

Рудишин С.Д.

Еволюція екосистем в контексті сучасної природничо-наукової картини світу

Рудишин Сергій Дмитрович, доктор педагогічних наук, кандидат біологічних наук
завідувач кафедри теорії і методики викладання природничих дисциплін
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, м. Глухів, Україна

Анотація. Єдиної загально визнаної моделі еволюції екосистем немає; кожна її наукова версія носить тимчасовий характер. Утворення різних форм організації екосистем, їх еволюція обумовлені кооперативною дією трьох складових: 1) живої матерії, яка еволюціонує; 2) абіотичних компонентів екосистем, що самоорганізуються; 3) вільної енергії екосистем. Ієрархічна структура екосистем Землі: біосфера → біоми → ландшафтні екосистеми → біогеоценози; базовою таксономічною одиницею ієрархії є біогеоценоз (біоценоз+біотоп). В екосистемі індивідуальні характеристики складових узгоджуються поміж собою; випадіння одного з ланцюгів системи змінює структуру і функції інших.

Ключові слова: наукова картина світу; моделі; геохронологія еволюції Землі; організація, функціонування та еволюція екосистем

Постановка проблеми. Праці В. Беклемешева [1], В. Вернадського [2], Ю. Одума [12], М. Реймерса [18] та публікації останніх десятиліть (К. Вьозе [26], М. Голубець [3-5], В. Жеріхин [6], М. Камшилов [8], В. Красілов [9], Є. Кунін [10], С. Мороз [11], Х. Пайтген [13], А. Потіш [7], Т. Работнов [14;15], С. Разумовський [16;17], С. Рудишин [19-22; 25], О. Савінов [23; 24] та ін.) засвідчили, що: 1) природничо-наукова картина світу, як й класифікація, організація, функціонування та еволюція екосистем, є продуктом відкритих дебатів і тимчасового консенсусу (добровільної згоди) вчених щодо об'єктивно-істинного за змістом систематизованого знання; єдиної загально визнаної моделі еволюції екосистем поки не існує; 2) під еволюцією екосистем розуміють зміни їхньої просторової та функціональної організації у часі; 3) принципи синергетики, досягнення біогеохімії й молекулярної філогеноміки, евристика симбіогенетичної парадигми в біології створюють новий погляд на екосистемологію.

Складність пояснення механізмів еволюції екосистем обумовлена тим, що:

1) Утворення та еволюція екосистем пов'язані з геохронологією еволюції планети (таблиця 1), появою феномену життя, виникненням фотосинтезу. Ці питання залишаються на рівні гіпотез. Наприклад, одна з них передбачає, що в основі філогенетичного Древа життя (*Tree of life*) знаходиться т.з. «останній універсальний спільний предок» (*last universal common ancestor, LUCA*) – гіпотетичний загальний предок сучасного біорізноманіття Землі (існував близько 3,6-4,0 млрд. років тому) [10; 22; 26].

2) Екосистема – це комплекс живих організмів, і водночас абіотичне середовище їхнього існування з усіма взаємозв'язками і взаємодією між ними. Отже, в еволюції екосистем одночасно існують дві узгодженні форми розвитку: а) еволюція живих організмів; б) самоорганізація неживої матерії. Доцільно враховувати й те, що екосистеми не розмножуються як живі організми; між екосистемами немає боротьба за існування.

3) Процеси в біосфері породжуються й підтримуються як космічними факторами (сонячним світлом, променями від інших астрофізичних джерел), так й земними (гравітацією, енергією обертання Землі та її супутника Місяця, магнітним полем планети, тепловим випромінюванням надр тощо). Зміна екосистем відбувається внаслідок довготривалої перебудови їхньої структурно-функціональної організації під впливом різних чинників, а саме: змін кліматичних або ґрунтово-гідрологічних умов, землетрусів, гороутво-

рення, міграції материків, напряму філогенезу фіто-, зоо-, міко- та мікроценозів; накопичення в екосистемах запасів вільної енергії для забезпечення дії механізмів захисних чи еволюційних перебудов (зокрема, парникового ефекту та озонового шару атмосфери). Доцільно враховувати й антропогенний фактор щодо змін екосистем.

4) еволюція екосистем – стохастичний процес (переплетіння ймовірнісного і детермінованого); результати еволюції важко передбачувати. Іншими словами, якщо в уявному експерименті «поставити еволюційну платівку наново», то результат буде різнитися від того, що спостерігаємо у реальності (С. Гулд) [10, с. 57]. Доречно також навести слова Х. Пайтгена з його книжки «Краса фракталів»: «Закони природи допускають для подій безліч різних варіантів, але наш світ має одну єдину історію» [13, с. 17].

5) слід розрізняти еволюцію ценозу і сукцесію; остання є повторюваним, запрограмованим процесом зміни угруповання [6].

Методологічні орієнтири щодо дослідження організації, функціонування та еволюції екосистем:

1) Ієрархічна структура екосистем Землі: біосфера → біоми → ландшафтні екосистеми → біогеоценози. Базовою таксономічною одиницею ієрархії є біогеоценоз (біоценоз+біотоп). Мозаїчність біоценозів обумовлюють мікроекосистеми (парцели, синузії, консорції); їх використовують для картування об'єктів природоохоронного, рекреаційного, санітарно-гігієнічного значення [21];

2) будь-яка екосистема – фрактальна структура (*fractal structure*) – має властивості самоподібності, тобто складається з фрагментів, структурний мотив яких (продуценти, консументи, редуценти) повторюється при зміні масштабу;

3) утворення різних форм організації екосистем, їх еволюція обумовлені кооперативною дією трьох складових: живої матерії, яка еволюціонує; абіотичних компонентів екосистем, що самоорганізуються; вільної енергії екосистем.

4) в екосистемі (як саморегулюючої єдності) індивідуальні характеристики складових узгоджуються (синхронізуються) поміж собою; випадіння одного з ланцюгів системи змінює структуру і функції інших;

5) еволюція екосистем можна розглядати як процес створення і заповнення екологічних ніш; еволюція видів переходить в еволюцію екосистем;

6) біосфера – єдина глобальна екосистема, тому змінюється, еволюціонує загалом.

Результати та їх обговорення. В контексті нашого дослідження доцільно розуміти, що механізми функціонування природних екосистем підкоряються *синергетичним постулатам*: 1) системам не можна нав'язувати шлях розвитку; 2) для них існує декілька альтернативних шляхів розвитку; 3) різноманітність виступає в якості початку створення нового; 4) в особливих станах нестійкого середовища (точках біфуркації) малі впливи (наприклад, антропогенні дії) впливають на природні екосистеми. Усе це є аргументами на користь збереження біотичного і ландшафтного різноманіття як гаранта стабільності біосфери.

В таблиці 1 показано розвиток планети у вигляді *п'яти послідовних еволюцій після «Великого вибуху»*: 1) еволюції елементарних частинок; 2) еволюції хімічних елементів; 3) еволюції мінералів; 4) біологічної еволюції (від появи життя); 5) соціальної еволюції (поява і діяльність людини) [19; 20; 25].

Еволюція елементарних частинок починається «Великим вибухом» 15-10 млрд. років тому – прискореним розширенням (упродовж 10^{-43} с) надгустої (10^{80} г/см³) і надгарячої (10^{27} К) точки Всесвіту розміром 10^{-33} см. Результатом вибуху було утворення елементарних частинок, яких відомо майже 300 (кварків,

фотонів, нейтрино, електронів, позитронів, протонів, нейтронів та ін.). Увесь видимий Всесвіт утворився єдиним актом і поширюється до тепер, що супроводжується охолодженням речовини і випромінюваннями. Про таке поширення свідчить зміщення спектральних ліній віддалених галактик у червону частину спектру (т.з. «червоне зміщення») – галактики віддаляються від Землі.

Еволюція хімічних елементів. Після зниження температури починається з'єднання протонів з нейтронами з утворенням ядер важких ізотопів Н, He. Термоядерні реакції утворення хімічних елементів з елементарних частин (протонів) відбуваються за надвисоких температур і тиску, які забезпечують зіткнення однойменно (позитивно) заряджених частинок, що відштовхуються. Таке «водневе згоряння» постійно відбувається на Сонці і забезпечує енергією біосферу для термодинамічної підтримки гомеостазу життя.

Сонце утворилося близько 5 млрд. років тому; народження Землі знаходиться у межах 4,6 млрд. років. Дослідження хімічного складу Сонця методами спектрального аналізу встановило, що майже 75% маси займає Н, близько 24% He, решта 1-2% припадає на інші елементи. Процес перетворення Гелію на більш важкі ядра відбувався в надрах Сонця за умов надвисоких температур (у межах 10^8 °С) та густини 10^3 г/см³: $3^4_2\text{He} = ^{12}_6\text{C}$; $^{12}_6\text{C} + ^4_2\text{He} = ^{16}_8\text{O}$; $^{16}_8\text{O} + ^4_2\text{He} = ^{20}_{10}\text{Ne}$; $^{20}_{10}\text{Ne} + ^4_2\text{He} = ^{24}_{12}\text{Mg}$

Отже, вихідним матеріалом для побудови усіх елементів був Гідроген.

Далі закономірно продовжувалася *еволюція мінералів* – утворення і перетворення оксидів, солей та найрізноманітніших речовин (у тому числі органічних) ще неживої планети, що є предметом вивчення геохімії та геології. Згідно принципу Ле Шательє гаряча планета могла синтезувати кисень задовго до появи фотосинтезу за схемою: $2\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 = 2\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$

Біологічної еволюція і первісні екосистеми. Притримуємося наукової точки зору, що життя не виникло з неживого, а з'явилося у вигляді *первісної екосистеми* з анаеробних гетеротрофів та хемосинтетиків у сприятливих для цього умовах на Землі в архей. Така первинна екосистема була спроможна створити первинні біогеохімічні цикли завдяки трофічному ланцюгу, на кшталт «неорганічні сполуки → хемотроф першого порядку → хемотроф другого порядку → хемотроф-редуцент». Вільного кисню в атмосфері архею не було (або його вміст був мізерний).

Ідея вічності життя наукова, оскільки в ній існує фундаментальне положення біології – живе походить від живого (Франческо Реді), що закріплено положенням клітинної теорії – клітина походить від клітини (Рудольф Вірхов). Такий підхід підтверджує матричний принцип «ДНК – мітоз», який працює універсально і його важко спростувати [19; 20; 25].

Виникнення живого з неживого (за О. Опарінін – Д. Холдейном) потребує критичного перегляду, оскільки існують такі *аргументи проти гіпотези абіогенезу* [20]:

1. Гіпотеза абіогенезу не пояснює механізм появи інформаційної матриці – генетичного коду ДНК (або РНК) з позицій самоорганізації матерії. Це потрібно сприймати тільки на віру. Ген майбутнього покоління буде створено виключно на матриці гена попереднього покоління.

2. Гіпотеза О. Опаріна – Д. Холдейна залишає відкритим питання переходу коацерватних крапель до справжніх живих клітин. Якщо припустити, що «пробіонт» виник з неживого коацервату, то як він вижив у подальшому? Чи міг діяти природний добір при виникненні живого з неживого у «поживному бульйоні», де не було життя у вигляді сформованої екосистеми з її трофічним ланцюгом і боротьбою за існування? Прокаріоти з причин швидкого розмноження за короткий геологічний період вичерпали б біогени з цього бульйону.

3. Жива матерія за Л. Пастером обов'язково складається тільки з хіральних чистих структур (оптичних ізомерів тільки одного класу: «+» або «-»). Усі білки в природі побудовані виключно з лівообертаючих (-) L-амінокислот; ДНК складається тільки з правообертаючих (+) D-рибози. Речовини небіогенного походження хіральні симетричні – «лівих» і «правих» молекул в них порівну. Хіральна чистота є необхідною умовою існування принципу «ДНК-мітоз» у вигляді реплікації нуклеїнових кислот, що обумовлює специфіку живого, свідчить про неможливість одержання живого з неживого, існування якісної межі між живим і неживим. Отже, *коректно говорити не про виникнення життя на Землі, а про створення умов на планеті для появи на ньому життя*, що відбулося майже чотири млрд. років тому.

Ідея вічності життя наукова, оскільки в ній існує фундаментальне положення біології – живе походить від живого (Франческо Реді), що закріплено положенням клітинної теорії – клітина походить від клітини (Рудольф Вірхов). Такий підхід підтверджує матричний принцип «ДНК – мітоз», який працює універсально і його важко спростувати [19; 20; 25].

Таблиця 1. Геохронологія еволюції Землі [19; 25]

<p>Ера нового життя КАЙНАЗОЙ 67 млн. років – до сьогодні</p>	<p>Глобальна екологічна криза. Техносфера. Розвиток науки, культури. Розвиток ремесел, будівництво, селищ, міст. Постійний розвиток нейронних об'єднань головного мозку для запам'ятовування і переробки інформації. Розселення людини по всій планеті. Збирання, полювання, риба-льство, землеробство, скотарство <i>200-150 тис. років</i> – революційна поява людини розумної сучасної – кроманьйонця. Соціальна еволюція людини розумної (<i>Homo sapiens L.</i>) <i>700-50 тис. років тому</i> – на планеті існував неандерталець (поряд із кроманьйонцем); неандерталець – ту-пикова гілка роду Номо. <i>1,5 млн. років тому</i> – популяційний вибух роду Номо у вигляді архантропів – найдавніших людей: пітекант-ропа, синантропа, гейдельберзької людини та ін. Панування покритонасінних рослин, птахів, ссавців</p>
<p>Ера середнього життя МЕЗОЗОЙ 230 – 67 млн.</p>	<p><i>100 млн. років тому</i> – остаточне формування біосфери як єдиної системи обміну речовини, енергії та інфор-мації Перші квіткові рослини <i>200 млн. років</i> – популяційний вибух наземних теплокровних тварин на суходолі</p>
<p>Ера давнього життя ПАЛЕОЗОЙ 570 – 230 млн.</p>	<p>Поширення рептилій <i>300 млн. років тому</i> Перші наземні судинні рослини; наземні амфібії <i>400 млн. років тому</i> – вміст кисню відповідає його рівню в сучасній атмосфері <i>500 млн. років тому</i> – вихід рослин на суходіл Поява перших хордових.</p>
<p>Ера раннього життя ПРОТЕРОЗОЙ 2,6 млрд. – 570 млн. років</p>	<p>Починає формуватися озоновий шар у стратосфері; виникає Розквіт мікроорганізмів, водоростей, безхребетних і безчерепних. Початок ґрунтоутворюючого процесу на суходолі. <i>1 млрд. років</i> тому – створюється окислювальна атмосфера (із низьким вмістом кисню у межах 3-4 %). Поява аеробних бактерій. Виникнення еукаріотичних (ядерних) організмів.</p>
<p>Ера найпершого життя АРХЕЙ 3,6- 2,6 млрд. років</p>	<p>Посилюється вплив парникового ефекту атмосфери, як регулятора клімату <i>2 млрд. років</i> <i>поспіл</i> фотосинтезуючі прокариоти поступово збільшують кількість кисню в атмосфері Землі; утворюються відклади органічного походження (вапняки, графіт та ін.) Домінують одноклітинні прокариоти у відновлювальній атмосфері <i>3 млрд.</i> – поява перших фотосинтезуючих прокариот. Початок формування біорізноманіття біосфери Жива речовина стає творцем і носієм біогеохімічної енергії на планеті Поява перших анаеробних гетеротрофних мікроорганізмів Біологічна еволюція бере свій початок 3,8-3,6 млрд. років тому</p>
<p>ПОЧАТОК</p>	<p><i>4 млрд. років</i> <i>тому</i> – створення умов для появи життя на Землі Еволюція мінералів Утворення планети Земля близько <i>4,6 млрд. років</i> <i>тому</i> Еволюція хімічних елементів: термоядерні реакції синтезу усіх елементів з Гідрогену і Гелію. Утворення Сонця близько <i>5 млрд. років</i> <i>тому</i>. Утворення Сонячної системи з протопланетної речовини-туманності, яка оберталася і стискала Еволюція елементарних частинок <i>15-10 млрд.</i> «Великий вибух»</p>

Жива речовина з'явилася у вигляді анаеробних ге-теротрофних прокариотів-хемосинтетиків, які упро-довж одного мільярду років синтезували органічну речовину за рахунок енергії хімічних реакцій (кисень при хемосинтезі не виділяється). Близько трьох млрд. років тому з'являються перші фотосинтезуючі мікро-організми, що дозволяє живій речовині ще активніше виконувати місію творця і носія біогеохімічної енергії Сонця. Упродовж майже двох мільярдів років археою жива речовина шляхом фотосинтезу поступово збі-льшує в атмосфері концентрацію кисню (у протерозої вона становить вже 3-4%). Атмосфера стає окислюва-льною, що є прикладом екологічної катастрофи.

З появою різних газів в атмосфері починає діяти парниковий ефект, що підтримує життя на поверхні планети.

Виникнення багатоклітинних організмів забезпе-чило більшу стабільність екосистем і поглибило еволю-цію екосистем по автотрофному шляху. Починається

розквіт аеробних мікроорганізмів, водоростей, безх-ребетних і безчерепних; нагромаджуються донні відк-лади в морях і океанах; з'являється озоновий екран, який захищає усе живе від згубного ультрафіолетово-го випромінювання і дає змогу здійснити вихід живих організмів на суходіл (близько 500 млн. років тому). Залишається відкритим наукове запитання: чому усі головні таксоны тварин – їх типи, виникли одночасно в кембрійському періоді (570 млн. років тому, період тривав 70 млн. років), а від їх еволюційних поперед-ників немає слідів? Чому всупереч передбаченням Ч. Дарвіна, так і не знайдено мільярдів викопних решток перехідних форм?

Світовий океан – найдавніша природна екосисте-ма, в якій постійно здійснюється процес обміну та трансформації енергії, речовини та інформації на пла-неті. Унікальність океану є синергетичним проявом об'єднання різних фізичних, хімічних та біологічних процесів в єдину екосистему. Упродовж еволюції Зе-

млі природа Світового океану неодноразово змінювалась під дією різних процесів: сонячного випромінювання, геологічних та геохімічних факторів і, що особливо важливо, під впливом геохімічної роботи живої речовини.

Без уявлення про еволюцію біосфери з геологічної точки зору не можна зрозуміти вплив живих організмів на літосферу, на формування геологічних відкладів. В. Вернадський писав, що граніти – це минулі біосфери, оскільки дослідження розповсюдження Карбону у первинно-осадових породах показали, насамперед, його біогенний характер. Таким чином, еволюційний процес живої речовини безперервно охоплює біосферу упродовж усієї геохронології Землі і відображається в її неживих тілах. Причому, чим більше організми впливають на середовище біосфери, тим інтенсивніше відбувається їх еволюція. На основі цього явища можна говорити, що змінюється, еволюціонує біосфера загалом, а не тільки її окремі частини; еволюція видів переходить в еволюцію біосфери.

400 млн. років тому у палеозої вміст кисню вже відповідає його рівню в сучасній атмосфері. Відбувається розквіт наземних судинних рослин, амфібій. Живі організми разом із косною речовиною поступово формують біокосну речовину – ґрунт. Остаточне формування сучасних параметрів біосфери, як єдиної глобальної екосистеми, відбулося 100 млн. років тому. Починається панування покритонасінних рослин, птахів і ссавців.

Сучасна концепція ієрархічної структури біосфери передбачає її умовний поділ на біоми, ландшафтні екосистеми та біогеоценози. Біоми – великі регіональні або субконтинентальні екосистеми, що характеризуються певним типом рослинності чи специфічною рисою ландшафту. На теперішній час класифікація біомних екосистем містить такі категорії: тундра (арктична і альпійська), лісові екосистеми помірного поясу (тайга, мішані ліси, листяні ліси), тропічні ліси (джунгли), степи, пустелі, болота, водні екосистеми (прісноводні, світовий океан). Горизонтальні межі біомних екосистем найдоречніше визначати за межами фізико-географічних зон; верхню їх межу слід «підняти» до рівня верхньої межі тропосфери, у якій відбувається формування гідротермічного режиму екосистем, а нижньою межею охопити найглибші горизонти залягання підземних вод [3-5; 7; 12; 21].

Відповідно до цього, рівнинна частина України належить до трьох біомних екосистем: мішаних лісів, лісостепової та степової.

Поділ на ландшафти обумовлений переважно геоморфологічним фактором (рельєфом місцевості). Ландшафтні екосистеми – сукупність біогеоценозів на однорідній за геологічними, геоморфологічними, ґрунтово-гідрологічними, кліматичними показниками ділянці земної поверхні. Така сукупність біогеоценозів поєднана між собою генетичними (за походженням), історичними (історія розвитку та освоєння), геохімічними (геохімічне сполучення, стік води, перенесення органічних і мінеральних речовин) та біотичними (міграція тварин, перенесення діаспор і живого рослинного матеріалу) зв'язками й охоплені певним типом господарського використання. Найменшою ландшафтною екосистемою слід рахувати таку тери-

торіальну одиницю, в складі якої виділяється не менше двох споріднених між собою біогеоценозів, найбільшою – природний територіальний комплекс, який за розмірами не перевищує фізико-географічного округу. Прикладами ландшафтних екосистем є невеликі річкові басейни або частини басейнів великих рік, гірських хребтів або гірських схилів, фізико-географічних або геоботанічних районів тощо.

Біогеоценози – конкретні екосистеми, просторові розміри яких збігаються з межами ділянки земної поверхні з однаковими ґрунтовими, гідрологічними та кліматичними умовами, вкритої спорідненим рослинним покривом, що характеризується однотипними взаємовідношеннями між усіма живими організмами та зовнішнім середовищем. Тобто, біогеоценоз = біоценоз + біотоп; де, біоценоз – це фітоценоз, зооценоз, мікоценоз і мікроценоз разом; біотоп – природний однорідний життєвий простір, котрий заселений біоценозом. Базовим блоком (підсистемою) біогеоценозу є фітоценоз.

Соціальна еволюція пов'язана з появою і діяльністю людини (антропогенезом) на нашій планеті. Еволюція людини незвичайна і не вкладається в біологічні межі, окреслені теорією Ч. Дарвіна. На відміну від тварин людина: 1) не пристосовується до природи, а відокремлюється від неї. Знаряддя праці, різні види зброї, вогонь, одяг, синтез нових речовин, що не існують в природі, добування корисних копалин та ін. – це ті прийоми, за допомогою яких вона виокремлюється із навколишнього природного середовища, створює власне штучне; 2) людина вбиває людину, тобто заперечує еволюційний закон біологічного виживання виду – внутрішньовидове знищення у природі недоцільне, це, фактично, самознищення; 3) з усіх живих істот Землі тільки людина залишає після себе хімічне, фізичне «сміття», що забруднює довкілля (у природі все поглинається і трансформується в трофічних ланцюгах), знищує власне середовище існування, власну екологічну нішу. Отже, залишається відкритим запитання: «Якщо людина є частиною природи, то чому частина знищує ціле?».

Соціальна еволюція продовжується у вигляді глобальної екологічної кризи, створення техносфери. Антропогенний вплив на біосферу приводить до незворотних процесів, – знижується її біомаса, змінюється характер акумуляції сонячної енергії в поверхневих оболонках планети, зменшується біологічне і ландшафтне різноманіття та ін. Але екологічні проблеми – це проблеми людини, а не природи. Це окрема тема щодо побудови моделі коеволюційного існування системи «суспільство-біосфера», коли людство навчиться задовольняти свої соціально-економічні забаганки в межах буферної ємності біосфери.

Висновки. Утворення різних форм організації екосистем, їх еволюція обумовлені кооперативною дією трьох складових: 1) живої матерії, яка еволюціонує; 2) абіотичних компонентів екосистем, що самоорганізуються; 3) вільної енергії екосистем. Ієрархічна структура екосистем Землі: біосфера → біоми → ландшафтні екосистеми → біогеоценози; базовою таксономічною одиницею ієрархії є біогеоценоз (біоценоз+біотоп). Мозаїчність біоценозів обумовлюють мікроекосистеми (парцели, синузії, консорції); їх використовують для картування об'єктів природоохоронного,

рекреаційного, санітарно-гігієнічного значення. Екосистема – фрактальна структура – має властивості самоподібності, тобто складається з фрагментів, структурний мотив яких (продуценти, консументи, редуценти) повторюється при зміні масштабу. В екосистемі інди-

відуальні характеристики складових узгоджуються поміж собою; випадіння одного з ланцюгів системи змінює структуру і функції інших; при втраті своїх елементів екосистема формує інші зв'язки, стає екологічно новим природним утворенням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беклемишев В.Н. О классификации биогеоценологических (симфизиологических) связей / В.Н. Беклемешев // Биол. МОИП, отд. Биол. – 1951. Т. 65. – Вып. 2. – С. 3-30.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 576 с.
3. Голубець М.А. Екосистемологія / М.А. Голубець. – Львів : «Поллі», 2000. – 316 с.
4. Голубець М.А. Вступ до геосоціосистемології / М.А. Голубець. – Львів : «Поллі», 2005. – 199 с.
5. Голубець М.А. Середовищезнавство (інвайронментологія). / М.А. Голубець. – Львів: Компанія «Манускрипти», 2010. – 176 с.
6. Жерихин В. В. Эволюционная биоценология: Проблема выбора моделей / В.В. Жерихин // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. – М.: Недра, 1994. – С. 13-20.
7. Екологія : теретичні основи і практикум : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / [А.Ф. Потіш, В.Г. Медвідь, О.Г. Гвоздецький, З.Я. Козак]. – Львів : «Магнолія плюс», 2006. – 324 с.
8. Камшилов М.М. Эволюция биосферы / М.М. Камшилов. – М. : Наука, 1979. – 254 с.
9. Красилов В. А. Нерешенные проблемы теории эволюции / В.А. Красилов. – Владивосток : Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1986. – 140 с.
10. Кунин Е.В. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции / Кунин Е.В.; пер. с англ. – М. : ЗАО Издательство Центрполиграф, 2014. – 527 с.
11. Мороз С.А. История биосферы Земли: у 2 кн. Кн. 1: Теоретико – методологічні засади пізнання / С.А. Мороз. – К.: Заповіт, 1996. – 440 с.
12. Одум Ю. Экология: в 2-х т.; пер. с англ. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.: – Т.2. – 372 с.
13. Пайтген Х.О. Красота фракталов / Х.О.Пайтген, П.Х. Рихтер. – М.: Мир, 1993. – 176 с.
14. Работнов Т.А. Консорция как структурная единица биогеоценоза / Т.А. Работнов // Природа. – 1974. – № 2. – С. 26-35.
15. Работнов Т.А. История фитоценологии: учебн. пособие / Т.А. Работнов. – М.: Аргус, 1995. – 158 с.
16. Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов / С.М. Разумовский. – М.: Наука, 1981. – 232 с.
17. Разумовский С. М. Избранные труды: Сборник научных статей / С.М. Разумовский. – М.: КМК Scientific Press, 1999. – 293 с.
18. Реймерс Н.Ф. Экология: Теория, законы, правила, принципы и гипотезы / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1994. – 366 с.
19. Рудишин С.Д. Основы биогеохимии : навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.] / С.Д. Рудишин. – К. : ВЦ «Академія», 2013. – 248 с.
20. Рудишин Сергій. Модель наукової картини світу / Сергій Рудишин, Інна Коренева // Біологія і хімія в сучасній школі. – 2013. – № 3. – С. 2-6.
21. Рудишин Сергій. Класифікація екосистем : проблеми і перспективи / Сергій Рудишин, Валентина Самілик // Біологія і хімія в сучасній школі. – 2014. – № 5. – С. 3-6.
22. Рудишин Сергій. Систематика живих організмів як наукова і педагогічна проблема / Сергій Рудишин, Валентина Самілик // Біологія і хімія в сучасній школі. – 2014. – № 6. – С. 3-6.
23. Савинов А.Б. Биосистемология (системные основы эволюции и экологии) : учеб. пособие / А.Б. Савинов. – Н.Новгород : Изд-во ННГУ, 2006. – 205 с.
24. Савинов А.Б. Симбиогенез как фактор организации и развития экосистем / А.Б. Савинов // XXVIII Люблинские чтения. Современные проблемы эволюции. – Ульяновск: УлГПУ, 2014. С. 65–75.
25. Rudyshyn S. Development of University Students' Ability to Understand the World Scientific Pattern / Rudyshyn S., Koreneva I. // The Advanced Science Journal. United States. ISSN 22219-74X. – 2014. – ISSUE 5. – P.7-12.
26. Woese C.R. Towards a Natural System of Organisms : Proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eucarya / Woese C. R., Kander O., Wheelis M.L. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1990. – Vol. 87. – P. 4576-4579.

Rudyshyn S.D. The evolution of ecosystems in the context of modern naturalistic world view

Abstract. There is no single, generally accepted and scientifically backed model for the evolution of ecosystems. Each of the existing models bears temporary character. The formation of various forms of ecosystems and their evolution are caused by three main factors, which are: 1) the living matter which evolves; 2) abiotic – self-organizing components – of ecosystems; 3) free energy of the ecosystems. The hierarchical structure of Earth's ecosystems is: Biosphere, biomes, landscape ecosystems, biogeocoenoses. The basic taxonomic unit of this hierarchy is the biogeocoenosis (biocenosis + biotope). In the ecosystem the features of the different components exist in mutual connection and balance. If one of the chain components is lost, it changes the function and structure of all the others.

Keywords: scientific world model; geochronology and evolution of the Earth; organization, functioning and evolution of ecosystems

Рудишин С.Д. Эволюция экосистем в контексте современной естественнонаучной картины мира

Аннотация. На существует единой общепризнанной модели эволюции экосистем; каждая ее научная версия носит временный характер. Образование различных форм организации экосистем, их эволюция обусловлены кооперативной действием трех составляющих: 1) живой материи, которая эволюционирует; 2) самоорганизующихся абиотических компонентов экосистем; 3) свободной энергии экосистем. Иерархическая структура экосистем Земли: биосфера → биомы → ландшафтные экосистемы → биогеоценозы; базовой таксономической единицей иерархии является биогеоценоз (биоценоз + биотоп). В экосистеме индивидуальные характеристики составляющих согласуются между собой; выпадение одной из цепей системы изменяет структуру и функции других.

Ключевые слова: научная картина мира; модели; геохронология эволюции Земли; организация, функционирование и эволюция экосистем