

МІХЄЄВ О. М. 

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,
Україна, 03143, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 148, mikhalex7@yahoo.com

ЕВОЛЮЦІЯ ЯК ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМНОСТІ

У роботі пропонується розглядати біологічну еволюцію з погляду еволюції системності (організованості) об'єктів, тобто звертати увагу не на ознаки і не на адаптації, а на рівень, тип системності об'єктів, що еволюціонують. Еволюція розглядається як процес зростання, ускладнення, трансформації та іноді деградації системності еволюціонуючих об'єктів – від слабозв'язаних агрегатів молекул до стійких саморегулюючих і самовідтворюваних об'єктів, до багаторівневих об'єктів з метазв'язками і власними механізмами відтворення системності. Такий підхід відразу виходить за межі суто біології – він застосовний і до космології, хімії, культури, і психіки, і навіть еволюції штучного інтелекту. Еволюція за ознакою системності відбувається не тому, що об'єкти прагнуть складності, а тому що середовище вимагає вдосконалення системного способу існування. Стрибки системності – це плавне зростання складності, а фазові переходи у способі організації, викликані накопиченням невідповідностей між можливостями елементів і вимогами середовища. Об'єкти еволюціонують за ознакою системності, коли виникає стійкий конфлікт між інтенсивністю / варіативністю зовнішніх факторів і недостатньою адаптивністю поточної організації.

Ключові слова: еволюція, системність, ієрархія, ідіоадаптація, ароморфоз.

Системність – це інтегральна властивість об'єкта, що виражає ступінь, у якому його взаємодіючі елементи утворюють стійкий комплекс, що має власну динаміку, ефективність та здатність зберігати, відтворювати свою організацію за зміною станів. Системність – це також здатність об'єкта бути каузально і функціонально нередукованим до суми властивостей своїх елементів – ефект емерджентності. У детермінованих об'єктів системність вбудована у їхню структуру. Детермінація локальна і однозначна:

один і той же стан породжує одні й ті ж наслідки. Стійкість виявляється через: аттрактори, інваріанти, симетрії, закони збереження. Форма системності (те, як саме елементи об'єкта пов'язані і узгоджені між собою): структурна (набір елементів, типи зв'язків між ними, ієрархія, модулі, рівні, топологія (мережа, дерево, шари тощо)) і архітектурна (принципи узгодження функцій, розподіл ролей між елементами, канали режими). Макрорівень у детермінованих об'єктах часто редукується до мікрорівня.

У стохастичних об'єктів системність проявляється не у траєкторіях, а у розподілах. Детермінація статистична, але не довільна. Стійкість таких об'єктів – це стійкість імовірнісних режимів. Форма системності функціональна й емерджентна. Макрорівень часто більш передбачуваний ніж мікрорівень. Саморегуляція м'яка, за рахунок усереднень і компенсацій. Наприклад, термодинамічні об'єкти, динаміка популяції, еволюційні процеси.

Таким чином, системність не тотожна ні детермінізму, ні випадковості. Вона реалізується у детермінованих системах – через структурно задану каузальність, а у стохастичних – через стійкі імовірнісні режими.

Виділяють кілька загальновизнаних принципів системності: принцип цілісності стверджує залежність кожного елемента об'єкта, і навіть властивостей, відношення цих елементів від свого положення і функціональної ролі в об'єкті. Принцип структурності фіксує залежність функціональних властивостей об'єкта і його елементів від особливостей організації, зміни і взаємодії цих елементів. Принцип емерджентності визначає здатність об'єкта до вищого рівня складності, що не зводиться до властивостей, його елементів і наявності у елементів властивостей, що не виявляються ними поза об'єктом. Принцип ієрархічності вказує на необхідність розгляду будь-якого об'єкта одночасно як елемента більш масштабного об'єкта і як



© 2026 Міхєєв О. М. This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

самостійного об'єкта, елементи якого так само мають власну складну структуру. Принцип взаємозалежності об'єкта та середовища фіксує необхідність взаємодії об'єкта із середовищем для його збереження, адаптації до зовнішніх впливів середовища. Одночасно з цим активність об'єкта визначає властивості середовища і формує його характеристики.

Що таке «системність» у еволюційному контексті? Набір ознак системності як величин, що еволюціонують, може бути таким: зв'язаність елементів, що у еволюційному процесі проходить шлях від випадкової до структурованої; функціональна диференціація елементів об'єкта, коли вони стають різними та незамінними; наявність чітких зворотних зв'язків, які забезпечують функціональну замкнутість об'єктів; виникає (посилюється) саморегуляція – підтримання необхідних рівнів параметрів; забезпечується самовідтворення внутрішньо-об'єктних зв'язків і не просто елементів, а їх організації; зростає багаторівневість (ієрархічність), коли об'єкти складаються («синтезуються») з об'єктів; виникає регуляція регуляторів, тобто метарівень (надрівень) управління.

Вочевидь, що еволюція не тотожна зміні лише властивостей елементів. Еволюція – це зміна архітектури всіх зазначених параметрів. Користуючись вище переліченими принципами і ознаками системності, розглянемо еволюційний процес як стадії еволюції системності.

1. Етап еволюції стохастичних об'єктів зі слабкими, нестабільними взаємодіями їх елементів, з практичною відсутністю меж і пам'яті. Приклади таких об'єктів: фізичні хаотичні процеси, газ, випадкові молекулярні зіткнення. Еволюція таких об'єктів практично не відбувається, а є лише перебір можливих станів.

2. Протодетерміновані об'єкти, що утворюють стійкі структури, у яких хоч і з'являється форма / межа, але немає цільової (телеономічної) регуляції, наприклад, кристали, автокаталітичні цикли, для яких можна говорити лише про наявність квазіцілей (майже цілей). У таких об'єктів може відбуватися лише еволюція стійкості, але не функціональності.

3. Детерміновані, функціонально визначені об'єкти з чіткими межами, з наявністю справжніх цілей і виражених зворотних зв'язків, що спостерігається у клітин і простих організмів. На цьому етапі еволюція відбувається посилення відбору за ознакою системності, а не просто форм.

4. Об'єкти зі значно вищою ієрархією. Спостерігаються конфлікти між рівнями та їх спеціалізація, наприклад, як у багатоклітинних організмів й екосистем. При цьому еволюція починає йти не тільки усередині об'єкта, а й між рівнями системності.

5. Метаоб'єкти. З'являється метауправління (управління управлінням), можлива цілеспрямована перебудова об'єкта, виникає історія та стратегія. Приклади: психіка, культура, складні варіанти штучного інтелекту. Спостерігається якісний стрибок, коли еволюція стає значно свідомою.

Якщо розглядати еволюцію як добір і вдосконалення типів системності, то природний відбір – лише окремий випадок. Відбирається не організм, не ознака і навіть не поведінка, а спосіб організації, що забезпечує стійкість до флуктуацій параметрів середовища, здатність повніше відновлюватись, допускає варіації без деградації об'єкта і такий тип системності масштабується. Проте, прогрес системності при цьому не гарантований, і може прискорюватися, стагнувати, спускатися на простіший рівень, тобто в еволюційному процесі немає безперервних «сходін прогресу» системності.

Таким чином, це не тільки рух форм і накопичення функцій, а й історичний процес переходів між режимами системності об'єктів, де закріплюються ті структурно-функціональні рішення, які забезпечують надійність, відтворення і перебудову організації об'єктів за умов нестабільного середовища. Формальний критерій еволюційного стрибка – це не просто зростання кількості вузлів або повільне накопичення параметрів, а поява нової якісної структури чи рівня організації, який не можна звести до попередньої організації.

Важливо відзначити, що еволюція системності не тотожна еволюції складності, що можна простежити за декількома ознаками, наведеними нижче.

1. Цільова ознака. Системність проявляється у появі нових організаційних рівнів, замкнених функцій, нових типів детермінації, а складність – лише у кількісній різноманітності та нерегулярності (непередбачуваності) реакцій.

2. Поведінка у часі. Системність часто проявляється у вигляді стрибків (біфуркації, симбіозу, переходу до нового режиму). Приклади стрибка системності: ендосимбіоз (мікроб перетворюється на органелу), перехід до багатоклітинності, поява мови. Складність росте

плавно (нагромадження варіацій) або коливається, не обов'язково забезпечуючи зміну рівня організації (зауважимо, що все ж таки без зростання складності неможливі стрибки організації).

3. Роль укрупнення змінних та станів. У разі системності може покращуватися передбачення поведінки об'єкта. Складність зазвичай втрачає детальну інформацію і самостійно може зменшуватися при агрегації.

4. Причини та механізми. Еволюція системності забезпечується кооперацією елементів, симбіозом, появою зворотних зв'язків. Еволюція складності виглядає як зростання кількості компонентів, випадковим ускладнення їх взаємодій. Зростання складності відбувається у вигляді ускладнення мережі взаємозв'язків компонентів без виникнення нового рівня організації, наприклад, ускладнення мережі взаємодій індивідів усередині видової популяції.

Нижче розглянемо докладніше зміну ступеня системності за етапами біологічної еволюції, тобто як лінію біологічної еволюції, що буде представлена як історія зростання, зривів та перетворень системності.

0. Передбіологічний (хімічний) етап. Ступінь системності вкрай низька і локальна. Існують стійкі реакції, але немає їх інтегрованості. У об'єктів немає постійних меж, немає спеціалізованих структур, що відповідальні за пам'ять, відсутні механізми самопідтримки і самовідтворення. На цьому етапі системність фрагментарна та практично не успадковується.

1. Протожиття / протоклітини. Це перший значний стрибок системності, хоч і на мінімально необхідному рівні. З'являється межа (мембрана), що забезпечує замкнутий метаболізм та автокаталітичні цикли. Протожиття принципово відрізняється від суто хімічного середовища і його системність вперше здатна відтворюватися – організація починає виживати як організація.

2. Прокаріоти. Системність стабільна. Характерними є висока внутрішня інтеграція, невелика кількість структурно-функціональних рівнів, функції слабо диференційовані, має місце жорсткий зв'язок «ген→функція», що дозволяє забезпечувати високий рівень стійкості та масштабованість за кількістю особин. При цьому системність не зростає, а тільки тиражується, тобто виходить на плато, але все ж забезпечує значний успіх у відборі.

3. Еукаріоти (ендосімбіоз). Черговий різкий стрибок системності, що у полягає у появі

принципово нових якостей: об'єкт включає інші системи (органели); утворюється внутрішня ієрархія; відбувається перерозподіл функцій між рівнями. Виживає не найпростіший, а найкооперативніший. Системність стає багаторівневою, що важливіше, ніж просто зростання складності.

4. Багатоклітинність. Системність зростає з допомогою диференціації елементів, що проявляється у появі спеціалізованих клітин, між якими утворюються постійні міжклітинні зв'язки. Виникає властивість термінальності (смертності) елементів. Можна констатувати своєрідний системний феномен: втрачається автономія (селфінговість) елементів (Lekevicius, 1997), але різко зростає стійкість об'єкта. Системність зміщується з рівня елементів до рівня утвореного ними об'єкта.

5. Органи та фізіологічні системи. Системність зростає у вигляді виникнення функціонально-модульної організації. Органи, як підструктури об'єкта, мають чіткі функції, виникають складні контури зворотного зв'язку, надійність забезпечується, зокрема, резервуванням (холодним та / або гарячим) структур і функцій. Нова форма стійкості: ламатись локально, виживаючи цілком. Системність стає розподільною.

6. Нервова система. Системність стає інформаційною та динамічною. Відбувається якісний стрибок у вигляді появи координації елементів у реальному часі, тобто організм стає інтегрованим у дії, у поведінці, а не лише у структурі. Стають можливими активні реакції, а не лише реактивність. Поведінка жорстко не детермінується структурою, зростає роль ймовірнісних режимів. Інакше кажучи, системність проявляється не тільки у архітектурі, а й у динаміці.

7. Психіка та свідомість. Системність набуває властивість рефлексивності, коли об'єкт починає моделювати сам себе, виникає внутрішній рівень управління, поведінка стає контекстною й історичною. Помилки перестають бути катастрофічними, з'являється навчання та переосмислення накопиченого досвіду. Системність знаходить свідомість у своїх феноменальних і рефлексивних формах (зауважимо, що останню форму свідомості також можна розглядати як прояв стрибка системності).

8. Соціальна та культурна еволюція. Системність виходить на надбіологічний, соціальний рівень, що забезпечується великою кількіс-

тю (групою) організмів, а безпосередньо носієм системності стає не організм, а мова, норми, культура технології, колективна пам'ять. Ймовірно, на цьому етапі біологічна еволюція уповільнюється, а системна – прискорюється. Системність відокремлюється від генетики і йде вже переважно за миметичними механізмами (Dawkins, 2016).

Отже, зростання системності не є монотонним, а стрибкоподібним; ключові точки – не адаптації, а поява меж, ієрархій, зворотних зв'язків, мета-управління; складність може зростати без системності, але вона майже завжди тягне за собою перебудову складності. Біологічна еволюція – це історія того, як виживання поступово перейшло від елементів, до організацій і до принципів організації.

Що означає «еволюція за ознакою системності»? Системність – це не просто кількість елементів, а наявність стійких зв'язків, поява нових функцій (що не редукуються до суми функцій елементів), зростання саморегуляції і передбачуваності поведінки. Еволюція за системністю – це перехід від реактивного реагування до управління, до самоврядування і до рефлексивного управління. Отже, живе еволюціонує не до складності, а до автономії рівнів системності.

Що змушує об'єкти еволюціонувати за ознакою системності та який механізм стрибків системності? Еволюція за ознакою системності відбувається не тому, що об'єкти прагнуть набутти складності, а тому що середовище вимагає вдосконалення саме системного способу існування. Стрибки системності – це не плавне зростання складності, а фазові переходи у способі організації, що викликані накопиченням невідповідностей між можливостями елементів і вимогами середовища. Об'єкти еволюціонують за ознакою системності, коли виникає стійкий конфлікт між інтенсивністю / варіативністю зовнішніх факторів і недостатньою адаптованістю поточної організації.

Тиск середовища може проявитися у зростанні дози і потужності факторів (енергії, швидкості, частоти), у їх різноманітності, у підвищених вимогах до точності та координації, у збільшенні ціни помилок. Наявного рівня адаптованості може бути недостатньо тому, що поступові зміни параметрів власне (адаптація) об'єкта достатні, поки структура справляється кількісно. Однак, у певний момент може виникнути якісна межа стійкості (адаптованості),

оскільки існуючі елементи оптимізовані, ресурси вичерпані, шум зростає та управління стає нестабільним.

Механізм стрибка системності – це фазовий перехід до нового рівня організації об'єкта. При цьому відбувається:

1. Накопичення напруги, зокрема, зростає варіабельність, посилюється флуктуація поведінки.

2. Криза керованості, коли наявні регулятори не справляються та об'єкт входить у режим перерегулювання / хаотизації.

3. Рекомбінація зв'язків. Виникають нові канали взаємодії, з'являються нові зворотні зв'язки, частина ступенів свободи деяких елементів жорстко зв'язується.

4. Відбувається фіксація нового рівня. З'являється надрівень контуру управління (мета-зв'язок), елементи втрачають автономію, об'єкт виграє у стійкості. Стрибок системності відбувається за рахунок втрати свободи частини елементів задля стійкості всієї структури.

Що саме відбувається при стрибку системності? Фактично змінюється («перескакує») логіка організації об'єкта: реакції змінюються регуляціями, локальні правила – глобальними обмеженнями, незалежність елементів – їхньою кооперацією, енергетична ефективність – ефективністю інформаційної. Наприклад, ізольовані молекули утворюють метаболічні мережі, клітини переходять до тканинної регуляції, індивіди утворюють групи, нейрони – структури з когнітивною функцією. У всіх випадках зростання тиску факторів середовища виявляє недостатність існуючого рівня адаптації і відбувається стрибок системності, тобто організованості.

Таким чином, системність (організованість) еволюціонує не заради складності, а заради зниження ціни стійкості у середовищі, що ускладнюється. Об'єкт неминуче переходить на більш високий рівень системності, якщо подальше підвищення його стійкості у межах поточної структури вимагає зростання витрат швидше, ніж лінійно, відповідно зростає факторне (дистресуюче) навантаження. Інакше кажучи, коли вартість стійкості зростає швидше, ніж можливості структури, відбувається стрибок системності.

Важливо відзначити, що стрибок системності не безперервний, не редукується до накопичення змін і супроводжується втратою автономії елементів. Це не зростання «кількості» адаптації, а інша логіка адаптації. Об'єкт під-

вищує рівень системності, коли вигідніше скоротити кількість ступенів свободи своїх елементів, ніж продовжувати їх індивідуально стабілізувати. Це універсальний механізм, що спостерігається від молекул до суспільств.

Коли відбувається стрибок системності? Це відбувається, коли долаються пороги.

1. За факторною щільністю (інтенсивністю тощо). Сtribок неминучий, якщо фактори змінюються швидше, ніж елементи встигають підлаштовуватися; локальні рішення перестають синхронізуватись.

2. З варіативності відповіді. Спостерігається стрибок, коли розкид реакцій елементів перевищує допустимий коридор, але при цьому середня поведінка ще зберігається. Фактично, це передкризова зона, де об'єкт ще життєздатний, але вже нестабільний (стан гіпоадаптованості (Mikhyeyev, 2018)).

3. За ціною помилки. Сtribок системності неминучий, якщо ймовірність помилки низька, але ціна помилки катастрофічно висока. Саме подолання цього порогу призводить до появи ієрархії, централізованого управління, до жорстких протоколів.

4. Інерції. Об'єкт наближається до точки стрибка системності, коли вже змінився (чи перестав діяти) і він (об'єкт) все ще відповідає попередній. При цьому виникають перерегулювання, автоколивання, каскадні збої. У цій ситуації стрибок системності може бути єдиним способом «обігнати інерцію».

5. Зв'язності. Сtribок також неминучий, якщо управління саме стає системним, виникає надрівнева регуляція.

Сtribок системності практично неминучий, якщо спостерігаються три і більше зі списку наступних ознак: зростання витрат відбувається швидше за зростання стресуючої дії факторів, адаптація сповільнюється, флуктуації зростають, перерегулювання посилюється, зростає ціна помилок, стає шкідливою свобода елементів. Таким чином, стрибки системності є фазовими переходами, що виникають при перевищенні порога невідповідності між динамікою факторів та адаптаційним потенціалом поточної структури, та реалізуються через редукцію ступенів свободи елементів задля стійкості цілого.

Повернемося до біологічної еволюції та розглянемо видоутворення на прикладі ідіоадаптацій та ароморфозів з погляду еволюції системності. Ідіоадаптація – це пристосування організму без підвищення загального рівня його

організації. Системолог сказав би, що ідіоадаптація – це локальний стрибок системності, що не змінює глобальну архітектуру регуляції. При цьому з'являється новий контур узгодження елементів, але метарівень управління не змінюється. При ідіоадаптації стрибок системності спостерігається, але рівень екологічної залежності посилюється. Фактично, це структурна оптимізація, а не архітектурний перехід. Прикладом ідіоадаптації може бути мімікрія, спеціалізація кінцівок, адаптація ферментів, тобто виникають нові мікрооб'єкти всередині старої схеми управління.

Чому ж більшість стрибків системності не стають ароморфозами? По-перше, найчастіше спостерігається локальність стабілізації, тобто стабілізується локальний режим, який не веде до підвищення глобальної адаптивності. Такий стрибок вирішує окрему проблему, але не вирішує її в цілому. По-друге, стрибок не долає архітектурну замкнутість об'єкта, коли нова структура не масштабується, не переноситься в інші умови, не універсалізується, немає розширення адаптивної зони. По-третє, відбувається зростання залежності замість автономності. Багато стрибків збільшують ефективність функціонування, але посилюють залежність від середовища, що, наприклад, спостерігається під час паразитизму або спеціалізації до екстремальних умов. По-четверте, має місце регуляторна стагнація. Якщо з'являється надрівень управління, стрибок залишається структурним, але не системним у повному сенсі. Об'єкт не підвищує загальний рівень системності, якщо локальна перебудова легша за глобальну. Тобто, поки проблему можна вирішити приватною перебудовою, ароморфоз не потрібен. Приклади системних стрибків у рамках ідіоадаптацій: форма дзьоба → перебудова трофічної регуляції, фарбування → перебудова сигнальних контурів, кінцівки → вдосконалення кінематичної регуляції. У всіх випадках змінюється підсистема, а не загальна системна архітектура.

Найчастіше, еволюція реалізує мінімально достатній стрибок системності. Ароморфоз догоровартісний енергетично, онтогенетично, генетично, регуляторно. Тому, якщо проблему можна вирішити змінами приватної архітектури, то універсальна архітектура еволюційно стає невигідною. Після локального стрибка системності об'єкт може потрапити до адаптаційної пастки, коли локальна ефективність зростає, а глобальний потенціал адаптованості падає. На-

приклад, паразитизм, глибока спеціалізація, екстремофілія, кастовість. Чим вища спеціалізація, тим нижча ймовірність ароморфозу.

Стрибок системності стає ароморфозом тільки якщо зростає автономність об'єкта; з'являється новий рівень регулювання; розширюється адаптивна зона; структура масштабується; архітектура стає терпимою. Якщо хоча б одного пункту немає, це не ароморфоз. Ароморфози – це переходи між рівнями регуляції, а не усередині рівня. Наприклад: прокаріоти → еукаріоти, одноклітинні → багатоклітинні, рефлекторна нервова система → кора головного мозку.

Отже, ароморфози (макроеволюцію) слід розглядати як послідовність системних переходів між рівнями регуляції, а не накопичення ознак. Макроеволюція – це не зростання складності, а зростання глибини регуляції, а мікроеволюція – це не ускладнення форм, а зміна способів регуляції. Макроеволюція є послідовністю фазових переходів між рівнями системної регуляції, де кожен стійкий рівень характеризується

власною архітектурою управління і структурою обмежень. Ідіоадаптація – локальний стрибок системності, локальна оптимізація, ароморфоз – універсалізований стрибок системності, архітектурна революція, видоутворення – стабілізація нового режиму регуляції, а макроеволюція – сходи регуляторних архітектур. При збільшенні дистресуючої дії факторів спостерігаються, у першу чергу, локальні стрибки (ідіоадаптації), надалі відбувається накопичення інерції і напруги, що викликають архітектурну (структурно-функціональну) кризу, яка вирішується за допомогою стрибка рівня регуляції, тобто ароморфозу. Макроеволюція (ароморфоз) є послідовністю фазових переходів між рівнями регуляції, розділених періодами локальних оптимізацій (ідіоадаптацій).

Інформація про фінансову підтримку, подяки: відсутня.

Конфлікт інтересів: автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Список використаних джерел

1. Dawkins R. The Selfish Gene. Oxford : Oxford landmark science, 2016. 464 p.
2. Lekevicius E. A model of adaptive rearrangements on community, population, and organism levels. *Thesis for Habilitation Natural Sciences*. Vilnius, 1997. 81 p.
3. Mikheyev A. N. Modification of ontogenetic adaptation: Kyiv : Phytosociotsentr, 2018. 396 p.

МІХИЄВ О. М.

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, 03143, Kyiv, Akad. Zabolotnoho str., 148

EVOLUTION AS THE EVOLUTION OF SYSTEMICITY

This paper proposes considering biological evolution from the perspective of the evolution of the systematicity (organization) of objects, that is, focusing not on traits or adaptations, but on the level and type of systematicity of evolving objects. Evolution is viewed as a process of growth, complication, transformation, and sometimes degradation of the systematicity of evolving objects – from loosely coupled molecular aggregates to stable, self-regulating, and self-reproducing systems, and further to multi-level systems with meta-connections and their own mechanisms for reproducing systematicity. This approach goes beyond the confines of biology and is applicable to cosmology, chemistry, culture, the psyche, and even the evolution of artificial intelligence. Evolution based on systematicity does not occur because objects strive for complexity, but because the environment demands the improvement of a systemic mode of existence. Leaps in systematicity are not a smooth increase in complexity; rather, they represent phase transitions in modes of organization caused by the accumulation of discrepancies between the capabilities of elements and the demands of the environment. Objects evolve in terms of systematicity when a persistent conflict arises between the intensity and variability of external factors and the insufficient adaptability of the current organization.

Keywords: evolution, systematicity, hierarchy, idioadaptation, aроморфosis.

Надходження статті: 24 лютого 2026 р.

Прийняття до друку після рецензування: 6 квітня 2026 р.

Публікація: 30 червня 2026 р.