

2. Величко Л.П. Хімічна компетентність і безпека життєдіяльності учня в умовах воєнного стану. Science, innovations and education: problems and prospects. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Tokyo, Japan. 2022. Pp. 246-248.

## ВИСВІТЛЕННЯ ДИНАМІКИ ТА ЕВОЛЮЦІЇ СТРУКТУРИ І ФУНКЦІЙ ЖИВИХ СИСТЕМ У ЗМІСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ

**Грубінко Василь Васильович**

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

[v.grubinko@gmail.com](mailto:v.grubinko@gmail.com)

**Багрій Надія Михайлівна**

здобувачка магістерського рівня освіти спеціальності 014.15 Середня освіта (Природничі науки), Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

Нагадаємо коротко зміст основних законів класичної термодинаміки і результати їх застосування в біології. Згідно першого закону, кількість теплоти, поглинена системою із зовнішнього середовища, використовується на збільшення її внутрішньої енергії і здійснення загальної роботи, що включає роботу проти сил зовнішнього тиску по зміні об'єму системи і максимальну корисну роботу, що супроводжують хімічні перетворення.

Перевірка першого закону, що проводилася в калориметрах, в яких вимірювалася теплота, виділена організмом в процесі метаболізму, при випаровуванні, а також разом з продуктами виділення, показала, що виділене біологічною системою тепло не повністю відповідає енергії, поглиненій разом з живильними речовинами. Справедливість першого закону означає, що сама по собі біологічна система не є незалежним джерелом будь-якої нової енергії.

Другий закон термодинаміки розкриває критерій спрямованості довільних незворотних процесів. Будь-яка зміна стану системи описується відповідною зміною особливий функції стану – ентропії (S), що визначається сумарною величиною поглинених системою приведених теплот ( $Q/T$ ). Рівноважна термодинаміка розглядає початковий і кінцевий стан системи, а спрямування процесу визначається за різницею параметрів системи у цих станах –  $\Delta T$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta S$ .

В ізольованих системах  $dQ = 0$  і, отже,  $dS = 0$ . У цьому і полягає еволюційний критерій спрямованості незворотних змін в ізольованих системах, що завжди відбуваються із збільшенням ентропії до її максимальних значень при закінченні процесу і встановленні термодинамічної рівноваги. Збільшення ентропії означає зменшення ступеня впорядкованості і організованості в системі, її хаотизацію. Застосування другого закону до біологічних систем в його

класичному формулюванні призводить, на перший погляд, до парадоксального висновку, що процеси життєдіяльності відбуваються з порушенням принципів термодинаміки. Насправді, ускладнення і збільшення впорядкованості біологічних структур в період їх росту і формування супроводжуються зменшенням, а не збільшенням ентропії, як повинно було б виходити з другого закону. Як приклад можна розглянути потік речовини та енергії в екосистемі, що відомий як матеріально-енергетичний баланс екосистем.

Відомо, що зовнішня енергія, яка надходить в екосистему, розподіляється щонайменше на три частини: частина фіксується продуцентами; частина витрачається на підтримання функціонування (метаболізм та виконання механічної роботи у просторі) системи. Обидва зазначені резервування енергії забезпечують стійкість, гомеостаз, відтворюваність та еквіфінальність екосистем як компонентів біосфери і носіїв «явища життя як форми існування матерії». Третя частина потоку енергії в екосистемах не засвоюється (коефіцієнт корисної дії). Енергія, що фіксується продуцентами та розподіляється у результаті матеріально-енергетичного перетворення у трофічному ланцюзі, становить ту її частину, що сприяє підтриманню життєдіяльності організмів (формування компонентів – складових екосистеми) та цілісності екосистеми як стійкої структурно-функціональної макроструктури (формування системи як цілісного утворення). На перший погляд фіксація енергії призводить до зростання порядку в екосистемі (функціонування достатньо впорядкованого за структурою трофічного ланцюга та просторової організації в екосистемі), а отже зменшення ентропії системи. Однак, згідно положень, висловлених І. Пригожиним (1959), ця енергія формування ( $\sigma$ ) якраз і становить фіксовану («внутрішню») ентропію, що «прихована» у вигляді функціональної організації біологічних структур на всіх рівнях організації екосистеми: від молекул – через організми – до екосистемного рівня організації.

#### **Включеність як форма існування біологічних та екологічних систем.**

Перша з основних в сукупності властивостей біологічних систем є організація живих систем за принципом включеності структурних елементів, що забезпечує цілісність системи та функціональну єдність її елементів. В системах поряд із ієрархічністю елементів, кожен з них, володіючи унікальною структурно-функціональною індивідуальністю, є обов'язковим (унікальним) компонентом системи, що завдяки цьому та численній кількості функціональних зв'язків (векторні взаємодії) забезпечує стійкість та самоорганізацію і самопідтримання системи в цілому. Згідно з твердження Ю. Урманцева основними структурними характеристиками системи є:  $M_i$  – множина елементів системи;  $R_i$  – взаємодії між елементами;  $Z_i$  – закон композиції (композиційність як фактор функціональної ефективності);  $A_i$  – виокремлення елементів множини  $M_i$  із множини  $M$ . Загальні характеристики системи є єдністю властивостей елементів, разом з тим не їх сумою, а новою властивістю, за характеристикою ширшою і

важливішою, ніж властивості кожного елемента. Тому можна стверджувати про гетерогенність (поліморфізм і ізоморфізм), симетрію і асиметрію систем. Випадання (елімінація) будь-якого *i*-го структурно-функціонального елемента будь-якого порядку організації зменшує ступінь реалізації цих глобальних властивостей і унаслідок цього дестабілізує систему. Тому, як зникнення (руйнування або відсутність синтезу) будь-якої молекули в клітині, так втрата функцій у тканині, органі чи системі органів, а також елімінація популяції (видів) в екосистемі у просторовому чи часовому вимірі, призводить до втрати сукупності властивостей системи вищого порядку в цілому.

Організація системи за принципом включеності разом з тим не означає її повну замкненість (ізолюваність) від середовища в цілому та окремих елементів, особливо нижчих ієрархічних порядків, зокрема. Як система в цілому, так її кожна складова, незалежно від ієрархічного розміщення і ступеня інтегративності можуть мати чисельні взаємодії з середовищем прямо чи опосередковано. Їх кількістю та інтенсивністю, а також енергетичним потенціалом взаємодії (зміна ентропії), визначається ступінь відкритості системи, її залежність (чутливість) до зовнішніх чинників та, відповідно, здатність підтримувати певний рівень гомеостазу та енантіостазу.

**Дисипативно-континуальний механізм функціонування живих систем.** Динамічний (функціональний) рівень реалізації задач, що виконуються системою, як вже зазначалося, визначається праметричною (величина – сила відповіді) та кодовою (частота відповіді) реакціями систем на інформацію, що надходить до них (дію фактора), і здатністю до внутрішнього аналізу, зворотньої реакції та організації саморегуляції (забезпечення підтримання гомеостазу).

Згідно з У. Кенноном, під гомеостазом систем слід розуміти сукупність органічних регуляцій, що підтримують їх стійкий стан, причому дія регулюючих механізмів може здійснюватися не в одному і тому самому, а нерідко, в різних, і навіть протилежних, напрямках – згідно відповідними зовнішніми змінами, що підкоряються деяким фізичним законам. Простим прикладом гомеостазу є гомотермія. Згідно з правилом Вант-Гоффа зменшення температури веде до зниження швидкості хімічних реакцій: така закономірність характерна для звичайних фізико-хімічних систем, а також екзотермних тварин. Проте у ендотермів зниження температури викликає протилежну дію, а саме – збільшення швидкості метаболічного процесу, внаслідок чого підтримується постійна температура тіла. Це зумовлено дією механізму зворотнього зв'язку: зниження температури стимулює термогенні центри в таламусі мозку, які «вмикають» механізми, що виробляють тепло. Подібну схему зворотнього зв'язку можна знайти в різноманітних формах фізіолого-біохімічних регуляцій та регуляції стану і управління діями при цілеспрямованій активності біологічних і екологічних систем загалом.

Іншим чинником функціональної ефективності і гомеостазу систем є динамічна взаємодія усередині систем з багатьма змінними. При чому, для біологічних систем у зв'язку з цим має значення дослідження поняття відкритості системи. Для такої системи характерним є те, що до неї постійно надходить ззовні речовина та енергія. Усередині системи остання піддається різним реакціям, які частково утворюють компоненти вищої складності – анаболізм (продуктивність). Одночасно з цим відбувається катаболізм речовини і кінцеві продукти виводяться з системи.

Компонент А надходить в систему і перетворюється у компонент В; водночас з цим шляхом прямої реакції відбувається катаболізм і отриманий продукт в кінцевому результаті виводиться з системи.  $K_1$ ,  $K_2$  – константи надходження і виведення;  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – константи реакцій. Ця модель у загальних рисах відповідає, наприклад, білковому обміну, де: А – амінокислоти, В – протеїни, С – продукти фізіологічного виділення катаболізму амінокислот.

Межі функціонування відкритих, на відміну від закритих, систем полягають в тому, що за відповідних умов відкрита система досягає стану динамічної рівноваги, в якій її структура залишається постійною, але в протилежність звичайній рівновазі ця постійність зберігається в процесі безперервного обміну і руху речовини, що складає її. Динамічна рівновага відкритих систем характеризується **принципом еквіфінальності**, тобто на відміну від стану рівноваги в закритих системах, повністю детермінованих початковими умовами, відкрита система може незалежно від часу досягати стану, який не залежить від її вихідних умов і визначається винятково параметрами системи. Більше того, у відкритих системах виявляються термодинамічні закономірності, що здаються парадоксальними і суперечать другому закону термодинаміки. Відповідно до цього загальний хід фізичних подій у закритих системах відбувається у напрямку збільшення ентропії, елімінації відмінностей і досягнення стану максимальної неупорядкованості. Разом з тим, у відкритих системах, в яких відбувається перенесення речовини, цілком можливе введення негентропії завдяки потоку речовини і енергії через систему. Тому подібні системи можуть зберігати високий рівень і навіть розвиватися у бік збільшення порядку та складності, що дійсно є однією з найбільш важливих особливостей життєвих процесів.

Отже, «зворотній зв'язок», «відкритість систем» та «гомеостаз» – це функціональні особливості біологічних систем і біологічних явищ взагалі. Проте за умови стабільно визначеної для кожної біо–, еко– системи (підсистем та їх елементів) еквіфінальності (консерватизм функції і, відповідно, результату діяльності системи), рівень (міра, ступінь) виявлення результату (його параметричні і кодові характеристики) можуть коливатися в межах функціональних задач системи та характеру зовнішнього впливу (тиску факторів, особливо критичних). Тому в системах за умови збереження

загального рівня динамічної рівноваги можливі дисипативно-континуальні зміни (переходи) станів: вихідний в даних конкретних умовах та в даний час стаціонарний стан системи змінюється з її наступним кількісним і якісним переходом на новий рівень структурно-функціональної еквіфінальності (революція, еволюція). При цьому переходи від одного до іншого дискретного стану можуть здійснюватися по-різному (еволюційні зміни чи революційні стрибки в один чи декілька етапів) та за різними механізмами (фено– чи гено– типові адаптації) у напрямку структурно-функціонального ускладнення (прогрес) або спрощення (регрес), що визначається еквіфінальною доцільністю.

**Дисипативно-континуальний принцип.** Наприклад, можна застосувати до пояснення згаданого явища гомеостазу систем, що має в біології в даний час декілька трактувань. З одного боку це поняття використовується в його первинному розумінні, запропонованому У. Кенноном і ілюстрованому прикладами підтримання температури тіла і інших фізіологічних змінних за допомогою механізмів зворотнього зв'язку. В розумінні, що використовується для описання органічної регуляції взагалі і адаптації як динамічного процесу біо–, еко– систем, гомеостаз розглядається як комплекс структурно-функціональних змін, що, реагуючи на зовнішні і внутрішні стимули, не тільки і не стільки зберігає стан системи в часі, а здатні змінити її властивості адекватно характеру, силі і частоті впливів. Динамізація станів живих систем детермінована як внутрішніми чинниками (генетично, фізіолого-біохімічно тощо), так і потребами постійного реагування на змінювані умови існування (абіотичні та біотичні), що в тривалому вимірі призводять до адаптацій та їх еволюції.

Узагальнюючи, можна зазначити, що живі системи можна вважати ієрархічно організованими відкритими системами, які здатні зберігати себе (певний час незмінними або шляхом континуальних переходів у вигляді нових дисипативних станів) у вигляді динамічної рівноваги з метою забезпечення постійного досягнення функціонального (діючого) результату. Будь-яку патологію в живих системах в зв'язку з цим слід розглядати як деякий процес певних порушень функціонування, що призводить до зменшення або втрати результату діяльності (порушення еквіфінальності: росту, продуктивності, конкурентоздатності, різноякісності і різноманіття, розвитку тощо).