

The evolutionary system of the biosphere: a dialectical approach

Alexander Protasov

Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words

biosphere, evolution, states, emergence, continuity, fractal structure, noosphere

correspondence to

Alexander A. Protasov; Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine; 12 V. Ivasyuk Avenue, 04210 Kyiv, Ukraine;
Email: pr1717@ukr.net;
orcid: 0000-0002-0204-2007

article history

Submitted: 14.12.2023. Revised: 28.12.2023. Accepted: 30.12.2023

cite as

Protasov, A. 2023. The evolutionary system of the biosphere: a dialectical approach. *GEO&BIO*, 25: 32–50. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

The dialectics of evolution is that the development of various systems, complication is determined by several principles, which themselves are similar to emergent systems based on opposite but dialectically complementary categories and concepts. A new concept of evolution of the biosphere as an integral system of its successive states united by development trends is proposed. The structure of the biosphere is considered as a fractal system with the ecosystem as its elementary unit. The next fractal levels are biogeomes and biospheromeron. The fractal structure corresponds to the principle of emergence. The proposed concept of biosphere evolution is based on general naturalistic principles and categories of dialectics, such as states and interstates, continuity and discreteness, reproducibility and uniqueness, the hypothesis of information channels or trends, the concept of biosphere organisation in a specific evolutionary space-time. In general, the evolutionary history of the biosphere is a metameric picture of changing states and interstates. A complex system of continuums is the most important feature of the biosphere's organisation in space-time. Continuity of the first kind can be observed when there is a continuum of indistinguishability within a continuing state: during a long geological time, there were no cardinal changes in the structure of biosphere elements and connections between them. At the same time, the development of an integral biosphere system occurs in a continuum of the second kind: given the continuity of life, the differences between the early and subsequent states are very significant and obvious in the biosphere. Moreover, these differences are associated with complication, development, which is, in fact, evolution. The states of the biosphere in certain periods are connected by trends, which form an evolutionary system. Continuing states, when the system remains self-identical for a long period, are replaced by new states through interstates. Thus, a specific type of continuum, the metameric continuum, is formed. The taxonomic, ecomorphic, symbiotic, and ecosystem trends are identified and considered as the main ones in the evolution of the biosphere. The Vernadsky–Margalef hypothesis of the origin of life and biosphere in the form of protoecosystems is considered and supported.

Еволюційна система біосфери: діалектичний підхід

Олександр Протасов

Резюме. Діалектика еволюції полягає в тому, що розвиток різних систем, ускладнення визначається деякими принципами, які самі являють собою подобу емерджентних систем, що базуються на протилежних, але таких, що діалектично доповнюють одна одну категоріях і поняттях. Запропоновано нову концепцію еволюції біосфери як цілісної системи її послідовних станів, об'єднаних трендами розвитку. Структура біосфери розглядається як фрактальна система, елементарною одиницею якої виступає екосистема. Наступні фрактальні рівні — це біогеоми та біосферомерони. Фрактальна структура відповідає принципу емерджентності. Запропонована концепція еволюції біосфери базується на загальних натуралістичних принципах і категоріях діалектики, таких як стани й інтерстани, континуальність і дискретність, відтворюваність і унікальність, гіпотезі інформаційних каналів або трендів, концепції організованості біосфери в специфічному еволюційному просторі-часі. Загалом еволюційна історія біосфери являє собою метамерну картину змін станів та інтерстанів. Складна система континуумів є найважливішою рисою організованості біосфери у просторі й часі. Континуальність першого роду можна спостерігати, коли в межах стану, що триває, існує континуум нерозрізненості: протягом тривалого геологічного часу не відбувалося кардинальних змін у структурі елементів біосфери і зв'язках між ними. При цьому розвиток цілісної біосферної системи відбувався в континуумі другого роду: за умови безперервності життя, у біосфері відмінності попередніх і наступних станів дуже істотні й очевидні. Причому, ці відмінності пов'язані з ускладненням, розвитком, що і є, власне, еволюцією. Стани біосфери в ті чи інші періоди пов'язані трендами, що утворює еволюційну систему. Тривалі стани, коли система залишається самототожною довгий період, через інтерстани змінюються новими станами. Таким чином, формується своєрідний тип континууму — метамерний континуум. Як основні в еволюції біосфери виокремлено і розглянуто тренди таксономічний, екоморфний, символічний, екосистемний. Розглянуто та підтримано гіпотезу Вернадського-Маргалефа про походження життя і біосфери у вигляді протоекосистем.

Ключові слова: біосфера, еволюція, стани, емерджентність, континуальність, фрактальна структура, ноосфера.

Адреса для зв'язку: Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine. V. Ivasyuk av. 12, 04210, Kyiv, Ukraine; Email: pr1717@ukr.net; orcid: ORCID 0000-0002-0204-2007

Вступ

В останні десятиліття суттєво активізувався атропоцентричний погляд на планетарні процеси, питання, що стосуються, зокрема, змін клімату. Глобальні процеси розглядаються насамперед із позицій зміни умов життя людини [Delpla *et al.* 2009; Naveh 2000], навіть якщо й розглядається вплив тих чи інших факторів на екосистеми [Birk *et al.* 2020]. При цьому відходить на другий план фундаментальне положення, висловлене В. І. Вернадським, — людина, як і будь-який інший вид живих істот, є продуктом біосфери, він не існує і не може існувати поза нею: живі природні тіла виявляються тільки в біосфері, з нею представляють собою єдине ціле [Vernadsky 1945]. Проблеми як комфортного існування, так й виживання людства не можуть вирішуватися поза проблемами функціонування всієї біосфери. Прогнозування майбутнього людини і планети неможливе без пізнання її історії, закономірностей розвитку. Принцип актуалізму, прийняття того, що загальні закономірності якогось процесу, зокрема розвитку біосфери залишаються в основі своєї незмінними, важливий не тільки для пізнання минулого, але і для того, щоб отримати уявлення про подальший розвиток біосферної системи.

Нещодавно вийшла публікація, яка може бути віднесена до розряду високо концептуальних, що зачіпає основи найзагальніших положень про розвиток та еволюцію [Wong *et al.* 2023]. Вона підбиває деякий підсумок багаторічних досліджень та узагальнень авторів у цій галузі [Hazen 2005; Wong 2022] які призводять авторів до концепції єдності еволюційних процесів у природі. Еволюція представляється як історична послідовність взагалі, що пов'язана з саморозвитком. Так, говорять про еволюцію Сонячної системи, еволюцію Землі як планети, маючи на увазі розвиток на ній геологічних процесів. В еволюції важлива незворотність загального поступального руху за умов циклічності окремих процесів. Мабуть, ключове слово тут — «саморозвиток», тобто зміни, які визначають внутрішні причини.

Еволюція біосфери неодноразово була предметом наукового розгляду та аналізу, як з переважно біологічних позицій [Kamshylov 1974; Kordyum 1982; Budyko 1984; Mills & Konhauser 2021], так і з історико-філософських [Kolchinsky 1990; Krasilov 1986; Zavarzin 2001; Planavsky *et al.* 2021].

Поняття біокосної системи, яке вводить В. І. Вернадський [Vernadsky 1926] для біосфери за своєю суттю діалектично, оскільки поєднує протилежності в щось принципово нове, систему зовсім іншого типу, ніж косні та живі елементи. В еволюції важлива незворотність загального поступального розвитку при циклічності окремих процесів [Zavarzin 2006]. Еволюція це не тільки історична послідовність подій у біосфері, а й процес саморозвитку. При цьому, біотична еволюція є «побічним, але неминучим результатом підтримки стійкості системи вищого, стосовно організму, рангу», вважали Р.Л.Берг і А.А.Ляпунов [Berg & Lyapunov 1968: 5], тому, що популяція регулюється біогеоценозом [Shmalhauzen 1968a] і так далі, відповідно ієрархічної структури біотичних і біокосних систем. Еволюція живих систем як біотичне явище, входить в систему всіх рівнів організації біокосної системи біосфери.

Очевидно, що жива речовина [Vernadsky 1926, 1965], Геомерида [Beklemishev 1928; Starynkevich 2013], біохоліда [Protasov 2012], тобто вся сукупність живого, живий покрив Землі, не тільки не залишалися незмінними але й еволюціонували, тобто відбувалося зростання багатства форм, ускладнення зв'язків. Ці зміни більш-менш повно задукоментовані в палеонтологічному літописі. При цьому, середовище існування живого (геохоліда) також не залишалося незмінним. Відповідність середовищу існування є безумовна передумова та умова існування живого [Zavarzin 2000]. Водночас, життя не є пасивним, зміни та розвиток геохоліди відбувалося при значному тиску біотичних факторів [Ponomarenko 2013].

Якими є закономірності еволюційного процесу біосфери? Свою версію відповіді на це питання я і пропоную у цій роботі.

1. Упереджені та неупереджені ідеї

Основна праця В. І. Вернадського «Біосфера» [Vernadsky 1926] починається з важливого представлення читачеві кількох «упереджених» ідей, які «суперечать існуючим у науці емпіричним узагальненням». Зокрема, він не вважає доведеним абіогенез та походження життя, і виводить його за межі наукового розгляду, оскільки немає прямих даних, що вказують на це явище.

У свою чергу, зведення неупереджених, «позитивних», конструктивних ідей може розглядатися як філософсько-методологічний каркас дослідження. На мій погляд, зведення тих та інших, для розгляду питань еволюції біосфери може виглядати наступним чином.

Упередженою ідеєю слід вважати розгляд біосфери лише як області життя на Землі, як і вважати біосферою лише сукупність живого.

Упередженою ідеєю слід вважати положення про те, що еволюція — явище суто біотичне, властиве тільки живому.

Упередженою ідеєю слід вважати положення про якийсь один принцип, механізм, на якому буде еволюція, чи то принципи селекціонізму, номогенезу чи інших.

Неупереджені ідеї, принципи та концепції, на яких ми будуватимемо подальші міркування є такими:

Створення та розпад

Все існуюче мало колись виникнути. Все існуюче не вічне, як у минулому, так і в майбутньому. Вочевидь, що цей принцип суперечить уявленням В. І. Вернадського про вічність життя: «Загальна проблема про початок життя в космосі втрачає наукове значення, подібно до того, немає наукової проблеми про початок матерії, електрики, енергії». [Vernadsky 2012a: 320]. Однак життя, у його земній формі, сама Земля, сонячна система зі своєю зіркою мають свій історизм. Діалектичність цієї пари понять полягає в тому, що творення та розпад/руйнування

забезпечують циклічність процесів. Упередженість принципу «вічності життя» саме у його недіалектичності: логічній відсутності комплементарної категорії, наприклад — «вічність — миттєвість».

Принцип існування «тут і зараз» (хаесейтас)

Термін «хаесейтас» у поле аналізу еволюційних процесів був запроваджений Г.О. Заварзіним [Zavarzin 2007] для позначення філософського принципу існування реальності: це те, що ми спостерігаємо тут і зараз як реально існуюче, дійсне. Сам термін належить філософу XIII ст. Дунс Скотту.

Концепція стану та інтерстану

Даний стан об'єкта, системи представляється як тимчасовий зріз всіх його характеристик. Кожен стан лімітований у часі [Simanov 2022] Між станами існують перехідні процеси чи інтерстани [Aleev 1986]. Концепція стану тісно пов'язана з принципом хаесейтас діалектичним зв'язком, оскільки саме поняття «стан» з погляду принципу «тут і зараз» виглядає неоднозначно: можна виділити стани «миттєві» і стани, що тривають. Стан (тут і зараз) може нескінченно дробитися через властивість часу: між будь-якими двома моментами часу завжди знайдеться третій, тобто немає мінімального його відрізка [Gomankov 2014]. Принцип історизму, змінності, який вийшов ще з ідей античності, став уже парадигмою, настільки проник у повсякденну свідомість, що навіть постановка питання реальності застиглих станів виглядає антинауковою та неприйнятною. Афоризм про річку, куди не можна увійти двічі, став абсолют. Тим не менш, з станами, що продовжуються, ми стикаємося постійно [Protasov 2019]. Земля обертається безперервно, проте ми цілком виразно виділяємо два стани — день і ніч, з двома інтерстанами — ранок, вечір. В організмі відбувається постійний обмін речовин, клітини різних тканин відмирають і заміщаються новими, проте протягом усього онтогенезу організм проходить ряд фізіологічних, екоморфних станів, тривалість яких може бути великою. Саме стани, що продовжуються, підлягають нашому сприйняттю та вивченню, проте лише зміна миттєвих станів вибудовує картину світу не як світу «застиглих станів», а світу процесів [Levich 2009]. В тому і є діалектика поняття стану.

Концепція того, що вміщає, і того, що вміщається

Цілісність, індивідуальність системи визначається не тільки внутрішніми її властивостями, зв'язками між елементами, а й характером взаємодії із середовищем. Відносини між вміщуваним і тим, що вміщує, визначають ієрархічну структуру біокосних систем. Приклад екологічної ніші може бути прикладом її, як того, що вміщує популяцію. Однак не можна розглядати екологічну нішу як такий собі гіперпростір, що може залишатися «порожнім, в очікуванні» популяції якогось виду. Екологічна ніша — це діалектичний прояв взаємодії середовища (того, що вміщає) і популяції (того, що вміщається). Немає цієї діалектичної пари — немає і екологічної ніши. Екосистему не можна розглядати як механічне об'єднання біотопу (того, що вміщує) і біоценозу (вміщуваного), це вже нова система. Що стосується біосфери, то цей принцип має розглядатися як один із ключових, коли йдеться про її структуру. Діалектика вміщуваного і того, що вміщує, полягає в тому, що не можна механічно розглядати геохолоду як вміщувальне для біохолоди — вміщувальне і вміщуване створюють нову систему. Водночас справедливим є й твердження, що вміщуване не може виникнути раніше, ніж вміщувальне [Zavarzin 2000], з чого випливає, що для виникнення біосфери мали б існувати певні умови, які створювала геосферна оболонка Землі, така собі «протогеохолода». Такий самий «букет» нових систем на основі діалектичного зв'язку того, що вміщається, і того, що вміщає, існує і на рівнях організації біосфери.

Континуальність та дискретність

Еволюція біосфери відбувалася і відбувається континуально, без розривів через відсутність множинності актів походження життя. У той же час, в історії біосфери існували тривалі стани відносної стабільності, малої змінності істотно важливих характеристик, тобто існував континуум внутрішньої нерозрізненості, внутрішньої самоподібності стану, що триває. Це може бути означено як континуум першого роду [Protasov *et al.* 2022]. При відносній дискретності станів, розділених інтерстанами, в єдиному континуумі еволюційної системи відбуваються зміни, що обумовлюють континуум градієнтного характеру (континуум другого роду): стан наступний відрізняється від попереднього, початкові стани суттєво відмінні від кінцевих, сучасних, при тому ми маємо справу з той самою ж континуальною системою.

Ця єдність усієї еволюційної системи біосфери зумовлює певну принципову схожість послідовних триваючих станів (завдяки адитивності та спадкоємності), що призводить до нової форми континууму — метамерного континууму (континуум третього роду). Як ілюстративну модель можна навести каскад водосховищ на річці [Barbosa *et al.* 1999] або ланцюжок ставків, які розділені ділянками річки. У кожній водоймі формуватиметься більш-менш своєрідний біоценоз, однак, істотно відмінний від таких у логічних ділянках.

У біології взагалі мало абсолютних понять та явищ, одне з таких — абсолютна континуальність життя. При цьому відоме нам життя на Землі має дискретну основу: живе існує у вигляді дискретних організмів. Слідуючи за категоричною точкою зору біологів щодо «неподільного» — індивідуума, необхідно вважати організми квантами живого, що мають властивість самовідтворення, що і створює континуум потоку життя. Однак звертаючись до витоків екології, науки про надорганізмові системи, знаходимо більш широке трактування «кванту життя», «Quantum Leben» [Möbius 1877]. Будь-яка популяція, у цьому трактуванні, представлена найбільшою кількістю особин, які змогли вижити у цих умовах, і є квант життя. Очевидно, тут необхідно зробити принципове уточнення, пов'язане з поняттями «живе» та «життя». Не організм є одиниця, «квант життя», а деяка їхня спільність, що реально здатна підтримувати континуум існування. Організм, одиниця живого, існує у часі онтогенезу, біологічно вид існує в еволюційному часі, живе існує у часі біосфери. Однак існування «живого» неможливе поза системними відносинами з «живим» ж, а також з необхідними елементами косного середовища. Це і є суть узагальнення, зробленого В. І. Вернадським: «Жива речовина загалом проявляється в навколишньому середовищі в біосфері, до складу якої вона входить...» [Vernadsky 2012b: 139]. Існування «живого лише у біосфері» є взаємодія і безперервний зв'язок як у біотичних угрупованнях, так і зв'язок із необхідною для існування частиною косного середовища. Тобто, слідом за А. Тенслі [Tansley 1935] можна сказати: це є екосистема, діалектична єдність живого і косного, одиниця і квант життя *в біосфері*.

В еволюційному аспекті на дискретність потоків життя вказував С. В. Пучковський [Puchkovsky 1997], розглядаючи квантованість життя як наявність фаз, що чергуються — стабільної та акцептивної. У стабільній фазі найбільш помітна роль спадковості, і також стабілізуючий ефект природного добору. У акцептивній фазі підвищується роль мінливості, перетворення підсистем. По суті — стабільна фаза — це стан, що триває, акцептивна — інтерстан. Навіть Ч. Дарвін не уявляв собі низку видів як безперервний континуум: «...періоди, протягом яких вид зазнає змін, хоча й тривалі, якщо вимірювати в роках, все ж таки короточасні в порівнянні з періодами, коли він залишається незмінним» [Darwin 1907: 384].

Принцип тиску життя

Важливою складовою як дарвінівської теорії еволюції, так і вчення про живу речовину біосфери [Darwin 1907; Vernadsky 1926] є закон необмеженого зростання чисельності живих організмів. Це створює ефект тиску життя. Інтенсивність цього тиску є мірою активності живого. Ч. Дарвін був справедливо категоричний: «Не існує жодного винятку з правила, за яким

будь-яка органічна істота природно розмножується в такій прогресії, що за відсутності вищого, нащадки однієї пари покрито б всю землю» [Darwin 1907: 107]. Однією з найважливіших характеристик живої речовини В. І. Вернадський вважав гіпотетичну швидкість саме цього процесу — розраховував швидкість, з якою популяція може поширитися поверхнею Землі. Крім кількісного аспекту тиску життя в еволюції має місце якісний, який проявляється у появі все нових та нових форм живого. Якщо механізм появи нових видів і форм все ще дискутується, то зростання багатства форм життя — одне з незаперечних емпіричних узагальнень. Тут слід зазначити певний збіг процесів. Як відомо, зростання популяції описується так званою логістичною S-подібною кривою [Gilyarov 1990], де є експоненційна частина, за якою, по мірі вичерпання ресурсів відбувається суттєве зниження швидкості зростання та встановлення певної рівноваги між можливостями потенційного зростання та можливостями забезпечення ресурсами. Якісний аспект тиску життя також мав вигляд гіперболічної кривої [Markov & Korotaev 2008], принаймні для деяких великих груп організмів, починаючи з кембрію. У цьому зв'язку, гадаю, слід зазначити деяку однобічність концепції «заповнення ніш» [Lekevičius 2018]. Хоча вміщувальне має передувати вміщуваному, проте складно уявити, що середовище механічне «готує і надає» нові екологічні ніші в такій же гіперболічній прогресії. Діалектично, екологічна ніша є результатом системних відносин між популяцією, видом і середовищем (див. вище). Тому слід, мабуть, очікувати в еволюційно-геологічних масштабах часу істотне зниження зростання багатства форм і видів, аналогічно з логістичною кривою. Якісному тиску життя дедалі більше протидіятиме обмеження можливостей появи нових екологічних ніш. І, як зараз стає очевидним, не без участі людини.

Очевидно, поняття «тиску життя» слід розглядати досить широко. Ще Ж. Б. Ламарк зазначав [за: Gilyarov 1999], що у історичному розвитку Землі постійно відбувалася руйнація різноманітних складних речовин. За дуже і дуже значного віку Землі, вважав він, всі складні речовини мали б зруйнуватися до простих. Проте є сила, «сила життя», яка протистоїть тотальному розпаду. Також тиску життя протистоять численні «перепони», як зазначав Ч. Даврин. Принцип Ле Шательє має «двосічну» конструкцію.

Однак кожна дія, як і протидія суть енергетичні процеси. Тут показовим може бути приклад із річкової гідравліки. Тиску води потоку чинять опір сили тертя з дном, що призводить, важливо відзначити! до появи на дні ритмічних «згустків енергії», внаслідок чого дно потоку не гладке, а покривається періодичними скупченнями невеличких дюн. «Розвиток форм донних відкладень зазвичай утворюють стійкі послідовності. Рівне і гладке піщане дно — рідкісне явище поза лабораторними умовами» [Bogatov & Fedorovsky 2017]. Також завдяки енергетичним передумовам взаємовідносин між тиском потоку та опором ложа формуються метамерні періодичні структури у вигляді невеличких водойм та перепадів у гірських потоках [Chin 2002]. Реально у «рівноважній» ділянці логістичної кривої зростання відбуваються певні пульсації — інтенсивний «тиск життя» і потім досить інтенсивний спад під протидією середовища («тиск середовища»). Тобто рівновага визначається коливальними процесами.

Принцип актуалізму

Цей принцип є рівнозначним як для минулого, так майбутнього. Не лише «сучасність є ключем до розуміння минулого», за словами Ч. Лайеля [цит. по Kafanov 2005]. Принцип може бути розширений: минуле, сьогодення та майбутнє біосфери пов'язані єдністю історичних процесів розвитку, заснованих на єдиних закономірностях. Цікавим видається, якщо так можна сказати, «просторовий аспект актуалізму»: дослідження геології іншої планети (в даному випадку, Марса [Treiman *et al.* 2023]) було б неможливо, якби спочатку не було прийнято, що основні процеси утворення мінералів, формування порід там і нашої планеті відбувалося подібно.

Принцип актуалізму покликаний вирішувати одне з ключових питань, яке ставиться під час обговорення розвитку та еволюції: як перейти від того, що ми реально спостерігаємо зараз, до того, що було і, можливо, буде? Тобто перейти від того, що є тут і зараз до того, що було раніше, та в іншому місці? Для цього, вважає Г. О. Заварзін [Zavarzin 2004] необхідно скористатися принципом аналогії: «речі сьогодення, не будучи речами минулого, аналогічні їм і мають подібні властивості» (с. 337). Аналогічність може бути встановлена на основі оцінки конфігурації властивостей, для яких існує простір логічних можливостей. Саме принцип актуалізму дозволяє нам реконструювати минулі стани, спираючись на знання змін властивостей сучасного, цим реконструюючи (чи прогнозуючи) континуальні тренди розвитку.

Інформація в системах, що розвиваються, і в еволюції

Отримання інформації — це усунення невизначеності, яка зникає при певних діях [Wiener 1958]. За одиницю її кількості приймається кількість інформації, що передається під час одного вибору між рівномірними альтернативами. Інформаційний баланс живих систем є позитивним. Життя як процес, пов'язане зі зменшенням ентропії, що відповідає активному накопиченню інформації [Aleev 1986]. Відповідність саме даного стану системи умовам існування як вибір/відбір з декількох можливих станів є інформаційний акт [Margalef 1968]. Перехід з одного стану в інший базується на передачі інформації. При цьому, як впливає з принципів кібернетики, зокрема стосовно біотичних процесів [Shmalhauzen 1968a], передача інформації супроводжується шумом, який виступає джерелом новизни.

У наступний стан система переходить не тільки як матеріальне тіло, об'єкт, а й інформація про нього, про його структуру, системні властивості, я називаю це принципом Вайсберга¹. Для виникнення та формування ценотичних відносин у гідросфері знадобилося два з половиною мільярди років, тоді як наземні екосистеми сформувалися (*перейнявши у водних* ті ж принципи організації, саме *інформацію* про це) за період не більше 50–60 мільйонів років.

Концепція відбору

Відбір в еволюційних процесах слід розглядати набагато ширше, ніж «дарвінівський» відбір [Darwin 1907] чи «виживання успішніших» у боротьбі за існування. Доповнення власне «боротьби» кооперативними відносинами, перевагами, які дає симбіоз, не змінює принципів «дарвінівського» відбору. Варто говорити про нього як про окремий, насамперед «біологічний випадок». Відбір у широкому сенсі — це збереження, існування вміщувального, відповідного умовам вміщувального. Перехід системи саме в цей стан і збереження самої себе — це і є акт відбору, пов'язаного з редукцією інших можливих станів. За висловом Г. О. Заварзіна [Zavarzin 2004], з усіх можливих майбутніх станів тільки один стає істинним і існуючим.

Акт вибору стану, що відбувся є акт зняття невизначеності, тобто інформаційний акт, перехід від одного стану до іншого і є передача інформації.

Принцип емерджентності

Будь-яка система має характерну для неї структуру, взаємодія елементів визначає цілісні властивості всієї системи. Емерджентність полягає в тому, що для підсистем та елементів не придатні в повній мірі закони та принципи системи як цілісності. Безліч екосистем, типів екосистем у процесі еволюції поводяться щодо біосферної системи досить хаотично. Організованість ієрархічної системи є впорядкування хаотичності на нижчих рівнях верхніми. Ймовірно, певна частка хаосу елементів є важливою передумовою життєдіяльності і, більш того,

¹ Вайсберг Матвій Семенович (нар. 1958), відомий київський художник, у своїх лекціях з історії мистецтва розвиває концепцію про те, що художник передає у майбутнє не лише матеріальний об'єкт (картина, скульптура), а й враження, ідею, атмосферу часу, тобто інформацію, що у взаємодії з інформаційним та емоційним досвідом глядача, дозволяє сприймати цей об'єкт саме як об'єкт мистецтва.

розвитку всієї системи, при цьому існування певних трендів еволюції цілісної біосфери безсумнівно. Хаотичність є джерелом новизни, що виражається в інформаційному шумі, в цьому полягає, мабуть, важлива функція ієрархічності систем.

Відтворюваність та унікальність

Відтворюваність — це явище виникнення нових об'єктів, які входять до групи, класу вже існуючих, або тих, що існували раніше. Віднесення їх до одного класу передбачає наявність подібних якостей і властивостей, тому діалектично відтворенню протистоїть унікальність, індивідуальність, неповторність. Явище відтворюваності широко поширене як у косній, так і живій природі, і в людській діяльності [Franklin 2010]. Нормальне функціонування систем базується на балансі взаємодії в їх структурі відтворюваності подібних елементів і неповторності унікальних. Жодна система неспроможна існувати за ідентичності її елементів, які можуть нескінченно відтворюватися, як і за абсолютної їх індивідуальності, неповторності, бо функціонування системи ґрунтується на різноманітності взаємодії як однорідних, так і різних елементів. Відтворюваність бере участь у процесах підтримки якогось необхідного для системи рівня різноманіття. Відтворюваність цілісних біотичних і біокосних систем, заснована на інформаційно-речових відносинах між вміщувальним та вміщуваним на різних рівнях ієрархії. Очевидно, що еволюція, як процес створення та закріплення нового, є процес порушення абсолютної відтворюваності, як точної реплікації минулого стану, минулої форми та функції. Треба враховувати часові та просторові масштаби, щоб зіставляти процеси еволюційні та відтворюваності. Чи є народження та розвиток зірок [Wong *et al.* 2023] відтворюваністю космічних об'єктів чи сам процес їх розвитку вже слід вважати еволюцією?

Наступність і новизна

Два діалектично пов'язані поняття, що визначають консервативне і революційне. Наступність передбачає оновлення: жоден стан системи не вічний, один змінюється іншим. При цьому наступний стан завжди містить як «спадщину» минулого, так і деяку кількість новизни. Зрозуміло, як і втрата старого, змінюючи структуру системи, конфігурацію елементів внаслідок цього, також призводить до появи новизни. Як було зазначено [Rautian 2006], кожен кардинальний поворот у ході розвитку системи потребує дестабілізації структури та втрати значної частини адаптивного досвіду існування у попередніх умовах. Занадто великі «порції» новизни можуть суттєво послабити стійкість системи. Придбання новизни відбувається у період інтерстану, для нового стану вона стає «рутиною». Рівень допустимої і достатньої новизни встановлює відбір, виходячи з відповідності вміщувальному. Новизна в процесах відтворюваності є інформаційним шумом, який є матеріалом для відбору. Поява нових конфігурацій у системі [Wong *et al.* 2023] може розглядатися як новизна для системи, проте не на рівні сукупності елементів, оскільки нові конфігурації можуть створюватися з ненових елементів. Ймовірно, це слід назвати варіабельністю відтворюваності. Саме тому доцільним є відділення sukcesії від еволюційного процесу [Zavarzin 2000]. Близькі до материка острови заселяються тими самими видами і формують такі самі екосистеми, як і на материках. На істотно віддалених островах може відбуватися інтенсивний процес видо- та формоутворення, що призводить до значного внесення новизни як до складу елементів, так і в їх «екологічні конфігурації» [Lekevicius 2018]. Однак це не призводить до еволюційних змін на біосферному рівні, не призвело до появи нових типів екосистем. Все нове стає існуючим тільки на певній базі старого, саме тому еволюція біосфери в своїй основі адитивна. Розглядаючи «еволюцію всього», важливо відзначити різницю у відношенні до новизни, створення новизни у косних, біокосних і біотичних системах. Косні системи (еволюція зірок, наприклад) суттєво обмежені законами фізичних процесів, хімічних взаємодій, біотичні системи набагато «вільніші» у створенні новизни, хоча теж існують у «коридорі логічних можливостей» [Zavarzin 2000].

Складні відносини між новизною-консервативністю, часом та континуальністю. На умовних полюсах градієнтного континууму ми спостерігаємо істотно різні структури, проте, де, в якій точці континууму виникає ця новизна? Чи завжди новизна потребує стрибка, розриву властивостей? Логіка діалектики змушує дати позитивну відповідь і в той же час додати, що в цьому випадку необхідно прийняти відносність часу. Стрибок, інтерстан може бути «миттєвим» і таким, що триває. Чи варто в цьому випадку ставати однозначно на бік Ч. Дарвіна чи на бік Л. С. Берга?

Когерентність та автономність процесів

Когерентність (від латин. *cohaerentio* — зв'язок) елементів системи визначається «заборону на розвиток абсолютного цілого» [Rautian 2006], у такому разі може бути змінено відразу все чи нічого. Елементи системи завжди мають певну індивідуальність і самостійність. Наявність зв'язків в екологічних системах розглядається в рамках закону екологічної кореляції [Reimers 1992]: всі живі та косні компоненти системи відповідають один одному. Проте зв'язки не можуть бути абсолютно жорсткими. Саме тому В. А. Красилов [Krasilov 1986] і запроваджує поняття когерентної еволюції, тобто не статичних взаємозв'язків, а взаємозалежних змін. Дійсно, якщо, як наводить приклад В. А. Красилов, мезозойська рослинність багато мільйонів років не зазнавала істотних змін, то це не означає, що змін як екологічних, так і еволюційних не відбувалося взагалі, а те, що вони відбувалися когерентно, що і підтримувало стабільність біосферної системи в цілому. Некогерентність кризових етапів, інтерстанів між стабільними станами, що тривають, полягала саме в тому, що порушувалися стійкі, взаємопов'язані екологічні процеси.

Стабільність і мінливість

Стабільність і мінливість є в еволюціоністиці однією з найважливіших діалектично пов'язаних пар понять. Як відомо, саме мінливість розглядалася в дарвінізмі як одна з передумов еволюції. Мінливість створює шум під час передачі інформації. Важливо зазначене І. І. Шмальгаузен: «Стабільність організації означає існування більш менш складного регуляторного апарату, що захищає нормальне формування від можливих порушень з боку випадкових ухилень факторів зовнішнього середовища» [Shmalgauzen 1968b: 65]. З цього випливає, що підтримка стабільності систем — енергетично витратний процес. Але, незмінність, стабільність цілого можна досягти лише шляхом зміни елементів [Berg & Lyapunov 1968]. Це і є, власне, механізм підтримки стабільності у морфопроесі. Однак, скільки новизни приносить ця «зміна частин»? Як було зазначено [Zavarzin 2000], чим більша складність системи, тим менша її стабільність. Робить він цей висновок з того, що існування стабільних періодів в еволюції біосфери в історії її ставали менш тривалими, при цьому, ускладнення були очевидні. Періоди глобальних перебудов відбувалися все частіше в геологічному масштабі часу. Однак, досліджуючи стабільність водних екосистем, А. Ф. Алімов [Alimov 1991] приходить до висновку, що угруповання з більшою різноманітністю, складніші і стійкіші (хоча стійкість не завжди рівнозначна стабільності).

Адитивність та зменшення, редукція

Еволюція біосфери має адитивний характер, тобто відбувається накопичення певних її «досягнень». Прокаріотна гідросферна біосфера стала частиною того, що вміщує, для наступних її станів, «плантій» або період з появи наземних макрофітів став частиною того, що вміщує, для наступних станів епігейної частини біосфери та біосфери в цілому. Новизна накладається на існуюче. Уявлення про те, що еволюція це, виключно, сукупність нового — одне з головних помилок уявлення розвитку біосферної системи. Еволюція можлива лише за відповідності певних «порцій» новизни, які додаються до того, що існувало у минулому. Діалектична протилежність адитивності є зменшення, редукція (як підсумовування протилежно відніманню)

і пов'язана з відбором. Зникло безліч видів, таксонів вищого рангу. Зникли цілі типи екосистем, як ліси-водойми карбону. Діалектика цих протилежностей у тому, що накопичення не може бути нескінченним і має обмежуватися редукцією, звільняючи «простір» для новизни, підтримки циклічності процесів.

Принцип градуалізму та сальтації

Градуальність еволюції асоціюється з континуумом другого роду: розвиток безперервний, проте початкові стани істотно відмінні від наступних. При цьому, розвиток є градуальним в міру спадкоємного зв'язку його станів і одночасно уривчастим в міру стійкості кожного окремого стану, що змінюється в ході розвитку. Це можна називати законом переривчастості безперервності еволюції [Rautian 2006]. Новизна та спадкоємність пов'язані з градуалізмом та альтернативним їй сальтаціонізмом. Збільшення кількості новизни призводить до ослаблення зв'язків між станами, чим більше новизни, тим менш градуальний може бути процес розвитку. З цього випливає, що ніякий розвиток не може бути абсолютно градуальним чи/або нерівномірним.

Концепція тренда еволюції біосфери

Тренд може розглядатися як інформаційний канал, яким здійснюється передача інформації від стану до стану в системі, що розвивається, який строго стосується однієї властивості системи. Ця взаємодія створює структуру часового зрізу станів. Рамон Маргалєф [Margalef 1968] виділяє для екосистеми (зазначимо, що «екосистема», в даному випадку, в нього, ближче за змістом до біосфери) три такі інформаційні канали в часі: генетичний, екологічний, етологічний чи культурно-соціальний. У будь-якій системі, що розвивається, можуть бути виділені різноманітні канали-тренди. Якщо йдеться про організм, то тут важливі тренди фізіологічний — формуються нові функції організму, біохімічний — синтез речовин для «будівництва» і функціонування організму, екоморфний — відбувається формування та зміна екоморфних станів. Що стосується еволюції біосферної системи, то тут слід виділити абіотичний або тренд середовища, біохімічний, фізіологічний, таксономічний, екоморфний, симбіотичний, екосистемний, етолого-соціальний, антропо-культурний тренди. У кожному стані, «потужність» тренда різна, що і створює, власне структурний «портрет» стану системи біосфери, що розвивається.

2. Структура біосфери та її фрактальність

В.І. Вернадський [Vernadsky 1926, 1945] не до кінця розробив чітку, деталізовану схему структури біосфери. Спроби виявити структурні елементи та уявити біосферу як систему призводять до надмірно складної та неоднозначної картини [Reimers 1992]. Система екосистем Землі отримала назву екосфера [Cole 1958], видається, що це синонімічно біосфері. Екосистема представляє собою реально фрактальну частину, фрактальний елемент біосфери, інші елементи на кшталт «аеробіосфери», «фітосфери» [Reimers 1992] можуть розглядатися як часткові елементи класифікаційного плану.

Біосфера це не лише область, вмістилище живого, але є діалектична єдність живого і неживого, що взаємодіють між собою. Живе і косне, маючи багато в чому протилежні властивості [Vernadsky 1945], утворюють систему з новими властивостями. Саме — як систему, Вернадський писав, зокрема, про гідросферу та життя в ній, як частині біосфери: «Загалом весь океан повинен розглядатися — у кожному його місці — як нерозривний зв'язок мертвої інертної матерії та безперервно мінливої та що хімічно змінює мертве навколишнє водне середовище живої речовини» [Vernadsky 1923: 18]. Біосфера, як система, складається з характерних елементів, які пов'язані між собою прямими та зворотними зв'язками, але вона і сама, як емерджентна система є частиною геосферної системи земних оболонок.

Вернадський вважав, що основою уявлення про структуру біосфери має бути покладена густота життя — виділення ділянок, нею збагачених [Vernadsky 1926]. Це призводить до виділення найбільших підрозділів біосфери — біосферомеронів [Protasov 2012].

Біосфера має фрактальну природу. Вона є складною системою, функціонування якої визначається взаємозв'язками і взаємодіями між елементами різного рівня. Це система відносин між живою речовиною, біохолідою та геохолідою, косними елементами, що підтримують існування живого в масштабах усієї планети.

Об'єктом екології є екосистеми — найменші біокісні системи, елементи біосфери. Таким чином, можуть бути виділені найбільша (біосфера) та найменша (екосистема, біогеоценоз) біокісні системи живого на Землі. Подібність між ними полягає в тому, що в них відбувається трансформація сонячної енергії, а також підтримуються відносно замкнені циклічні процеси обміну речовини. У цієї функціональній подібності елементів і цілого полягає фрактальність біосфери, її структури. Саме тому не можна вважати біосферу «найбільшою екосистемою» [Sokolov 2000]. Це порушує принцип емерджентності та принцип взаємозв'язку вміщеного та того, що вміщує. Однак і біосфера не складається безпосередньо із конкретних екосистем. Які елементи перебувають у ієрархії біосферної системи?

Найбільш активна частина біосфери за В. І. Вернадським є у найзагальнішому вигляді системою, що складається в океані з поверхневої «плівки», згущення життя, де відбувається трансформація сонячної енергії фотосинтетиками, донної зони («плівки»), в якій відбувається трансформація та акумуляція органічних та мінеральних речовин, досить функціонально інертної проміжної зони між ними, а також прибережного, шельфового згущення, де всі геохімічні процеси активізуються у зв'язку з контактом океану та суші, контактом «плівок». На континентах виділено одну наземну плівку життя. Таким чином, у біосфері може бути виділено чотири субструктури, найбільших елементів біосферної системи або біосферомеронів.

Різноманітність екосистем неоглядна. Проте біосфера є організованою системою. І одним із аспектів її організованості є широка структурно-функціональна конвергенція екосистем. У подібних умовах формуються подібні за своїм характером екосистеми, хоч вони і розрізняються в «деталях» — видовому складі, просторових особливостях, біотичних угрупованнях. Це дозволило виділити на суші цілком обмежену кількість «типових», узагальнених біотичних угруповань або біомів [Clements & Shelford 1939], лише трохи більше 10 біогеомів [Protasov 2016, 2017]. Такою є структура біосфери: фрактальними елементами її є біосферомерони, біогеоми, екосистеми-біогеоценози.

Організованість біосфери як морфопроец

Розглядаючи принципи організованості біотичних та біокосних систем, В. Н. Беклемішев [Beklemishev 1994], використовує поняття морфопроецу. Хоча він застосував це поняття для організму, воно набагато ширше і може бути використане для різних систем саморегулювання, в тому числі і для біосфери [Levit & Scholz 2002]. Морфопроец — це збереження стійкої форми цілого, внаслідок постійної зміни, оновлення його частин. Це діалектична єдність відносної стійкості стану цієї форми де постійно змінюється процес, який підтримує форму. Саме морфопроец підтримує просторово-часову континуальність біосфери. Два фактори / явища — мінливість середовища на всіх рівнях ієрархічної структури біосфери і тиск життя призводять до зміни станів, неідентичності станів, ускладненню та розвитку біосферної системи.

Еволюція планети Земля та частини її косної системи, яка пов'язана з живою речовиною, відбувається шляхом поступальних процесів, таких як формування атмосфери, земної кори, теплового режиму, дрейфу континентальних плит, формування стабілізованої хімічної структури океану. Наступні стани задані попередніми, крім процесів, детермінованих біохолідою, наприклад, утворення кисневої атмосфери. У той же час, глобальний біотичний процес акумуляції кисню суттєво регулювався глобальними процесами циклу заліза, кисень поглинався в окислах [Zavarzin 2003].

Біологічні системи не детерміновані повністю зовнішніми впливами, ні внутрішньої програмою системи, їх еволюція включає елемент перепрограмування [Zherikhin 1986]. Біосфера, будучи біокосною системою, у своєму розвитку, еволюції має як закономірні, детерміновані процеси, так і спонтанні, непередбачувані.

Аналогії у системах, що розвиваються

Існування будь-якої системи в часі є зміною станів. У системі, що розвивається/еволюціонує, зміна станів відбувається з їх ускладненням. Наприклад, система розвитку організму, онтогенез може бути представлена як ряд станів: ювенільний вік, дозрівання, репродуктивний стан, зрілість, старіння (рис. 1). Основними трендами, що поєднують стани онтогенезу є: фізіологічний, соматичний, екоморфний, етологічний, соціальний. У межах трендів передається інформація саме про цю частину системи, значущість, «потужність» тренду різна на різних етапах розвитку. Часовий зріз станів є зріз сукупності трендів зараз. Співвідношення їх «потужності», значущості на даний час є структурою стану, визначає різноманітність і складність всієї системи в даний період.

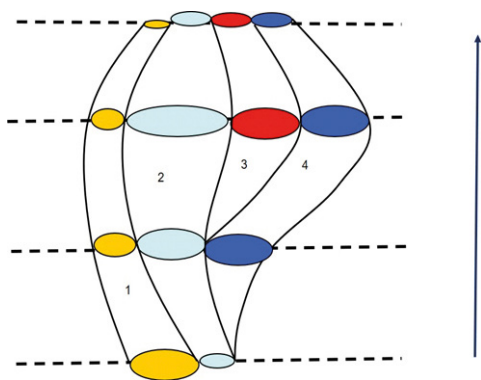


Рис. 1. Онтогенез як метамерна система: (1) соматичний тренд; (2) фізіологічний тренд; (3) репродуктивний тренд; (4) інтелектуальний тренд.

Fig. 1. Ontogeny as a metamer system: (1) somatic trend; (2) physiological trend; (3) reproductive trend; (4) intellectual trend.

У сукцесії екосистем, як і в онтогенезі, спостерігається певна зміна одного стану іншим. Як вважав Е. Одум, вони об'єднані досить великою кількістю трендів: енергетичний, структурний, симбіотичний, життєвих стратегій та ін. [Odum 1969].

Однак і онтогенез, як розвиток особини, так і сукцесія, як розвиток екосистеми досить істотно детерміновані. Перший процес — генетичною програмою, другий — певним набором наявних популяцій, характерними кліматичними умовами. У цьому є цікавим приклад еволюції зірок [Wong *et al.* 2023]. Можна виділити кілька станів цього процесу. Зірки зароджуються як гравітаційно пов'язані маси, що складаються переважно з водню та гелію. Внутрішній тиск і температура досить високі, щоб ініціювати та підтримувати реакції ядерного синтезу. Перші стадії нуклеосинтезу у всіх зірках включають спалювання водню з утворенням гелію. Додаткові процеси термоядерного синтезу призводять до спалювання гелію з утворенням вуглецю, спалювання вуглецю з утворенням магнію та інших елементів і кілька послідовних стадій, у яких утворюються десятки елементів і сотні ізотопів. На заключних стадіях життя зірок такі події, як перехід у стан нових, наднових, зіткнення нейтронних зірок, створюють повну періодичну таблицю, що складається з понад 100 елементів і приблизно 2000 їх ізотопів. Автори роблять висновок, що «зоряна еволюція призводить до появи нових змін незліченної кількості взаємодіючих ядерних частинок». Проте, здається, це ближче до «онтогенезу» зірок, оскільки кількість елементів обмежена таблицею Менделєєва. По суті має місце відтворення фізичних і хімічних процесів, з кінцевим результатом відтворення нової зірки. Щоправда, якщо час онтогенезу особини і час еволюційних процесів різняться на 6–10 порядків, а «онтогенез» зірок обчислюється часом 10^9 років, то, можливо, через немислимі 10^{18} років і вся система елементів істотно еволюює...

Виникає «лише» питання, чи існує у косній природі аналог тиску життя? Бо «паливом» еволюції виступає новизна, яка може виглядати як інформаційний шум під час передачі інформації стану до стану системи. Саме життя створює переважну частину новизни у біосфері.

Еволюційна система біосфери

Попередні та наступні стани мають спадкоємність, передачу інформації про свою структуру. Ця передача, власне і формує послідовність станів, характерних для цієї системи, в даний період часу визначає стан системи тут і зараз.

Ще у XIX ст. геологами і палентологами було виявлено досить чітке виділення окремих істотно однорідних стратиграфічних елементів геологічних систем. Зміна складу та різноманітності біотичних фосилій в послідовних шарах осадової товщі є єдиний прямий доказ реальності еволюції та основне джерело уявлень про односпрямований геологічний час [Krasilov 1977]. Хоча існує добре обґрунтована геологічним і палеонтологічним матеріалом геохронологічна картина відмінних станів біосфери, можуть бути запропоновані й інші варіанти виділення станів, крім «таксономічного».

Можна виділити ряд великих етапів, у яких «нові угруповання накладаються на попередні як на фундамент» [Zavarzin 2003: 318]. Перший етап був, власне, добіосферним етапом еволюції геосфери, сформувалися основні типи місцеперебування, тобто первинна геохіліда. Наступний етап — первинних організмів, об'єднаних у первинні угруповання, спільноти зі своїми зв'язками із середовищем. Наступний етап — це період панування прокаріотного життя, прокаріотій, протягом якого за 2 млрд років до наших днів «повністю формується біогеохімічна машина планети». Коли в атмосфері було накопичено достатньо біогенного кисню, на протокаріотну систему накладаються еукаріоти, до періоду близько 1 млрд років тому сформувався новий етап — «протистій». Далі поява багатоклітинності ознаменувало перехід до нового етапу — «метазою». Ценотичні системи ускладнюються з появою в них активних фаготрофів, що призводить до гонки розмірів хижаків і жертв. Великі метазои стають біогенним біотопом для прокаріотів, починають формуватися складні екосистемні симбіотичні зв'язки. Появою скелетних організмів («скелетоній») у кембрії та виходом фотосинтезуючих рослин («плантій») на сушу, закінчується «мегаблочна» еволюція біосфери.

Така складна система, як біосфера має величезну кількість елементів, що характеризують її в даний момент, в цю епоху, період її існування та розвитку, однак можна виділити невелику кількість основних трендів, «зрізи» яких, вірніше, структура зрізів визначають характер кожного стану (рис. 2).

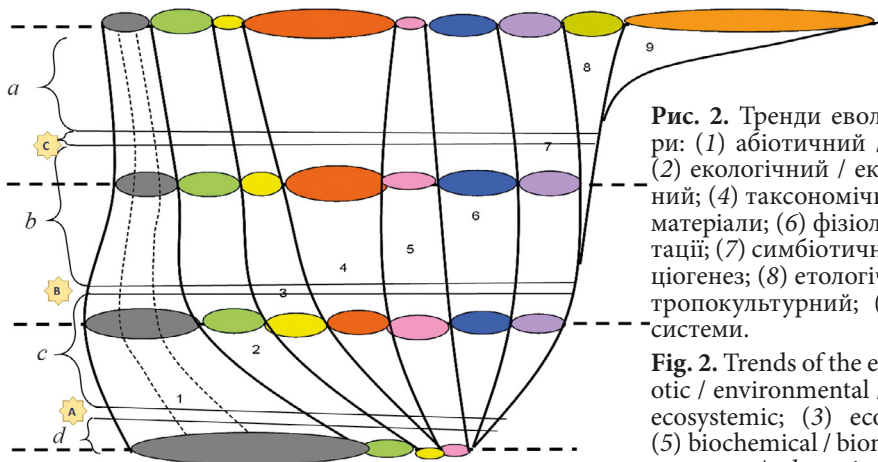


Рис. 2. Тренди еволюційної системи біосфери: (1) абіотичний / середовище / геохіліда; (2) екологічний / екосистемний; (3) екоморфний; (4) таксономічний; (5) біохімічний / біоматеріали; (6) фізіологічний / процеси / адаптації; (7) симбіотичний / кооперація / консорціогенез; (8) етологічний / соціальний; (9) антропокультурний; (a-d) стани еволюційної системи.

Fig. 2. Trends of the evolutionary system: (1) abiotic / environmental / geoholida; (2) ecological / ecosystemic; (3) ecomorphic; (4) taxonomic; (5) biochemical / biomaterials; (6) physiological / processes / adaptations; (7) symbiotic / cooperation / consortogenesis; (8) ethological / social; (9) anthropocultural; (a-d) states of the evolutionary system.

У групі абіотичних трендів слід виділити тренди еволюції літосфери, гідросфери, атмосфери, тобто тих косних елементів біосфери, які створюють біотопи як елементи екосистем або єдиний структурний «каркас» для живої частини біосфери. Єдиний Світовий океан, періодична єдність материків, а при їх роз'єднанні — існування великих континентів, єдина система руху повітряних мас в атмосфері — це було найважливішою передумовою формування єдиної структури біосфери.

Біотичні тренди різноманітні. Найбільш «популярний» в еволюційних дослідженнях таксономічний тренд. Багатьма, якщо не більшістю дослідників, еволюція біосфери розглядається тільки або насамперед як еволюція живих організмів, більш менш у руслі дарвінівського вчення про походження видів. По суті це тренд генетичної еволюції. Поява нових видів та форм факт історичний, палеонтологічний. Важливо для еволюції біосфери, що цей тренд став дедалі «потужнішим», механізми ж мають для біосфери другорядне значення.

Організм існує в природі не тільки у вигляді носія генетичної інформації, належить не лише до певного виду, а й перебуває у вигляді конкретної реальної екоморфи, тому одним із важливих еволюційних трендів є тренд екоморфний, тренд життєвої форми. Екоморфа визначається як історичними генетичними зв'язками, так й умовами життя організму, адаптивними відносинами організму із середовищем, що визначає широку фізіологічну і морфологічну конвергенцію серед різних таксонів. Тобто існує як реплікація, відтворюваність різних екоморф, життєвих форм, так і поява нових в процесі еволюції.

У природі сильні кооперативні симбіотичні у найширшому сенсі відносини. Вони ускладнювалися, проходили певні етапи еволюції. Симбіотичні відносини були важливі у чисто біотичних системах, але й змінювали і відносини живого з середовищем. Тому симбіотичний тренд також може розглядатися як один із найважливіших в еволюції біосфери.

Весь еволюційний біохімічний тренд є історія формування як нового біологічного «матеріалу», так і біохімічних процесів. Важливим був процес створення хімічних основ регуляції процесів у організмах, і також хімічних механізмів регуляції відносин (передачі інформації) у різних асоціаціях організмів.

Питання про еволюцію екосистем обговорювалося неодноразово [Zherikhin 1986; Ропотаренко 2013; Krassilov 2014]. Основним непорозумінням у цьому питанні є те, що еволюцію екосистем деколи намагаються адаптувати до дарвінівських принципів. Еволюція екосистем і є недарвінівська область еволюції. Тут немає випадкових мутацій, конкуренції та боротьби за існування, у дарвінівському значенні, сенсі. Є процес біотичного самозбирання, адаптацій на рівні угруповань, сукцесії. Обґрунтованість виділення такого еволюційного тренду очевидна, оскільки саме екосистеми є одиниці її структури. Еволюцією екосистем була послідовна зміна в них характеру кругообігів речовини, складу та структури біотичних угруповань (як на таксономічному, так і екоморфному рівні), інтегруючих параметрів локальних екосистем, об'єднання їх в ієрархічні системи аж до біосфери. До цього слід додати зміну способів отримання та трансформації енергії. Обмеженість типів екосистем, біогеомів, свідчить про переважання конвергентних процесів у цій галузі еволюції біосфери. Власне, еволюція екосистем це еволюція біогеомів, когерентна еволюція багатьох екосистем у напрямку формування їхньої єдності.

Антропо-соціальний культурний тренд

Антропо-соціальний культурний тренд існує з початку еволюційного періоду появи на Землі прямих біологічних предків людини, хоча, на перших етапах він мав тісні зв'язки із соціальним загальнобіологічним трендом. Але, як зазначав В. А. Красилов [Krasilov 1986], протягом останніх 30–40 тис. років людина як біологічний вид перебуває в стані морфологічного стазису — «...людина в еволюційному сенсі унікальна, тому що її еволюція майже повністю зміщена в область культури», — писав він (с. 81). Таким чином, соціальний тренд еволюції біосфери трансформувалася у соціально-культурний, розвиток соціуму та культури людини є продовженням його еволюційного біологічного тренду [Krassilov 2014].

3. Еволюційна система та метамерна модель еволюції біосфери

Стан біосфери у ті чи інші періоди пов'язані трендами, що і утворює еволюційну систему. Стани що тривають, коли система залишається самототожною довгий період, через інтерстани змінюються новими станами. Таким чином, формується своєрідний тип континууму, метамерний континуум. Хоча стани різні, але вони залишаються станами все тієї ж системи, що розвивається, виконуються ті самі біосферні функції, змінюються деталі, йде адитивний процес, проте зберігається цілісність, континуум глобального еволюційного процесу. Понад те, наступність, адитивність еволюції — одне з найважливіших її властивостей. Еволюція біосфери є розширенням того, що вміщує: для сучасної біосфери найдавніша протерозойська прокаріотна біосфера, як і гідросферна біосфера кембрію, як і плантій силуру стали частиною того, що вміщує.

Періодичність, наявність окремих етапів — одна з властивостей еволюції біосфери. За словами В. Межжеріна [Mezhzherin 1998] еволюція біосфери є пульсуючим процесом. Ще на початку ХХ ст. періодичність розвитку життя зазначав Д. Соболев [Sobolev 1928]. Він вказував, що «життя на Землі врівноважене у своїх частинах і формах і з довкіллям. Умови життя змінюються, різні зміни, виводячи з рівноваги середовище життя, коливають і рівновагу між землею та життям» (цит. за [Mezhzherin 1998]).

Тут можливе порівняння, запропоноване для екосистем річок екологом та морфологом В. М. Беклемішевим [Beklemishev 1956]. Їхні екосистеми мають метамерну структуру — чергування перепадів та плес. Це одна з основних відмінностей природного водотоку, річки, від штучного каналу, властивість лотичної екосистеми, що самопідтримується. «Метамерність» еволюційного процесу біосфери, порівняння його з річковим руслом є красивою метафорою, але вона відбиває, очевидно, і певні закономірності. Насамперед звернемо увагу на геологічну та палеонтологічну літопис біосфери. Вона розбита на еони, епохи саме тому, що невеликі порубіжні періоди, коли відбувалися глобальні вимирання колишніх форм і поява нових, поділяють більш тривалі періоди спокійного «когерентного» розвитку.

Таким чином, в еволюції біосфери ми маємо справу з трьома типами континуальності. Континуальність першого роду можна спостерігати, коли в межах стану, що триває, існує континуум нерозрізненості: протягом тривалого геологічного часу не відбувалося кардинальних змін у структурі елементів біосфери та зв'язках між ними. При цьому розвиток цілісної біосферної системи відбувається в континуумі другого роду: при безперервності життя біосфери відмінності ранніх і наступних станів дуже суттєві і очевидні. Причому, ці відмінності пов'язані з ускладненням, розвитком, що і є, власне, еволюція. Нарешті, є і континуум третього роду — метамерний, із закономірним чергуванням станів, що тривають певний час. Складна система континуумів є найважливіша риса організованості біосфери у просторі-часі.

4. Організованість метамерної моделі еволюції

Всі, вище викладені принципи грають у створенні еволюційної системи свою роль, але можна назвати кілька ключових. Це:

Спадкоємність, континуальність, безперервність життя як такого, при постійній зміні його змісту — від структури організму до структури біотичних угруповань.

Адитивність, накопичення фундаментальних «завоювань» еволюційного процесу, створення новизни та закріплення їх у структурах та функціях біосфери на ієрархічній основі.

Пульсаційний характер еволюційного процесу визначається взаємодіями між тиском життя та тиском середовища, протиріччям між необмеженістю зростання живого та обмеженістю ємності середовища. Підтримка організованості біосфери та її еволюції потребує енергетичних витрат.

Ускладнення структури біосфери призводить до періодичної зміни її структури, періодичність визначається обмеженістю енергії, що надходить ззовні та необхідністю якісної та кількісної перебудови основних механізмів отримання та трансформації енергії.

Історія біосфери виглядає як метамерна картина зміни станів, що розмежуються інтерстанами в геологічному масштабі часу, останні виглядають як розриви континууму однорідності. Тиск життя та тиск середовища перебувають у певній рівновазі в станах когерентної еволюції, проте тиск життя як активної компоненти системи, призводить до порушення балансу, відбувається криза, вимирання, перерозподіл екологічних ніш, потім починається новий цикл. Адитивність призводить до того, що у кожному циклі баланс встановлюється на все більш високому рівні.

5. Минуле та майбутнє

Умови, з якими сумісне життя, мають обмеження на планеті Земля як у минулому, і у майбутньому [Sorokhtin & Ushakov 2002]. Припинення існування біосфери, як і її поява, виникнення можливе лише як цілого, всієї системи. У цьому неможливо збереження людства поза/після існування ефективно функціонуючої біосфери. Як вважав В. І. Вернадський [Vernadsky 1965] біосфера могла виникнути тільки відразу як цілісна система, хоча б у найпростіших варіантах трансформації енергії, формування обміну, кругообігу речовин. Сценарій «походження життя саме як організмів» неспроможний розглядатися як єдино можливий. Саме тому існує гіпотеза [Margalef 1968] про виникнення біосфери у вигляді протоекосистем, в яких життя існувало в доорганізованих формах. Самовідтворення організмів згодом стало одними з ключових «досягнень» ранньої еволюції. Спираючись на строго емпіричні дані, В. І. Вернадський на початку ХХ ст. дійшов висновку про те, що неорганізованого життя на Землі не існувало, немає цього підтвердження і зараз, відтак, найбільш ймовірний шлях виникнення біосфери міг бути пов'язаний лише з гіпотезою панспермії, перенесення життя як організмів між космічними тілами, на яких умови відповідали необхідним для існування, але й ця гіпотеза не має емпіричного підтвердження, бо транспорт з подальшим розвитком міг статися лише в пулах «фрагментів біосфер». В такому разі, чи не слід звернути увагу на загальне явище відтворюваності? Якщо з'являлися нові планети, нові галактики, чому не може відтворюватися життя, скрізь, де умови відповідають його появі? При величезному розмаїтті умов у космосі, життя в космічних масштабах також має бути дуже різноманітним. Це найвищий рівень біорізноманіття. При цьому ми приходимо, слідом за Р. Маргалєфом [Margalef 1968], Дж. Берналом, М. Камшиловим [Yeskov 2000] до гіпотези про існування життя до появи живих організмів, принаймні в такій формі, якими ми їх знаємо зараз.

В історії біосфери було багато криз різного масштабу. Однак ніколи не існувало феномена глобального впливу на всю систему біосфери одного біологічного виду, як це відбувається з людиною. В. І. Вернадський вважав, що це безпосередньо пов'язане з формуванням сфери розуму — ноосферою, новим станом біосфери [Vernadsky 1945]. Однак повернемося до структури біосфери як складної фрактальної системи, в основі якої знаходиться найменша її частина — екосистема. Людина своєю активністю, своєю працею створила і продовжує створювати нові типи екосистем: техно-, агро- та урбоекосистеми. Оскільки простір планети, звичайно, лімітований, ці антропогенні екосистеми неминуче будуть замінювати природні (як сталося з цілим біогеоном трав'янистих екосистем). Сучасна екологічна криза полягає в тому, що антропогенним, на відміну від природних екосистем, необхідна велика кількість додаткової енергії, яку і постачає людина [Odum 2000]. Однією з найважливіших ноосферних завдань є пошук гармонії, насамперед, енергетичної, між природними та антропогенними екосистемами.

Післямова

Питання еволюції біосфери необхідно розглядати системно. Насамперед, сама біосфера є складною системою. Її фрактальна структура існує за рахунок емерджентних властивостей кожного рівня. Ієрархічність системи підтримується кібернетичним управлінням і взаємозв'язками між тим, що вміщує, і вміщуваним. Еволюція біосфери відбувається в

специфічному просторі-часі, де різні типи континуальності визначають взаємовідносини між станами, що тривають, і трендами розвитку, утворюючи еволюційну систему.

Організованість біосфери має багато проявів. Величезне «біорізноманіття» згорнуто до відносно невеликої кількості функціональних груп, екоморф. Різноманітність екосистем згортається в невелику кількість біогеомів, ще менше — біосферомеронів. Ця блочність має фрактальну природу. Метамерна еволюція це морфопроект: постійне у масштабах свого геологічного біосферного часу оновлення, вихор життя.

Подяки

Дослідження проведено в рамках власної ініціативи автора, поза будь-якими державними програмами. Автор щиро вдячний І. Загороднюку за підтримку та С. Баріновій за надання літератури та корисні дискусії.

References

- Aleev, Y. G. 1986. *Ecomorphology*. Naukova Dumka Publ., Kyiv, 1–423. [In Russian]
- Alimov, A. F. 1991. Structural and functional characteristics of aquatic animal communities. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, **76** (2): 169–182. <https://doi.org/10.1002/iroh.19910760203>
- Barbosa, F. A. R., J. Padisák, E. G. L. Espindola, G. Borics, O. Rocha. 1999. The Cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the River Tietê — Basin, São Paulo State, Brazil. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, Rio de Janeiro, 425–437.
- Beklemishev, V. N. 1928. Organism and community (On the formulation of the problem of individuality in biocenology). *Works Biol. scientific research Institute and Biol. Station Permian University*, **1** (2–3): 127–147. [In Russian]
- Beklemishev, V. N. 1994. *Methodology of Systematics*. KMK Scientific Press Ltd. Moscow, 1–250. [In Russian]
- Beklemishev, V. N. 1956. Biocenoses of the river and river valley as part of the living cover of the Earth. *Trudy VGO*, **7**: 77–97. [In Russian]
- Berg, R. L., A. A. Lyapunov. 1968. Foreword. In: *Cybernetic Questions of Biology*. Nauka, Novosibirsk, 5–13. [In Russian]
- Birk, S., D. Chapman, A. Carvalho [et al.] 2020. Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*. **4**: 1060–8, <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1216-4>
- Bogatov, V. V., A. S. Fedorovsky 2017. *Fundamentals of river hydrology and hydrobiology*. Dalnauka Vladivostok, 1–384. [In Russian]
- Budyko, M. I. 1984. *Evolution of the Biosphere*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1–326. [In Russian]
- Chin, A. The periodic nature of step-pool mountain streams. 2002. *American Journal of Science*, **302** (2): 144–167. <https://doi.org/10.2475/ajs.302.2.144>
- Clements, F. T., V. E. Shelford. 1939. *Bio-ecology*. Willey & Sons Inc., N.Y., 1–459. <https://doi.org/10.2307/1436903>
- Cole, L. C. 1958. The ecosphere. *Scientific American*, **198** (4): 83–96. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0458-83>
- Darwin, Ch. 1907. *Origin of Species. Illustrated selected works. 1*. Yu. Lepkovsky Publ., Moscow, 65–435. [In Russian]
- Delpla, I., A. Jung, C. Baures [et al.] 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, **35**: 1225–1233. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- Franklin, A. 2010. *Is it the 'Same' Result: Replication in Physics*. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, 1–345.
- Gilyarov, A. M. 1990. *Population Ecology*. Moscow State University, Moscow, 1–191. [In Russian]
- Gilyarov, A. M. 1999. 'Pouvoir de la vie': J. B. Lamarck in the prehistory of ecology. *Priroda*, (4): 21–28. [In Russian]
- Gomankov, A. V. 2014. About the report of Y. V. Tchaikovsky 'In what time can biological evolution proceed?' *Lethaea rossica*, **10**: 32–35. [In Russian]
- Hazen, R. M. 2005 Genesis: Rocks, minerals, and the geochemical origin of life. *Elements*, **1**: 135–137. <https://doi.org/10.2113/gselements.1.3.135>
- Kafanov, A. I. 2005. *Historical and Methodological Aspects of General and Marine Biogeography*. Vladivostok University Publ., Vladivostok, 1–208. [In Russian]
- Kamshylov, M. M. 1974. *Evolution of the Biosphere*. Nauka, Moscow, 1–223. [In Russian]
- Kolchinsky, E. I. 1990. *Evolution of the Biosphere. Historical and Critical Essay on Research in the USSR*. Nauka, Leningrad, 1–269. [In Russian]
- Kordyum, V. A. 1982. *Evolution and the Biosphere*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–225. [In Russian]
- Krasilov, V. A. 1977. *Evolution and Biostratigraphy*. Nauka, Moscow, 1–256. [In Russian]
- Krasilov, V. A. 1986. *Unsolved Problems of Evolution Theory*. Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, Vladivostok, 1–110. [In Russian]

- Krassilov, V. A. 2014. Evolution: System Theory. Pensoft, Sofia-Moscow, 1–414.
- Lekevicius, E. 2018. Biodiversity — what for and why? II. In search for a synthetic explanation. *Zhurnal obshchei biologii*, **79** (3): 221–236. [In Russian]
- Levich, A. P. 2009. Preface. Towards understanding the phenomenon of time: constructions of time in natural science. Part 3. *Methodology. Physics. Biology. Mathematics. Theory of Systems*. Progress A — Tradition, Moscow, 5–12. [In Russian]
- Levit, G. S., J. Scholz. 2002. The biosphere as a morphoprocess and a new look at the concepts of organism and individuality. *Senckenbergiana Lethaea*, **82** (1): 367–372. <https://doi.org/10.1007/BF03043795>
- Margalef, R. 1968. *Perspectives in Ecology Theory*. Univ. Chicago Press, Chicago-London, 1–111.
- Markov, A. V., A. V. Korotaev. 2008. Hyperbolic growth of diversity of marine and continental biota of the Phanerozoic and evolution of communities. *Zhurnal obshchei biologii*, **69** (3): 175–194. [In Russian]
- Mezhzherin, V. A. 1998. *Civilization and Noosphere. Book 3. Pulsating Biosphere*. Kyiv, 1–120. [In Russian]
- Mills, B. J., C. H. Konhauser. 2021. Evolution of the structure and impact of Earth's biosphere. *Nature Reviews Earth & Environment*, **2**: 123–139. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00116-w>
- Möbius, K. 1877. *Die Auster und Austernwirtschaft*. Verlag Hempel, Parey, Berlin, 1–127.
- Naveh, Z. 2000. The total human ecosystem: integrating ecology and economics. *BioScience*, **50** (4): 357–61. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0357:TTHEIE\]2.3.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0357:TTHEIE]2.3.CO;2)
- Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, **164**: 262–270. <https://doi.org/10.1126/science.164.3877.262>
- Odum, E. P. 2001. The 'techno-ecosystem'. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, **82**: 137–138.
- Planavsky, N. J. et al. 2021. Evolution of the structure and impact of Earth's biosphere. *Nature Reviews Earth & Environment*, **2**: 123–139. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00116-w>
- Ponomarenko, A. G. 2013. Early stages of the evolution of soil ecosystems. *Zhurnal obshchei biologii*, **74** (6): 420–433. [In Russian]
- Protasov, A. A. 2012. Biogeome as a structural unit of the biosphere. *Biosphere*, **4** (3): 280–285. [In Russian]
- Protasov, A. A. 2016. Biogeomes of hydrosphere and land as elements of the biosphere structure. *Ecology and Noospherology*, **27** (1–2): 5–15. [In Russian] <https://doi.org/10.15421/031601>
- Protasov, O. O. 2017. *Biogeomica. Ecosystems of the World in the Structure of the Biosphere*. Akademperiodika, Kyiv, 1–382. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.333.382>
- Protasov, A. A. 2019. Time diversity and evolution of the biosphere. *Lethaea rossica*, **18**: 82–90. [In Russian]
- Protasov, A. A. 2002. *Biodiversity and Its Estimation. Conceptual Diversicology*. Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine. Kyiv, 1–105. [In Russian]
- Protasov, A. A., Y. I. Uzunov, A. A. Sylaieva., Y. F. Gromova, I. A. Morozovska., T. M. Novosyolova. 2022. Ecological Continuum: Fundamental Concepts and Use in Applied Hydrobiology. *Hydrobiological Journal*, **58**, (5): 3–15. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i5.10>
- Puchkovsky, S. V. 1997. Discreteness of life flows in time: evolutionary significance of bioquants. *Siberian Ecological Journal*, (6): 553–558. [In Russian]
- Rautian, A. S. 2006. The bouquet of evolution laws. *Evolution of the Biosphere and Biodiversity*. KMK, Moscow, 20–38. [In Russian]
- Reimers, N. F. 1992. *Conceptual Ecology*. Molodaya Guardia, Moscow, 1–366. [In Russian]
- Shmalhauzen, I. I. 1968a. *Cybernetic Questions of Biology*. Nauka, Novosibirsk, 1–223. [In Russian]
- Shmalgauzen, I. I. 1968b. *Factors of Evolution*. Nauka. Moscow, 1–451. [In Russian]
- Simanov, A. L. 2022. Evolution of the concept 'State' in natural sciences. *Philosophy Science*, **4** (95): 114–126. [In Russian] <https://doi.org/10.15372/PS20220408>
- Sobolev, D. N. 1928. *Earth and Life. On the Causes of Extinction of Organisms*. Kyiv, 1–75. [In Russian]
- Sokolov, B. S. 2000. Biosphere as a biogeomerida and its biotope. *Biosphere*, **1** (1): 1–5. [In Russian]
- Sorokhtin, O. G., S. A. Ushakov. 2002. *Development of the Earth*. Publishing House of Moscow State University, Moscow, 1–386. [In Russian]
- Starynkevich, K. D. 2013. *The Structure of Life*. Geos, Moscow, 1– 69. [In Russian]
- Tansley, A. D. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, **16** (4): 284–307. <https://doi.org/10.2307/1930070>
- Treiman, A. H., N. L. Lanza, S. VanBommel, J. Berger, et al. 2023. Manganese Iron Phosphate Nodules at the Groken Site, Gale Crater, Mars. *Minerals*, **13**: 1122–1129. <https://doi.org/10.1130/abs/2023AM-389279>
- Vernadsky, V. I. 1923. *Living Matter in the Chemistry of the Sea*. Scientific Chemical-Technical Publishing House. Petrograd, 1–37. [In Russian]
- Vernadsky, V. I. 1926. *Biosphere*. Science Chemical Technical Publ. House, Leningrad, 1–146. [In Russian]
- Vernadsky, V. I. 1945. The biosphere and the noosphere. *American Scientist*, **33** (1): 1–12.
- Vernadsky, V. I. 1965. *Chemical Structure of the Earth's Biosphere and its Environment*. Nauka, Moscow, 1– 412. [In Russian]
- Vernadsky, V. I. 2012a. On the conditions for the emergence of life on Earth. *Selected scientific works of academician V.I.Vernadsky; Vol. 4. Pt. 2*. NASU, Kyiv, 319–334. [In Russian]
- Vernadsky, V. I. 2012b. Leaving matter in the biosphere. *Selected scientific works of academician V. I. Vernadsky. Vol. 4. Pt. 1*. NASU, Kyiv, 139–194. [In Russian]

- Wiener, N. 1958. *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Sovetskoye radio, Moscow, 1–320. [In Russian]
- Wong, M. L., S. Bartlett, S. Chen, L. Tierney. 2022. Searching for life, mindful of life's possibilities. *Life*, **12**: 783–786. <https://doi.org/10.3390/life12060783>
- Wong, M. L., C. E. Cleland, D. Jr. Arend, R. M. Hazen, [et al.]. 2023. On the roles of function and selection in evolving systems// *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, **120** (43): e2310223120. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2310223120>
- Yeskov, K. Y. 2000. *History of the Earth and Life on It*. MIROS-MAIK, Moscow, 1–352. [In Russian]
- Zavarzin, G. A. 2000. Darwinian and non-Darwinian locations of evolution. *Vestnik Russian Academy of Sciences*, **70** (5): 403–411. [In Russian]
- Zavarzin, G. A. 2001. Development of biosphere. *Vestnik Russian Academy of Sciences*, **71**: 988–1001. [In Russian] <https://doi.org/10.1134/S101933160603004X>
- Zavarzin, G. A. 2003. *Lectures on Natural History Microbiology*. Nauka, Moscow, 1–348. [In Russian]
- Zavarzin, G. A. 2004: Metaphysics of relict communities. Actualistic bacterial paleontology in terms of Seinslehreю. *Voprosy filosofii*, (12): 56–69. [In Russian]
- Zavarzin, G. A. 2006. Does evolution make sense of biology? *Vestnik Russian Academy of Sciences*, **76** (36): 522–543. [In Russian] <https://doi.org/10.1134/S101933160603004X>
- Zavarzin, G. A. 2007. Being and development: evolution, succession, haesseitas. *Vestnik Russian Academy of Sciences*, **77** (4): 334–340. [In Russian] <https://doi.org/10.1134/S1019331607020037>
- Zherikhin, V. V. 1986: Biocenotic regulation of evolution. *Paleontologicheskii Zhurnal*, (1): 3–12. [In Russian]