

УДК 502.7:519.7

Г. А. Корчинський, д. х. н., проф.;

О. П. Сорочинський,

Е. Л. Звенигородський, к. б. н.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАКОНІВ ЕКОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРИНЦИПІВ

Екологія — наука про екосистеми. Наука порівняно молода, хоч термін «екологія» німецький біолог Е. Геккель запропонував ще у 1886 р. [1]. Тому до 1950 р. вважали, що екологія відноситься до біологічних наук [2]. Однак тепер екологія вийшла за межі біологічних наук і стала самостійною наукою, що має притаманні їй методи досліджень. Екологи зараз використовують спеціальні фізичні, фізико-хімічні, біохімічні, хімічні, біологічні та інші методи досліджень, на основі яких здійснюються прогнози результатів процесів, що відбуваються у екосистемах, тобто процесів обміну речовин та енергії між живими організмами і навколишнім середовищем, тобто, за термінологією В. Вернадського, обміну між живими і неживими речовинами [3]. Тому сучасна екологія вирішує надзвичайно широке коло проблем.

В теперішній час для використання в екології пропонується ряд природничих законів, які часто за своєю суттю є чисто біологічними і цим стримується пошук істини та прогнозування процесів у екосистемах. Часто ці закони не враховують сучасних екологічних змін, що обмежує дослідження екосистем, які відрізняються своєрідним потоком енергії та кругообігом речовин. Обидва ці процеси пов'язані наявністю в екосистемах живих організмів. На жаль, при цьому явно не використовується основний закон природи — закон збереження матерії, а також закони термодинаміки.

Враховуючи викладене, основним завданням наших досліджень був аналіз термодинамічних шляхів перетворення речовини та енергії в екосистемах. Як результат проведених досліджень пропонується класифікація законів екології на основі принципів термодинаміки.

Саме на основі закону збереження матерії в поєднанні з другим законом термодинаміки можна класифікувати екологічні закони, які визначають перебіг процесів у екосистемах, що розвиваються та деградує за рахунок обміну речовин та енергії.

Загалом найкраще з позицій термодинаміки зв'язок між енергією та масами речовин описує рівняння ізобаро-ізотермічного потенціалу або вільна енергія Гібса [4]

$$dG = VdP - SdT + \sum_{i=1}^{i=k} \mu_i dn_i, \quad (1)$$

де G — вільна енергія Гібса; V — об'єм; P — тиск; T — температура за Кельвіном; S — ентропія; μ_i — хімічний потенціал або рівень Фермі, якщо мова йде про електрони [5]; n_i — молярні маси компонентів.

Рівняння (1) дає взаємозв'язок вільної енергії Гібса і кількості молярних мас i -х компонентів, які взаємодіють у екосистемі і зумовлюють обмін речовин і енергії під впливом навколишнього середовища [6].

Екосистеми природи, що нас оточує, мають здатність до розвитку, самоорганізації та ускладнення [7]. Екосистеми є основними структурними одиницями, які складають біосферу.

Рівняння (1) для ізотермічних умов приймає такий вигляд

$$dG = dH - TdS + \sum_{i=1}^{i=k} \mu_i dn_i, \quad (2)$$

де H — ентальпія. Якщо розглядати співвідношення мас та енергій, то необхідно мати на увазі, що це співвідношення залежить від висоти h розміщення екосистеми:

$$\rho = \rho^0 \cdot e^{-Mgh/RT}, \quad (3)$$

де ρ — густина компонентів на будь якій висоті h над поверхнею Землі; ρ^0 — густина на поверхні землі, g — прискорення сили земного тяжіння; R — універсальна газова стала; M — середня молекулярна маса компонентів (повітря).

Завжди екосистему можна розглядати в певних стандартних умовах, що дає можливість рівняння (2) представити у такій формі

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S + \sum_{i=1}^{i=k} \mu_i \Delta n_i. \quad (4)$$

Тут ентальпійні та ентропійні складові визначають обмін енергій, включаючи обмін речовин (Δn). На цій основі пропонуємо класифікувати екологічні закони на три групи, які відповідають таким процесам:

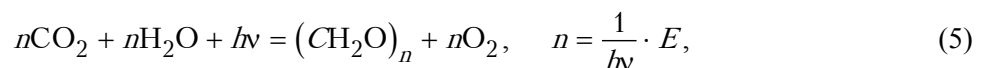
1) спонтанним; 2) не спонтанним; 3) рівноважним.

Перша група екологічних законів, для яких $\Delta G < 0$ відноситься до процесів, що перебігають спонтанно. Друга група законів, коли $\Delta G > 0$ — до не спонтанних процесів, які відбуваються під впливом поглинання енергії екосистемами. Третя група законів характеризує стан рівноваги в екосистемах ($\Delta G = 0$).

До першої групи законів віднесемо, наприклад, закон В. І. Вернадського біогенної міграції, який формулюється так [1]: міграція хімічних елементів на поверхні Землі та в біосфері в цілому здійснюється під переважним впливом живої речовини організмів. Так відбувалося і в геологічному минулому мільйони років тому, так відбувається і в сучасних умовах. Жива речовина або бере участь у біохімічних процесах безпосередньо, або створює відповідне збагачення компонентів (n), що приймають участь в обміні речовин. Це спричиняє зміну вільної енергії, з допомогою якої можна ефективно керувати біохімічними процесами і запобігати негативним явищам.

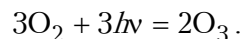
Сюди ж відносяться такі закони: закон фізико-хімічної єдності живої речовини: вся жива речовина Землі має єдину фізико-хімічну природу (В. І. Вернадський), закон розвитку довкілля: будь яка природна система розвивається лише за рахунок використання матеріально-енергетичних й інформативних можливостей навколишнього середовища. Абсолютно ізольований саморозвиток неможливий. Це впливає із законів термодинаміки ($\Delta G > 0$).

Друга група екологічних законів характеризує процеси обміну речовин, що не відбуваються спонтанно в екосистемі. Чітким прикладом є закон фотосинтезу: кількість біомаси, що утворюється в екосистемі прямо пропорційна поглинутій енергії:



де E — енергія, яка поглинається екосистемою; h — стала Планка; ν — частота коливання світлової енергії, що зумовлює фотохімічну реакцію.

Другим прикладом може бути процес синтезу озону в атмосфері



Нові компоненти змінюють склад атмосфери, а відтак впливають на екологічні процеси. З такими процесами має тісний зв'язок закон однонаправленості потоку енергії: енергія, яку одержує екосистема, що засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їх біомасою передається консументам першого, другого, третього та інших порядків, а потім редуцентам, що супроводжується диханням.

Коли ΔS значно зростає і стає таким, що $\Delta H \leq T\Delta S$, то це вказує на процеси хаосу в екосистемі, виникає екологічна криза, тобто рівняння (4) дозволяє аналізувати загальний стан екосистеми і навіть виявити умови кризових ситуацій. До другої групи відноситься також закон максимізації енергії, сформульований Г. і Ю. Одумами та доповнений М. Реймерсом: у конкуренції з інши-

ми системами зберігається та з них, яка найбільше сприяє надходженню енергії та інформації й використовує максимальну їх кількість найефективніше, тобто має найвищий коефіцієнт корисної дії. Найефективнішою буде та, яка продукує компоненти, що відповідають умові $\Delta G > 0$. Сюди треба віднести закони максимуму й мінімуму біогенної енергії.

Закон максимуму біогенної енергії (закон Вернадського–Бауера): будь-яка біологічна та «біо-недосконала» система з біотою, що перебуває в стані «стійкої нерівноваги» (динамічно рухливої рівноваги з довкіллям), збільшує, розвиваючись, свій вплив на середовище.

Закон мінімуму (сформульований Ю. Лібіхом): стійкість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб

$$K_c = \frac{C_{O_2}}{C_{CO_2}} \quad \text{або} \quad K_p = \frac{P_{O_2}}{P_{CO_2}}, \quad (7)$$

де C і P — відповідно, концентрації і парціальні тиски газів.

Збільшення кількості вуглекислого газу в крові спричиняє зростання кисню, а його вміст прагне до норми, стабілізуючи обмін речовин та енергій.

Отже, керуючи вмістом CO_2 у крові, можна впливати на процес обміну, поліпшуючи стан організму, як екосистеми.

Взагалі, процеси самокерування притаманні біосфері. Звідси закон сталості: відношення парціальних тисків або концентрацій у екосистемах в процесі обміну речовин і енергій є сталим. Цей закон можна використати і у медичній практиці.

Доречно сюди віднести важливий закон екології — внутрішньої динамічної рівноваги: динамічні якості окремих природних систем та їх ієрархії дуже тісно пов'язані між собою, так що будь-яка зміна одного з показників неминуче призводить до функціонально-структурних змін інших, але при цьому зберігаються загальні якості екосистеми: речовинно-енергетичні, інформаційні та динамічні. В організмі, як цілісній системі, всі його частини відповідають одна одній за будовою, та за функціями. Зміна однієї частини неминуче викликає зміну інших. До третьої групи належить також закон константності живої речовини.

Виходячи з термодинамічних позицій, дамо визначення екосистем, як основної структурної одиниці екології. Екосистема — це частина об'єктивного світу, яка являє собою сформовану цілісну термодинамічну систему, де відбуваються процеси обміну речовин та енергії, зумовлюючи життєдіяльність, стабільність й, нарешті, деградацію організмів. Тут суттєвою є деградація, що відбувається не тільки з часом, але й під впливом термодинамічних параметрів, зокрема, через вплив ентропії, шкідливих речовин, які врешті-решт спричиняють загибель екосистеми де втрачається фізичне поле, яке забезпечує інформаційний обмін та поєднує частини екосистеми в єдине ціле [10]. Можна припустити, що на молекулярному рівні механізм утворення такого поля реалізується завдяки деформації та крутінню донорно-акцепторних зв'язків, враховуючи те, що спіни паровані у хімічних зв'язках. Донорно-акцепторні зв'язки дуже чутливі у спін-спіновій протонній взаємодії (ССПВ), тому, мабуть, й проявляється фізичне поле що впливає на перебіг незворотних процесів різної природи в екосистемах або, наприклад, на нестабільний стан води [11].

У ізобаро-ізотермічних умовах, інтегруючи рівняння (1), зі сталими відношеннями між масами компонентів у системі, а потім диференціюючи його, отримаємо

$$dG = \sum_{i=1}^{i=k} n_i d\mu_i + \sum_{i=1}^{i=k} \mu_i dn_i. \quad (8)$$

Використовуючи (8), ССПВ представимо як зміну вільної енергії Гіббса системи води

$$dG = n_p d\mu_p + \mu_p dn_p + n_{[\bullet\bullet]} d\mu_{[\bullet\bullet]} + \mu_{[\bullet\bullet]} dn_{[\bullet\bullet]}, \quad (9)$$

де n_p — кількість молей делокалізованих протонів; $n_{[\bullet\bullet]}$ — кількість молей електронних пар, μ_p — хімічний потенціал протонів; $\mu_{[\bullet\bullet]}$ — хімічний потенціал спарених електронів ($[\bullet\bullet]$).

Враховуючи, що $\mu_j = \mu_j^0 + RT \ln n_p$, отримаємо

$$dG = RT(dn_p + dn_{[\bullet\bullet]}) + \mu_p dn_p + \mu_{[\bullet\bullet]} dn_{[\bullet\bullet]}. \quad (10)$$

Для води $n_p = n_{[\bullet\bullet]}$ і рівняння (10) набуває вигляду

$$\frac{dG}{dn_p} = \mu_p + \mu_{[\bullet\bullet]} + 2RT. \quad (11)$$

Як випливає з виразу (11), для збільшення протонів на один моль, внаслідок певних дій на водневій зв'язки, необхідно витратити роботу на $2RT$ більшу, що зумовлює додаткове поле електромагнітної природи однокомпонентної системи — вода. На користь такої точки зору свідчить також електрокапілярний ефект в електромагнітному полі [12], який виникає на викривленій поверхні. Це має сенс тому, що, як вважають, фізичні поля можуть виникати за рахунок геометрії простору. «А ргіогі», мабуть, відокремити такі поля від електромагнітного неможливо. Однак, ССПВ пропонуємо розглядати як джерело поля, викликаного деформацією, крутінням та розривами водневих зв'язків у просторі і часі.

Енергія $2RT$ на одну ССПВ при $T = 293$ К становить $0,809 \cdot 10^{-20}$ Дж. У рамках квантової механіки така енергія відповідає частоті $1,22 \cdot 10^{-15}$ Гц. Отже, осцилятор ССПВ генерує високочастотне поле. Безумовно, ССПВ проявляється в біологічних об'єктах, де є водневі зв'язки, зокрема в молекулах ДНК та РНК.

Висновки

В роботі проаналізовані термодинамічні шляхи перетворення речовини та енергії в екосистемах і запропонована класифікація законів екології на основі принципів термодинаміки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології. — К.: Либідь, 1993. — 368 с.
2. Основи екології та соціоекології. За ред. Єнколо В. — Львів: Світ, 1998. — 241 с.
3. Вернадский В. И. Биосфера. — М.: Мысль, 1967. — 376 с.
4. Корчинський Г. А. — К.: НМК ВО, 1992. — 210 с.
5. Епифанов Г. Н., Мома Ю. А. Физические основы конструирования и технологии РЗА и ЭВА. — М.: Сов. Радио, 1979. — 127 с.
6. Химия окружающей среды. Под редакцией Боксрис Дж. — М.: Химия, 1982. — 671 с.
7. Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1975 — 421 с.
8. Куриленко С. Фізична хімія. — К.: Держтехвид. УРСР, 1962. — С. 135.
9. Уест Дж. Физиология дыхания. — М.: Мир, 1988. — 212 с.
10. Акимов А. Е., Бойчук В. В., Тарасенко В. Я. Дальнодействующие спинорные поля. Физические модели. — К.: 1989. — 23 с. (Препр. / Ин-т проблем материаловедения АН УССР; № 4).
11. Лаврентьев М. О регистрации реакции вещества на внешний необратимый процесс // Доклады АН СССР, 1991. — Т. 3. — № 3. — С. 635—639.
12. Корчинський Г. А., Адрианов В. М. Электрокапиллярный эффект в электромагнитном поле // Журн. физ. химии. 1963. — Т. 37. — № 8. — С. 1920—1921.

Рекомендована кафедрою хімії та екологічної безпеки

Надійшла до редакції 13.11.01
Рекомендована до друку 7.01.02

Корчинський Георгій Антонович — професор; **Звенигородський Едуард Леонідович** — старший викладач.

Кафедра хімії та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет;
Сорочинський Олександр Пантелеймонович — член міжнародної асоціації «Феномен» при Академії Наук ООН, інженер заводу «Термінал», м. Вінниця.