також різні форми антропогенного втручання.

Кліматичні зміни (поступове нарощування амплітуди температур), довготривалі антропогенні впливи можуть змінювати питому швидкість розмноження або загибелі популяції, а також її динаміку. Зміна чисельності популяції, що перейшла за цими ж причинами в хаотичний режим, очевидно, повинна змінювати (принаймні частково) її генетичну структуру, а різке зменшення чисельності популяції – призводити до втрати тих чи інших генних алелей. Насамперед, йдеться про рідкісні алелі, які виникають шляхом генних і хромосомних мутацій. Оскільки зміни чисельності популяції регулярно повторюються – ймовірно, рідко виникають *позитивні* мутації. Тому популяції в середній частині ареалу і на його межах повинні відрізнятися за генетичною структурою. Загалом, це має сприяти їхній дивергенції і в кінцевому підсумку – формо- та видоутворенню, але не шляхом природного добору, а внаслідок випадкового дрейфу генів та подальшої генної фільтрації.

## Висновки

Явище детермінованого хаосу в динамічних системах, які описують нелінійними диференціальними рівняннями, привело до формування нового напрямку досліджень і дало змогу описати нові класи нестійких динамічних систем, поведінка яких є хаотичною. Виявилось, що хаос притаманний майже всім нестійким системам. Розмаїття, нескінченна множина варіантів розвитку природних систем унеможливають точне передбачення результатів вибору і його контролювання. Спонтанна хаотичність притаманна різноманітним фізичним, хімічним, біологічним та соціальним системам. Проте кількість сценаріїв хаотизації обмежена. Що більше, деякі з них підпорядковані універсальним законам іррегулярності, і не залежать від природи системи.

Унікальність біосистем полягає у їхній здатності до самоорганізації, тобто до спонтанного утворення складних впорядкованих структур, це зумовлює потребу нових методів дослідження. Це особливо актуально для регуляції процесів природного поновлення під час реконструкції зруйнованих або істотно трансформованих екосистем, які треба здійснювати на виведених з господарського користування територіях.

Врахування детермінованого хаосу в динаміці біосистем істотно ускладнює загальну картину розвитку, проте дає змогу виявити область випадкових процесів. Кількісне та якісне оцінювання цих явищ пов'язане з певними методологічними труднощами. Нестійкість того чи іншого явища чи процесу, періодичного або хаотичного руху не можна спостерігати візуально. Якщо якийсь рух системи стає нестійким, вона переходить в інший стан, і цей стан можна спостерегти і описати. Питання про реальність нестійких рухів навіть не ставиться: якщо рух став нестійким, то вважають, що він зник.

Хаотичність руху детермінованих систем спричинена нестійкістю – кожна, навіть найменша, зміна початкового стану може призвести до непередбачуваної великої зміни напрямку руху. Численні роботи із дослідження нелінійної динаміки різноманітних систем показали, що, окрім нестійкості, хаотизація руху тісно пов'язана з такими особливостями нелінійних систем як мультистабільність та фрактальність.

Збільшення або зменшення чисельності популяції, структурні зміни біосистем, перерозподіли речовини і енергії, можуть бути спричинені переходом в інший динамічний режим. Об'єктивну оцінку можна отримати тільки внаслідок багатофакторного аналізу наслідків (зміни стійкості, зміни циклів, синхронізація трофічних ланцюгів та ін.), тому нестійкість слід розглядати як один з найвагоміших чинників існування, змінності та розвитку біосистем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Анищенко В.С. Детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 6. – С. 70-76.
2. Бауэр Э. Теоретическая биология. – М.-Л.: ВИЭМ, 1935. – 206 с.
3. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. О детерминистическом подходе к турбулентности. – М.: Мир, 2000. – 368 с.
4. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. – М.: Мир, 1989. – 477 с.
5. Глейк Дж. Хаос. Создание новой науки. – СПб.: Амфора, 2001. – 400 с.
6. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Наука, 2001. – 228 с.
7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М.: Наука, 1994. – 238 с.
8. Лийв Э.Х. Инфодинамика. Обобщенная энтропия и не-гэнтропия. – Таллинн, 1998. – 200 с.
9. Малиновський А.К. Коливальні процеси у фітоцено-тичних системах // Наук. зап. держ. природозн. музею – 2006. – Т.22. – С. 93-104.
10. Математические методы исследования сложных систем, процессов и структур // Сб. науч. трудов. – М.: МГОПУ, 2002. – Вып. 5. – 121 с.
11. Мун Ф. Хаотические колебания. – М.: Мир, 1990;
12. Одум Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. – Т.2. – 376 с.
13. Пригожин И. Философия неустойчивости // Вопросы философии. – 1991. – № 6. – С. 46-57.
14. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. – М.: Изд. группа "Прогресс", 1994. – 342 с.
15. Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические модели биологических продукционных процессов. – М.: МГУ. – 1993. – 236 с.
16. Чудов С.В. Устойчивость видов и популяционная генетика хромосомного видообразования: Монография. – М.: МГУЛ, 2002. – 97 с.
17. Чудов С.В., Чудова Н.Г. Колебания численности популяций и хаос в динамических системах // Сб. науч. статей докторантов и аспирантов МГУЛ. – М.: Изд-во МГУЛ, 1999. – С. 58-63.
18. Шустер Г. Детерминированный хаос. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
19. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции – Едиториал УРСС. 2001- 328 с.
20. Эбелинг В., Файстель Р. Хаос и космос: синергетика эволюции. – Институт компьютерных технологий, 2005. – 236 с.
21. Chirikov B.V. Linear and nonlinear dynamical chaos // Lectures on the Intern. Summer School "Nonlinear Dynamics and Chaos". Ljubljana. Slovenia, 1994.
22. Eldredge N. The Great Debate at the High Table of Evolutionary Theory – New York: John Wiley & Sons, 1995. – 95 p.
23. Gould S. "The Episodic Nature of Evolutionary Change" in The Panda's Thumb. – New York: W. W. Norton & Company, 1980. – P. 179-185.
24. Stearns S. The evolution of life histories. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1992. – 237 p.

A.K. Malynovskyj

## INSTABILITY AND POLYALTERNATIVENESS OF BIOSYSTEMS DEVELOPMENT

*The phenomenon of the determined chaos, nonlinear dynamics and instability are described by the nonlinear differential equations. It led to the formation of a new direction of researches and allowed to describe new classes of unstable dynamic systems which behaviour is chaotic. On this ground, the ideas that such fundamental characteristics of animate and inanimate nature as instability, unbalance and nonlinearity are being persisted. The principles and methods of polyalternative development researches, which are based on instability of biosystems of a different level of the organization, have been considered in the article.*

