

ПРОТАСОВ
Олександр Олександрович —
доктор біологічних наук,
професор, провідний науковий
співробітник Інституту
гідробіології НАН України

СИСТЕМНА КОНЦЕПЦІЯ ЕВОЛЮЦІЇ БІОСФЕРИ І СУЧАСНА ЕКОЛОГІЧНА КРИЗА

Біосфера — складна ієрархічна біокосна система, найменшою структурною одиницею якої є екосистема, біогеоценоз. Підхід до розгляду структури біосфери побудований на виділених В.І. Вернадським півках життя в біосфері. Відповідно до структури, розвиток біосфери, її еволюція є системою послідовної зміни всіх її елементів — від екосистем до біогеомів. Динамічну еволюційну систему біосфери утворюють тренди еволюції, які визначають характер і спрямованість розвитку в тому чи іншому аспекті еволюції. Одним із найбільш «молодих» трендів є антропокультурний тренд, який проявляється в біосфері формуванням антропогенних екосистем. В основі ноосферогенезу лежить заміна природних екосистем антропогенними системами різних типів — техно-, агро- та урбоекосистемами. Сучасну екологічну кризу можна розглядати як закономірний етап еволюції біосфери, що передуює переходу до нового її стану — ноосфери.

Ключові слова: біосфера, еволюція, біогеом, біосферомерон, екосистема, ноосферогенез.

Вступ

Еволюційні уявлення і концепції сьогодні є одними з найважливіших не тільки в науковому світогляді, вони проникли глибоко в суспільну свідомість. Щоб оцінити нинішню популярність еволюційної ідеї кількісно, ми скористалися прийомом авторів книги [1], а саме, вдалися до пошукових систем Інтернету за ключовими словами. Сама по собі кількість посилань, пов'язаних з еволюцією, вражає. Майже півмільярда англійською і близько 100 мільйонів кирилицею для ключового слова *evolution* / *еволюція*! Однак тут важливіші відносні оцінки. Як ключові слова *еволюція*, *біосфера* пов'язані з найбільш уживаними, а отже, найбільш важливими? Для порівняння ми обрали два ключових слова: 1) *health* / *здоров'я*; 2) *human life* / *життя людини*. Відповідно латиницею і кирилицею вони траплялися 3,5 мільярда / 108 мільйонів разів (1) і понад 300 мільйонів / 300 тисяч разів (2). Отже, *еволюція* опинилася десь між здоров'ям і життям.

Вчення про біологічну еволюцію, започатковане Ч. Дарвіном, яке згодом стали називати дарвінізмом, у другій половині XIX ст. було сприйнято як довгоочікувана відповідь на одну з найважливіших загадок життя. Досі у свідомості людей еволюційне вчення, тепер уже в дещо інших формах, має і соціальне навантаження і розглядається як одна з основ матеріалістичного світогляду [2].

Можна впевнено зробити висновок, що біологічна еволюція цікавить сучасну людину більше, ніж еволюція біокосної системи — біосфери. І це стосується не тільки пересічного обивателя, а й учених. Біологічна еволюція поза біосферою?! Адже сучасні кліматичні зміни нас цікавлять не стільки самі по собі, скільки їх наслідки для нинішніх і прийдешніх поколінь. Однак жодні прогнози на майбутнє не можуть бути достовірно побудовані без знання закономірностей перебігу еволюційних процесів у минулому. І в сьогодні.

Структура біосфери

Як це не парадоксально, еволюцію життя на нашій планеті не можна розглядати тільки і виключно як біологічну еволюцію. Життя біологічних систем, від організму до популяцій і угруповань, неможливе поза середовищем їх існування. Еволюція біологічних систем, «походження видів» — лише одна зі складових, один тренд загальнобіосферного еволюційного процесу.

Біосфера є більш складною системою, ніж сукупність усього живого, оскільки охоплює не лише живі, а й косні її елементи, необхідні для підтримання життя. Через це еволюція біосфери має два тренди розвитку — біотичний і абіотичний (косний), які перебувають у нерозривному взаємозв'язку.

Ідея біосфери, живого покриву Землі, Личу Землі, висловлена Е. Зюссом і розроблена В.І. Вернадським, втілилася в новітній час у різноманітних теоретичних побудовах. Так, Дж. Лавлок, автор гіпотези Геї (*Gaia*), розглядає біосферу як «географічну область Землі, де існує життя» [3, с. 143]. З одного боку, це є близьким до статичного розуміння біосфери за

Е. Зюссом, але з іншого, він розглядає Гею як функціонуючий суперорганізм (*Gaia as super-organism*), що у своїй основі певною мірою співвідноситься з концепцією біосфери Вернадського.

Біосфера є складною біокосною системою. Що впливає з цього для розуміння еволюції цієї системи? Згідно з принципами організації систем, слід вважати, що 1) система розвивається як ціле; 2) її елементам у їхньому розвитку властива певна індивідуальність; 3) взаємодія між частинами і цілим визначає результат процесу. Зміни в системі мають як стохастичну, спонтанну, випадкову природу, так і певні закономірності. При цьому в напрямі від загального до конкретного зростає частка елементів стохастичності, і навпаки, від окремого до загального — детермінованості, закономірності. Через наявність різноманітності структури біосферної системи неминуха диверсифікація еволюційних процесів. Наслідок цього — неможливість пізнання еволюції біосфери з позицій якоїсь однієї окремої концепції. Тут потрібен системний підхід.

Елементарними одиницями біосфери слід вважати екосистеми, біогеоценози, однак біосфера не може бути простою сумою локальних екосистем. Перший крок в узагальненому розгляді структури біосфери зробив В.І. Вернадський, вважаючи, що в основу її «має бути покладена густина життя — виокремлення ділянок, ним збагачених» [4, с. 300]. Він вводить важливі для розгляду всієї структури біосфери поняття *згущення життя* і *плівок життя*.

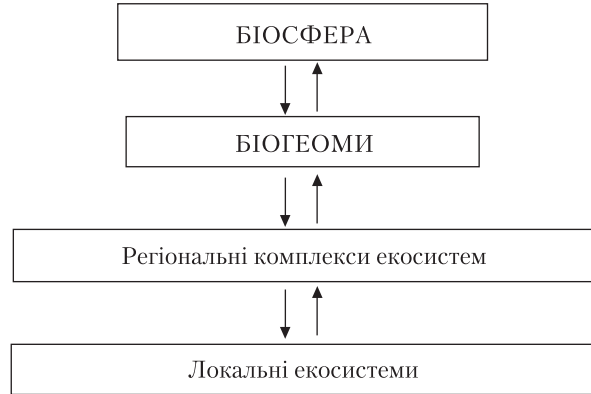
Стає дедалі очевиднішим, що концепція згущення життя, концентрації живої речовини в тих чи інших зонах біосфери має набагато ширший характер: від біосферних плівок Вернадського (ми позначили їх як найбільші підрозділи біосфери — біосферомерони [5, 6]) до контурних екосистем моря і континентальних водойм [7] і до біоплівки мікроорганізмів [8, 9]. Усе це — біосферні прояви в різних масштабах закономірностей згущення життя на розділах різного порядку, різного масштабу, вивчення яких ще тільки починається. Хотілося б висловити надію, що в майбутньому зусиллями

вчених різних спеціальностей — від фізиків до мікробіологів та екологів — буде розроблено єдину теорію згущення різних процесів, у тому числі і згущення життя на різних граничних ділянках. Біосфера є системою згущень і розріджень живого і пов'язаної з ним косної та біокосної речовини різних властивостей і масштабів. Це один із найважливіших аспектів її різноманітності.

Структура біосфери, її планетарна система складається з підсистем різного рівня. В.І. Вернадський використав практично як синоніми два терміни: «в *лику Землі* виявляється поверхня нашої планети, її *біосфера*» [4, с. 222]. Термін «біосфера» більш схематичний, передбачає певну модель, систему, схему взаємозв'язків, виокремлення досить абстрактних елементів. Це реальність і абстракція. Другий термін, більш образний, означає щось більш географічно реальне. Починаючи з першого космічного польоту Лик Землі став доступним для безпосереднього спостереження. Багатство екосистем як елементів біосфери величезне, при цьому різко домінуюча роль будь-якої з них не виражена, тобто в цілому їх сукупність характеризується високою різноманітністю. Однак є й інша закономірність: «загальній конструкції» екосистем властива певна типовість — у подібних умовах (схожість ГЕО, абіотичного середовища) подібними виявляються і біологічні структури надорганізмового рівня (схожість БІО, або живих систем). Отже, на тлі широкої дивергенції, різноманіття існують передумови конвергентної подібності. Такого роду узагальнення приводять до поняття *біогеоому* [6]. Структура біосфери набуває певної ієрархічності (див. рис.).

Біосфера як організована система

Одна з найважливіших властивостей біосфери — її організованість [4], основою якої є упорядкованість, ієрархічність структури, функціональний зв'язок між частинами і цілим. І як усі живі системи мають певну здатність до саморегуляції, так і біокосні системи мають певний рівень організованості, внутрішньої регуляції.



Ієрархічна структура біосфери. Стрілками показано напрямки прямих і зворотних потоків інформації [5, 6]

Наш видатний співвітчизник І.І. Шмальгаузен майже 50 років тому зробив надзвичайно важливі узагальнення на стику тоді ще молодій науки кібернетики та еволюційного вчення [10].

Він створив нову концепцію еволюції — системно-інформаційну, яка основана на декількох принципах. Насамперед І.І. Шмальгаузен зазначав, що «всі живі системи — організми, популяції, види, біоценози — мають здатність до авторегуляції своєї структури, або підтримки гомеостазу» [10, с. 141]. Тобто ці системи мають високий ступінь організованості. На чому ж ґрунтується здатність до організованості і підтримання гомеостазу? Шмальгаузен дає відповідь: самоорганізація відбувається за рахунок кібернетичних властивостей систем — наявності і функціонування прямих і зворотних зв'язків між елементами систем та між системами. Важливо підкреслити, що в такому кібернетичному управлінні бере участь ієрархічно пов'язана система: популяція і біогеоценоз перебувають у постійній взаємодії, обмінюються прямими і зворотними зв'язками. При цьому більш високий ієрархічний рівень виконує важливішу функцію добору. Так само, як популяція є визначальним чинником виживання і розмноження особин, так і біогеоценоз «приймає» чи ні ту чи іншу популяцію до свого складу. Добір «зосереджений» не стільки на переданій інформації про «нормальну» структуру, скільки на шумі, помилках у передачі



Іван Іванович Шмальгаузен
(1884–1963)

інформації. Саме тому він є універсальним еволюційним фактором, а не просто редукує систему з двох (або більшого числа) елементів до одного.

Стабілізувальний добір, основи вивчення якого також заклав І.І. Шмальгаузен [11], виконує функцію підтримання квазістабільності біологічних систем. І, як це не парадоксально, відіграє найважливішу роль у їх еволюції, оскільки підтримує цілісність структур, що можуть еволюціонувати, тільки за умови їх цілісності. Еволюція — це не стільки власне процес трансформації системи А в систему Б, скільки констатація того, що перша істотно відрізняється від другої, хоча відносно систем більш високого рівня обидві системи залишаються в тому самому класі, на тому самому рівні.

Сучасні уявлення про еволюцію мають певну двоїстість. Сам термін походить від латинського *evolvere*, що означає «розгортати», тобто еволюція може розглядатися як здійснення, розгортання, це щось подібне до давно відкинутої в біології концепції преформізму. Натомість біологи розглядають еволюцію як процес, побудований на випадкових незакономірних змінах [12, 13]. Однак, при всій неминучості

наявності випадкових процесів, наступні стани систем, що розвиваються, так чи інакше зумовлені попередніми. Засновник кібернетики Н. Вінер [14] пов'язує таку двоїстість еволюційних поглядів з відмінностями в загально-системних уявленнях про час. Час у ньютонівській концепції оборотний, процес можна прорахувати як у минуле, так і в майбутнє. Саме такий підхід дозволяє розглядати еволюцію зірок, планет. Малі за масою зірки проходять ряд станів від туманності до чорних карликів, а великі зірки завершують свій розвиток та існування як червоні гіганти і наднові. У стохастичному світі, гіббсівському часі, все інакше. Час однонапрямлений, тому що перехід від одного стану до іншого малопередбачуваний, має випадкову статистичну природу. Так відбуваються процеси в еволюції живих систем. Але біокосні системи, такі як біогеоценоз або біосфера в цілому, повинні мати, ймовірно, обидві ці властивості — певну спрямованість розвитку косних елементів і стохастичність живих елементів, а також деякі проміжні властивості.

Елементарним керованим об'єктом в еволюції за Шмальгаузенем є популяція, керівна інформація надходить від середовища, яким для популяції є біогеоценоз, біокосна система більш високого рівня. Механізмом управління виступає добір, що дозволяє існувати і давати потомство тільки тим організмам, які відповідають певним умовам існування. Свою роль у доборі відіграють і внутрішньопопуляційні відносини. Добір елімінує елементи системи, що відхиляються від певної норми. Популяція, у свою чергу, передає інформацію про свою структуру і стан біогеоценозу. Так формуються матеріально-інформаційні цикли, або «елементарні цикли еволюційних перетворень» [10, с. 141].

Оскільки йдеться про циклічні взаємозв'язки, де що втрачає сенс поняття прямих і зворотних зв'язків; ці зв'язки, по суті, рівноцінні. Популяції впливають на біогеоценоз. Вони власне складають біоценози, які, у свою чергу, разом з умовами середовища впливають на популяції. Однак полярність існує, і вона визначається ієрархічною структурою живих і біокосних

систем. Ієрархічна структура «відображує іманентну природу речей» [15, с. 9], взаємодія структурних елементів становить основу функціонування цілого, проте закономірності, що зумовлюють формування елементів нижчого рівня, незастосовні до взаємодії цих елементів на наступному ієрархічному рівні.

Суть дарвінівської концепції добору, як слушно зазначав Н. Вінер, полягає в тому, що «флора і фауна на Землі складається з форм, які дійшли до нас просто як залишкові форми, а не внаслідок якогось прямого процесу прагнення до досконалості» [14, с. 206]. Цей комплекс «залишкових форм» К. Мебіус [16], якому належить термін «біоценоз», називав квантами життя. Однак очевидно, що «сучасна флора і фауна» не змогли б існувати, якби все середовище існування (а для кожної екосистеми середовище — це сусідні екосистеми) не змінювалося б, не еволюціонувало разом із живими організмами.

Розглядаючи як *альтернативні* дві концепції — дарвінівську, традиційну і концепцію біотичної регуляції навколишнього середовища, відомий фахівець у галузі глобальних питань екології В.В. Горшков зі співавторами [17, 18] має рацію лише частково. Дійсно, ще в 1857 р. Ч. Дарвін у листі до американського професора Ази Грея, виділяючи кілька основних пунктів своєї еволюційної теорії, зокрема писав: «...уявіть країну, в якій сталася якась зміна. ... Протягом мільйонів поколінь можуть випадково народжуватися організми зі значними відхиленнями, корисними для тієї чи іншої країни ...» [19, с. 51–53]. Тобто зміни в живому є відповіддю на зміни умов середовища, БІО йде слідом за ГЕО. Однією з основних властивостей життя вважається еволюційна адаптація до умов середовища, що постійно змінюються. Неадаптованих відсіює добір. Можна погодитися з думкою В.В. Горшкова і співавторів [17], що ця дарвінівська концепція, яка стала традиційною, лягла в основу одного з принципів існування та розвитку життя взагалі. Як вважав В.А. Красилов [20] (ще один видатний учений, який, як і І.І. Шмальгаузен, народився у Києві), причиною змінення умов,

а потім початку періоду некогерентної бурхливої еволюції були не лише земні, а й космічні явища. Тобто еволюція живого так чи інакше відбувається слідом за змінами довкілля. Приклад мезозойської флори на території Сибіру показує стабільність біоти в умовах, що мало змінюються [20]. Десятки мільйонів років фітоценози були вражаюче одноманітними. Клімат у цей період був рівним, теплим. Однак цей період завершився з розпадом єдиного материка Пангеї, що супроводжувався загальним зниженням температури та іншими серйозними змінами клімату [21].

Інша концепція побудована на уявленнях про те, що біота Землі (геомерида Беклемішева, жива речовина Вернадського або біохоліда [5]) та її функціонування розглядається як єдиний фактор підтримання придатних для життя умов середовища [17].

Однак полярні концепції не відображують явищ, які реально відбуваються в біосфері. Біосфера розвивається як цілісна система. Організми, популяції, біотичні угруповання не тільки постійно адаптуються до мінливих умов середовища, а й активно впливають на них. Змінення у складі атмосфери внаслідок біогенної продукції кисню два мільярди років тому — один із наймасштабніших прикладів такого впливу. Власне концепцію взаємозв'язків у біосфері В.І. Вернадський побудував саме на принципі нерозривного зв'язку живого і косного. Зокрема, він зауважував: «... нерідко відокремлюють усю живу матерію, організми, що її складають, від навколишнього середовища. Забувають, що з мертвою матерією — середовищем — організм пов'язаний нерозривно» [22, с. 190]. Еволюціонує біосфера в цілому, а біологічна еволюція, «походження видів» Ч. Дарвіна — один із трендів еволюції цілісної системи. У світлі цього аж ніяк не метафорою здається положення, висловлене свого часу М.М. Камшиловим: «Нове з'являється в особини, а його кінцева доля і значення визначаються біосферою» [23, с. 183].

Проте який же механізм цих зв'язків? Сама по собі передача інформації, в тому числі і спадкової (давно стало очевидним, що переда-



Норберт Вінер (1894–1964)

ча її відбувається не тільки безпосередньо від особи до особи при розмноженні [24]), не може давати еволюційний ефект без добору. Передусім тому, що будь-яка передача інформації не позбавлена шуму, помилок. Добір не має жодних «завдань» — ані абсолютного захисту переданої інформації, в тому числі генетичної, ані безумовного закріплення нового, «прогресивного». Добір формує системи, які, використовуючи структури і функціональний «досвід» минулого, здатні існувати в сьогоденні, нічого «не знаючи» про майбутнє.

Системно-інформаційна концепція

Кібернетична інформаційна модель еволюційного процесу, розроблена І.І. Шмальгаузенем, торкається тільки найнижчих ієрархічних рівнів організації біосфери — популяційного і екосистемного. Наскільки ця інформаційна модель універсальна і може бути застосована для наступних рівнів? Що таке інформація? Як писав Н. Вінер, «за одиницю її кількості приймається кількість інформації, що передається при одному виборі між рівноймовірними альтернативами» [14, с. 55]. Тобто отримання інформації — це усунення невизначеності, яка зникає в разі тієї чи іншої дії. Наприклад,

підкидаючи монету, ми отримуємо один біт інформації, переконавшись у тому, що випала саме «решка».

Введення в екологію інформаційних уявлень і способу вимірювання інформації пов'язують з іменами Р. МакАртура і Р. Маргалефа [25], однак, як вважають О.Ф. Алімов і співавтори [26], саме І.І. Шмальгаузен запропонував у біології поєднання понять «різноманіття» і «інформація». Завдяки цим ученим у різні розділи екології увійшла функція, що визначає різноманітність, складність, ступінь упорядкованості угруповання:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

де p_i — ймовірності для i -го елемента певної системи.

Як зазначав І.І. Шмальгаузен, «теорія інформації дає можливість *врахувати стан популяції* в числовому вираженні» [10, с. 57], так само можна врахувати і стан угруповання, екосистеми і взагалі тієї чи іншої системи. На думку видатного іспанського каталонського еколога і гідробіолога Р. Маргалефа, угруповання і екосистеми можна розглядати як інформаційні канали [27]. Визначення середньої кількості інформації, що міститься в структурі угруповання, він, паралельно з американським екологом Р. МакАртуром, запропонував розраховувати за допомогою все тієї ж ентропійної статистичної функції. У сучасних дослідженнях цей показник структури угруповань розглядають як ступінь її складності [26]. Інформація тієї чи іншої системи міститься в її структурі.

Отже, з огляду на неформальну подібність інформації та ентропії, слідом за класиком екології Ю. Одумом зазначимо, що найважливішою термодинамічною характеристикою живих (організмів, угруповань) і біокосних (екосистем і біосфери в цілому) систем є «здатність створювати і підтримувати стан внутрішньої впорядкованості, тобто стан низької ентропії» [28, с. 52]. Уявлення В.І. Вернадського про біосферу як про систему з найвищою організованістю абсолютно аналогічні концепції Ю. Одума.

Генетична інформація передається особині і перекодовується у фенотипічну інформацію [10], а інформація, що міститься у структурі популяції, передається біогеоценозу, який, у свою чергу, пов'язаний зворотними інформаційними потоками як з популяцією (управління top-down, згори донизу), так і з системою ієрархічно більш високого рівня в біосфері. Таким може бути управління не лише гомеостатичними функціями, а й еволюційними процесами.

Усі живі й біокосні системи зазнають добору різними факторами. Особини підлягають добору більш високим рівнем — популяцією, популяції — екосистемою, екосистеми — біогеоном. Біосфера контролює добір біогеомів. Кожен з нижчих рівнів передає інформацію про структуру більш високому рівню. І ця передача інформації не може відбуватися абсолютно ідентично, завжди трапляється певний шум, помилки. Ці помилки і створюють необхідне різноманіття варіантів для добору (мінливість, мутації тощо). Процес фотосинтезу колись був явною «помилкою» щодо архейських мешканців біосфери. Нова інформація народжується з «шуму» [29].

Однак тут слід звернути увагу на одне явище в еволюції як живих, так і біокосних систем. В.А. Красилов увів поняття когерентності і некогерентності еволюції [20, 30]. Певні етапи еволюційного процесу в геологічному часі помічено давно. Саме ці тривалі геологічні періоди, розділені короткими періодами вимирань, істотних перебудов екосистем і біосфери в цілому, стали основою геохронологічної шкали. Згідно з концепцією Красилова, у періоди когерентної еволюції екосистеми функціонують збалансовано, поява нових видів приводить не до різких драматичних заміщень, а до більшої спеціалізації, звуження екологічних ніш. За його словами, «в еволюції біосфери спостерігається певна періодичність, «нормальні» періоди між біосферними кризами характеризуються збільшенням продуктивності угруповань, ефективності використання енергетичних ресурсів, яка передбачає ускладнення структури і спрямовує види шляхом спеціалізації» [20, с. 50].

Проте очевидно, що процеси ускладнення структури на основі колишніх функціональних принципів, усталених механізмів трансформації речовини та енергії не можуть тривати нескінченно довго. Накопичуються кризові чинники і явища, кризи вирішуються бурхливими, по суті, революційними перебудовами (періоди некогерентної еволюції, за Красиловим). Крім того, важливо виділити і когерентність іншого роду. Як зазначав Л.С. Берг [31], спостерігається «епідемічний» характер видоутворення, масове утворення нових (часто подібних) ознак на величезній території. Отже, всередині некогерентної, «турбулізованої» еволюції існує когерентність іншого роду: «турбулізація» цілком злагоджено охоплює практично всю біосферу [32].

Як же відбувається ускладнення екосистем, біоценотичних зв'язків, зростання кількості елементів біокосних систем? Еволюція біосфери має значною мірою адитивний характер, поширене явище гетеробатмії [33]. Це спільне проживання найдавніших (з числа того ж «залишку» [14]) і пізніших таксонів можливе тому, що так звані «живі релікти» не зупиняються у своєму розвитку, а переходять в іншу сферу еволюції, відбувається зміщення в еволюційних трендах. Чи можна стверджувати, що ціанобактерії, які морфологічно мало змінилися за сотні мільйонів років, не еволюціонували, якщо вони успішно змогли пристосуватися до колосальних змін в умовах життя, до величезної кількості екосистем, які змінилися за цей період? Їх еволюція відбувалася вже не у сфері морфології, а тонкої адаптаційної фізіології, біохімії. Анаероби після формування кисневої атмосфери не зникли повністю, а зайняли доступні їм «екологічні ніші». Раз з'явившись, екоморфи вже не зникали з еволюційного потоку, а лише трансформувалися у різних таксонів. Якщо гетеробатмія є, за словами О.М. Гілярова [34], характерною особливістю біосфери, результатом її еволюції, яка відбувається за принципом адитивності, накопичення, додавання нових компонентів до тих, що були раніше, то, безумовно, жоден з компонентів цієї системи, що розвивається, «новий»,

чи «старий», не може не змінюватися, якщо не морфологічно, то за іншими характеристиками.

Антропогенний тренд еволюції. Ноосфера і ноосферогенез

В історії біосфери з'явилися і зникли мільйони видів, але жоден з них не мав такого впливу на біосферу, як один з приматів — *Homo sapiens* Linnaeus, 1758.

Еволюційний процес неоднорідний за самою своєю природою. Зокрема, з цим пов'язаний принцип зміщення еволюції, запропонований на основі аналізу еволюції людини, зробленого В.А. Красиловим [20, 30]. Він дійшов висновку, що відбулося важливе еволюційне явище: еволюція людини практично повністю змістилася зі сфери морфології у сферу культури (у найширшому сенсі).

Основи вчення про ноосферу пов'язують з ім'ям В.І. Вернадського, хоча сам термін і поняття запропонував у 1927 р. французький філософ Е. Леруа. Свої уявлення про ноосферу В.І. Вернадський виклав, зокрема, в одній з останніх робіт [35]. Він розглядав її як новий стан біосфери. Найважливішим є питання про структуру ноосфери: які елементи біосфери будуть новими і характерними для цього стану? Вернадський вказував на зміни, зумовлені діяльністю людини, саме на «перебудову» біосфери, але аж ніяк не на формування ноосфери як якоїсь надбудови над структурами біосфери. Він писав: «людство в цілому стає потужною геологічною силою ... перед ним постає питання про **перебудову біосфери** ... Цей новий стан і є ноосфера» [35, с. 464]. Якщо біосферу розглядати як ієрархічну систему, в основі якої перебуває біокосна екосистема, то логічно вважати, що формування «нового стану біосфери», ноосферогенез є трансформацією частини структури цих її підсистем.

Реальний шлях цієї трансформації — це прогресуюча заміна одних її елементів іншими — антропогенними, а точніше — природно-антропогенними. Для кінця першої половини ХХ ст. В.І. Вернадський наводить такі найяскравіші приклади переходу до ноосфери, як

масове виробництво речовин, дуже рідкісних у природі, створення безлічі штучних хімічних сполук та ін. [35]. Також В.І. Вернадський неодноразово згадує катастрофічний вплив війн. Очевидно, що на початку ХХІ ст. всі ці явища значною мірою посилюються, з'явилися й нові. Вони сильно, в деяких аспектах катастрофічно, впливають на численні процеси в біосфері [29, 36], однак докорінно не змінюють її структуру, фундаментальні основи функціонування. Ця модель ноосферогенезу, яку можна назвати моделлю поступових перетворень, може пояснити багато змін, але навряд чи відображує реальну «перебудову» біосфери.

Організованість біосфери як системи — одна з ключових її властивостей, але вплив людини, що полягає здебільшого у вкрай неорганізованих, спонтанних діях, не може спричинити перехід з одного високоорганізованого стану системи в інший, не менш організований.

Одна з моделей ноосферогенезу пов'язана з формуванням нібито паралельної системи, а скоріше, системи-антипода. Введення поняття «какосфера» як протилежності ноосфери є досить умовним і прямолінійно розділяє багатогранний зв'язок людини і природи на два полярних табори — «поганий» і «добрий», «екологічне пекло» і «екорай»; «захоплюючи біосферу, какосфера трансформує географічний покрив планети» [36, с. 630], треба розуміти, не в кращий бік. Однак модель ноосферогенезу має будуватися на спільному для всього ходу еволюції біосфери явищі — змінненні основних структурних її одиниць — екосистем та їх типів. Ноосферу слід розглядати не тільки як новий стан біосфери, а й як нову систему, в структуру якої входять як суто природні елементи, так і біокосні системи антропогенно-природного характеру. Під ноосферогенезом слід розуміти процес формування і введення в суто природну систему біогеоценозів (що відповідає «природній» біосфері) нового типу біокосних систем — антропогенних, з тим чи іншим співвідношенням природних і створених людиною елементів.

Чи можна розглядати ноосферу як термінальну стадію еволюції біосфери? Як вважав

В.І. Вернадський, «ноосфера — останній з багатьох станів еволюції біосфери в геологічній історії» [35, с. 465]. Однак, виходячи з вищевикладених уявлень про еволюцію біосфери, слід відповісти на поставлене запитання негативно. Точка зору про термінальність, скінченність еволюції біосфери [38] суперечить власне поняттю еволюції.

Рух до ноосфери супроводжується сьогодні багатьма негативними явищами [29, 36, 37]. Ми, по суті, фіксуємо зараз те, що можна було спостерігати наприкінці кожного етапу розвитку біосфери: масштабні кризові процеси, порушення когерентності, змінення екологічних зв'язків. Парадокс ситуації полягає в тому, що ці кризові, вкрай небажані для людства явища є одними з елементів «нормальних» еволюційних процесів, що готують революційні перетворення, внаслідок яких і має сформуватися новий стан біосфери, на цьому етапі еволюції — ноосфера.

У такому разі хотілося б сподіватися, що перехід від когерентної до некогерентної фази, а потім і до революційних перебудов, який уже триває, завдяки людському розуму відбуватиметься не настільки болісно, як у попередні епохи. На відміну від авторів [37, 38] ми не вважаємо за можливе реальне управління еволюцією біосфери, однак пізнання її закономірностей дозволило б істотно пом'якшити, якщо не усунути, нинішні й прийдешні негативні явища. Надію вселяє те, що людство намагається розв'язувати глобальні проблеми спільними зусиллями, про що свідчать рішення Конференції ООН з питань клімату, яка відбулася в Парижі 2015 року [39]. Хоча політична складова тут безумовно превалює над науково-практичною. Суть угоди полягає не стільки в $1,5^{\circ}\text{C}$, на які не повинна підвищитися температура на планеті, скільки в мільярдах доларів, які можуть отримати країни, що розвиваються, для своїх економік, що гіпотетично може зробити світ більш збалансованим.

Що ж стосується можливого зниження температури, рівень якої пов'язують з викидами так званих парникових газів, передусім діокси-



Валентин Абрамович Красилов
(1937—2015)

ду вуглецю, то, на жаль, системного підходу тут немає. Варто було б врахувати, що, наприклад, дихання ґрунтових мікроорганізмів у кілька разів перевищує антропогенні викиди вуглекислого газу [40], крім того, вуглець перебуває в постійному кругообігу, інтенсивно споживається біотою і виводиться з обігу в карбонатні відклади Світового океану або в мортмасу таких екосистем, як болотні, тундрові чи степові (на жаль, майже повністю знищені). Слід зважати на баланс, а не лише на складову приходу. У цьому сенсі екосистеми так званих ветландів (вологих земель, водно-болотних угідь) є набагато важливішими, ніж екосистеми дощових тропічних лісів, досить збалансованих за циклом вуглецю. У зв'язку з цим Рамсарська конвенція [41], спрямована на збереження водно-болотних угідь, може відіграти набагато більшу роль у регулюванні кліматичних змін, ніж Кіотський протокол.

Здавалося б, від проблем еволюції біосфери ми перейшли в зовсім іншу сферу, ближчу до політики, ніж до біології та еволюціоністики. Однак це не так. Це єдина глобальна наукова проблема — еволюція біосфери, від виникнення життя до ноосфери і далі — у невідоме поки що майбутнє.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Khaylov K.M., Prazukin A.V., Smolev V.A. *Keywords for life to start the XXI century*. (Moscow: Pero, 2014). [in Russian].
[Хайлов К.М., Празукин А.В., Смолев В.А. *Ключевые слова о жизни для начала XXI века (общенаучный взгляд)*. М.: Перо, 2014].
2. Hen Yu.V. Is Darwinism the basis of materialistic world outlook? In: *Charles Darwin and Modern Biology*. Proc. Int. Sci. Conf. (21–23 Sept. 2009, Saint Petersburg, Russia). P. 761. [in Russian].
[Хен Ю.В. Является ли дарвинизм основанием материалистического мировоззрения? В кн.: *Чарльз Дарвин и современная биология*. Труды Междунар. науч. конф. (21–23 сент. 2009, Санкт-Петербург). С. 761–767].
3. Lovelock J.E. *Gaia: a New Look at Life of the Earth*. (Oxford University Press, 2000).
4. Vernadskiy V.I. *The Biosphere*. (Copernicus, 1998).
[Вернадский В.И. Биосфера. В кн.: *Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського*. Т. 4. Кн. 1. К., 2012. С. 220–321].
5. Protasov A.A. Biogeome as a structural unit of the biosphere. *Biosphere*. 2012. 4(3): 280. [in Russian].
[Протасов А.А. Биогеом как структурная единица биосферы. *Биосфера*. 2012. Т. 4, № 3. С. 280–285].
6. Protasov A.A. The macrostructure of the biosphere and place of biogeome in it. *Biosphere*. 2013. 5(4): 384. [in Russian].
[Протасов А.А. Макроструктура биосферы и место в ней биогеома. *Биосфера*. 2013. Т. 5, № 4. С. 384–392].
7. Zaytsev Yu.P. On Contour Structure of Biosphere. *Hydrobiological Journal*. 2015. 51(3): 3. [in Russian].
[Зайцев Ю.П. О контурной структуре биосферы. *Гидробиол. журн.* 2015. Т. 51, № 1. С. 3–27].
8. Lewandowski Z. Structure and function of bacterial biofilms. *Corrosion*. 1998. 296: 1.
9. Wathnick P., Kolter R. Biofilm, city of microbes. *J. Bacteriol.* 2000. 182(10): 2675.
10. Schmalhausen I.I. *Cybernetic Issues of Biology*. (Novosibirsk: Nauka, 1968). [in Russian].
[Шмальгаузен И.И. *Кибернетические вопросы биологии*. Новосибирск: Наука, 1968].
11. Schmalhausen I.I. *Factors of Evolution. The Theory of Stabilizing Selection*. (Moscow: Nauka, 1968). [in Russian].
[Шмальгаузен И.И. *Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора*. М.: Наука, 1968].
12. Zherikhin V.V. *Selected Works on Paleoecology and Phylogenetics*. (Moscow, 2003). [in Russian].
[Жерихин В.В. *Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике*. М., 2003].
13. Lashin S.A., Suslov V.V., Matushkin Yu.G. Theories of biological evolution from the viewpoint of the modern systemic biology. *Russian Journal of Genetics*. 2012. 48(5): 481.
[Лашин С.А., Суслов В.В., Матушкин Ю.Г. Теории биологической эволюции с позиций современного развития системной биологии. *Генетика*. 2012. Т. 48, № 5. С. 573–589].
14. Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. (Paris, 1948).
[Винер Н. *Кибернетика, или управление и связь в животном и машине*. М.: Советское радио, 1958].
15. Zavarzin G.A. Antimarket in nature. *Priroda*. 1995. (5): 46. [in Russian].
[Заварзин Г.А. Антирынок в природе. *Природа*. 1995. № 5. С. 46–60].
16. Möbius K. *Die Auster und Austerwirtschaft*. (Berlin: Verlag Wiegand, Hempel und Parey, 1877). 127 S.
17. Gorshkov V.V. et al. Biotic regulation of the environment. *Russian Journal of Ecology*. 1999. 30(2): 105.
[Горшков В.В. и др. Биотическая регуляция окружающей среды. *Экология*. 1999. № 2. С. 105–113].
18. Gorshkov V.G., Makarieva A.M., Gorshkov V.V. Revising the fundamentals of ecological knowledge: the biota-environment interaction. *Ecological Complexity*. 2004. (1): 17.
19. Darwin Ch. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. (John Murray, 1859).
[Дарвин Ч. *Происхождение видов*. Т. 1. М.: Изд. Ю. Лепковского, 1907].
20. Krasilov V.A. *Unsolved problems of the theory of evolution*. (Vladivostok, 1986). [in Russian].
[Красилов В.А. *Нерешенные проблемы теории эволюции*. Владивосток, 1986].
21. Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. *The development of the Earth*. (Moscow, 2002). [in Russian].
[Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. *Развитие Земли*. М.: Изд-во МГУ, 2002].
22. Vernadsky V.I. Living matter. In: *Selected scientific work of Academician Vernadsky*. V. 4. Book 2. (Kyiv, 2012). [in Russian].
[Вернадский В.И. Живое вещество. В кн.: *Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського*. Т. 4. Кн. 2. К., 2012].
23. Kamshilov M.M. Organization and evolution. *Journal of General Biology*. 1970. 31(2): 157. [in Russian].
[Камшилов М.М. Организованность и эволюция. *Журн. общ. биол.* 1970. Т. 31, № 2. С. 157–178].

24. Kordyum V.A. *Evolution and biosphere*. (Kyiv: Naukova Dumka, 1982). [in Russian].
[Кордюм В.А. *Эволюция и биосфера*. К.: Наук. думка, 1982].
25. Rozenberg G.S. *Atlas of Ecology*. (Toliatti, 2014). [in Russian].
[Розенберг Г.С. *Атланты экологии*. Тольятти: Кассандра, 2014].
26. Alymov A.F., Bogatov V.V., Golubkov S.M. *Production Hydrobiology*. (Saint Petersburg, 2013). [in Russian].
[Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. *Продукционная гидробиология*. СПб.: Наука, 2013].
27. Margalef R. *Perspectives in Ecological Theory*. (Univ. Chicago Press, 1968).
[Маргалеф Р. *Перспективы в экологической теории*. (Перевод под ред. Г.С. Розенберга). Тольятти: Кассандра, 2011].
28. Odum E. *Basic Ecology*. (Harcourt Brace College Pub., 1963).
[Одум Ю. *Основы экологии*. М.: Мир, 1975].
29. Puchkovsky S.V. *Evolution of biosystems*. (Izhevsk, 2013). [in Russian].
[Пучковский С.В. *Эволюция биосистем. Факторы микроэволюции и филогенеза в эволюционном пространстве-времени*. Ижевск, 2013].
30. Krassilov V.A. *Evolution: System Theory*. (Sofia-Moscow: Pensoft, 2014).
31. Berg L.S. *Nomogenesis or evolution determined by law*. (Cambridge: M.I.T. Press, 1926).
32. Protasov A. The bouquet of evolutionary coherences: the prospects of the system theory of evolution. *Botanica Pacifica*. 2015. 4(2): 9.
33. Takhtadzhyan A.L. *Principia tektologica*. (Saint Petersburg, 1998). [in Russian].
[Тахтаджян А.Л. *Принципы организации и трансформации сложных систем: эволюционный подход*. СПб., 1998].
34. Gilyarov A.M. Ariadne's thread of the evolutionism. *Vestnik RAN*. 2007. 77(6): 508. [in Russian].
[Гиляров А.М. Ариаднина нить эволюционизма. *Вестн. РАН*. 2007. Т. 77, № 6. С. 508–519].
35. Vernadsky V.I. Biosphere and Noosphere. In: *Selected scientific work of Academician Vernadsky*. V. 4. Book 2. (Kyiv, 2012). [in Russian].
[Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. В кн.: *Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського*. Т. 4. Кн. 2. К., 2012].
36. Zavarzin G.A. Antipode of noosphere. *Vestnik RAN*. 2003. 73(7): 627. [in Russian].
[Заварзин Г.А. Антипод ноосферы. *Вестн. РАН*. 2003. Т. 73, № 7. С. 627–636].
37. Yablokov A., Levchenko V., Kerzhentsev A. The decision exists: transition to controlled evolution of the biosphere. *Philosophy & Cosmology*. 2015. 14: 92.
[Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. Очерки биосферологии. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы. *Philosophy & Cosmology*. 2015. Т. 14. С. 92–117].
38. Buryak V. *Noospherogenesis, Globalization and Modern Info Space*. (Simferopol, 2014). [in Russian].
[Буряк В.В. *Ноосферогенез, глобализация и современное информационное пространство*. Симферополь: Ариал, 2014].
39. Adoption of the Paris Agreement. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.
40. Zavarzin G.A. *Vestnik RAN*. 1995. 65(1): 8. [in Russian].
[Заварзин Г.А. Смена парадигмы в биологии. *Вестн. РАН*. 1995. Т. 65, № 1. С. 8–23].
41. *Ramsar Handbook 4*. 2010. Avian influenza and wetlands. <http://www.ramsar.org/>.
[Руководство по Рамсарской конвенции 4. http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-16_RUS_fixed_wlogo.pdf].

Стаття надійшла 16.12.2015.

А.А. Протасов

Институт гидробиологии Национальной академии наук Украины (Киев)

СИСТЕМНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И СОВРЕМЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС

Биосфера представляет собой сложную иерархическую биокосную систему, наименьшей структурной единицей которой является экосистема, биогеоценоз. Подход к рассмотрению структуры биосферы строится на выделенных В.И. Вернадским пленках жизни в биосфере. В соответствии со структурой, развитие биосферы, ее эволюция представляет собой систему последовательной смены в структуре всех элементов — от экосистем до биогеомов. Динамическую эволюционную систему биосферы образуют тренды эволюции, которые определяют характер и направленность развития в том или ином аспекте эволюции. Одним из наиболее «молодых» трендов является антропокультурный тренд, проявлением которого в биосфере является формирование антропогенных экосистем. В основе ноосферогенеза лежит замена природных экосистем антропогенными системами различных типов — техно-, агро- и урбоэкосистемами. Современный экологический кризис может рассматриваться как закономерный этап эволюции биосферы, предшествующий переходу к новому ее состоянию — ноосфере.

Ключевые слова: биосфера, эволюция, биогеом, биосферомерон, экосистема, ноосферогенез.

A.A. Protasov

Institute of Hydrobiology of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

SYSTEM CONCEPT OF BIOSPHERE EVOLUTION AND THE MODERN ENVIRONMENTAL CRISIS

The biosphere is a complex of bioinert systems, the smallest structural unit of which is an ecosystem or biogeocoenosis. The biosphere has a hierarchical structure. The approach to examining the structure of the biosphere is based on the detection by V.I. Vernadsky of films in the structure of the biosphere. This change appears in the history of the biosphere as a series of separate observed or reconstructed on the basis of paleontological, paleoclimatic, geological data states. The dynamic evolution of the biosphere system is formed by the trends of evolution as information channels, which determine the nature and direction of development in one or another aspect of evolution — genetic, ecomorphic, ecosystem and others. One of the “youngest” trends is anthropocultural trend, a manifestation of which is the formation of the biosphere anthropogenic ecosystems. They include not only living and bioinert natural elements but also man-made elements. At the core of noospherogenesis lies change of natural ecosystems by different types of man-made ecosystems. Modern ecological crisis can be viewed as a logical step in the evolution of the biosphere, preceding the transition to its new state — the noosphere.

Keywords: biosphere, evolution, biogeome, biospheromeron, ecosystem, noospherogenesis.