
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.504:574.4+574.5

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ ЕКОСИСТЕМ

Азаров С.І.¹, Сидоренко В.Л.², Задунай О.С.³

¹Інститут ядерних досліджень НАН України
просп. Науки, 47, 03680, м. Київ
azarovsi@i.ua;

²Інституту державного управління у сфері цивільного захисту
вул. Вишгородська, 21, 04074, м. Київ
generals2007@i.ua;

³Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку
та захисту інформації
вул. Максима Залізняка, 6, 03142, м. Київ
a.zadunaj@gmail.com

Розглянуто основні сучасні класифікації екосистем, стисло охарактеризовано недоліки та переваги деяких з них. Проаналізовано різноманітність екосистем і визначено проблеми, напрями й теми досліджень у сфері властивостей екосистем, що, певною мірою, гарантують сталий розвиток. *Ключові слова:* екосистема, рівні екосистем, національна екомережа, структура екосистеми.

Анализ характеристик существующих экосистем. Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Задунай А.С. Рассмотрены основные современные классификации экосистем, кратко охарактеризованы недостатки и преимущества некоторых из них. Проанализировано разнообразие экосистем и определены проблемы, направления и темы исследований в области экосистем, которые, в определенной мере, обеспечивают устойчивое развитие. *Ключевые слова:* экосистема, уровне экосистемы, национальная экосеть, структура экосистемы.

Analysis characteristics of the modern ecosystems. Azarov S., Sydorenko V., Zadunaj O. The basic modern classifications of the ecosystems are considered and briefly described the advantages and disadvantages of some of them. The ecosystems of the uniform and problems, areas and topics of research in the field of ecosystem which to some extent provides a sustainable development are identified. *Keywords:* ecosystem, ecosystem level, national ecological network, ecosystem structure.

*"Якщо ми хочемо, щоб наше суспільство перейшло до цілісного вирішення проблем, які виникають на рівні біомів та біосфери, то повинні перш за все вивчати екосистемний рівень організації."
Ю. Одум [1, с. 24]*

Одним із базових понять екології є поняття про екологічні системи. Екологічна система (далі – екосистема) – основна функціональна

одиниця екології, що поєднує живі організми (біоценоз) та середовище проживання (екотопи), необхідні для підтримки життєдіяльності, причому кожна із цих частин впливає одна на одну. Визначення проблем екосистем є важливим для раціонального зосередження інтелектуальних і матеріальних ресурсів з метою передбачення й усунення негативних наслідків антропогенного впливу на довкілля. Розуміння проблем дозволяє використати досвід минулого й сучасності на користь сталого розвитку природних екосистем у майбутньому.

Оскільки теоретичною основою природоохоронної діяльності є концепція екосистеми, то виникає гостра необхідність класифікації природних екосистем, що забезпечить рішення не тільки теоретичних і практичних проблем, але й забезпечить наукову базу моделювання для надійного і довгострокового прогнозування змін, стійкості, відновлення та оцінки оптимального використання природних екосистем, з якими пов'язана вся діяльність людини.

Результати досліджень

В основі екології лежить концепція екологічної системи. Вперше визначення екосистеми як сукупності живих організмів з їх місцем життя було дано англійським фітоценологом Тенслі в 1935 році.

Екологи використовують також термін «біогеоценоз», запропонований радянським ботаніком В.Н. Сукачовим [2]. Цим терміном позначається сукупність рослин, тварин, мікроорганізмів, ґрунту і атмосфери на однорідній ділянці суші. Біогеоценоз є синонімом екосистеми. Між екосистемами, як і між біогеоце-

нозами, зазвичай немає чітких меж, і одна екосистема поступово переходить в іншу. Великі екосистеми складаються з екосистем меншого розміру.

З 1935 року більшість дослідників розглядають екологічну систему як сукупність взаємовпливових компонентів живої та неживої природи, поєднаних на певній території загальною функціональністю [3]. Але у будь-якому варіанті в екологічній системі головними є зв'язки між складовими, їхній взаємовплив, процеси, що забезпечують функціонування сукупності як єдиного цілого. В зв'язку з цим Р. Ліндемана у 1942 році визначив екологічну систему як систему фізико-хіміко-біологічних процесів, що відбуваються в межах певної просторово-часової одиниці будь-якого рангу [4]. Новий напрям, який можна назвати екологією екосистем, виник і розвивався в зв'язку з розробкою загальної теорії систем і застосуванням системного аналізу. Засновниками цього напрямку вважаються Дж.Е. Хатчінсон, Р. Маргалефа, К. Уатт, В. Петтен, Г. Одум [5, 6].

З точки зору сучасної екології, екосистема – головна структурно-функціональна одиниця, єдиний природний комплекс, утворений живими організмами та середовищем існування, в якому живі та неживі компоненти пов'язані між собою обміном речовин, енергією та інформацією [7].

Поняття «екосистема» не має загальновизнаного тлумачення. Є визначення, що це сукупність різних організмів, які мешкають разом, а також фізичних і хімічних компонентів середовища, необхідних для їх існування або які є продуктами їх життєдіяльності [8]. В екосистемі відбувається повний обмін речовиною,

енергією і інформацією. Або: екосистема – просторово-визначена сукупність живих організмів і середовища їх існування, які об'єднані речовинно-енергетичними та інформаційними взаємодіями.

Загалом будь-яка екосистема для повного уявлення потребує відображення її структури, аранжованого представлення складових, діючих між компонентами зв'язків різної природи тощо. Тому певна конкретна екосистема, зазвичай, представляється значною кількістю графічних та аналітичних залежностей.

За Ю. Одумом [6], екосистеми – це досить великі одиниці: моря, естуарії та морські узбережжя, континентальні водойми, тундра, лісові екосистеми, пустелі і тому подібне. Залежно від масштабу і критеріїв деякі автори розрізняють такі групи екосистем [7, 8]:

- мікроекосистеми – наприклад, повалене дерево і пов'язані з ним рослини і тварини;

- мезоекосистеми – це екосистеми лісу, лук, болот та ін. За такого підходу розрізняють як самостійні екосистему тайги і екосистему широколистяних лісів;

- макроекосистеми – екосистеми суші, океану та інших великих фізико-географічних одиниць.

Першу класифікацію екосистем в Україні для формування національної екомережі створили Я.П. Дідух і Ю.Р. Шеляг-Сосонко [9, 10]. Відповідно до цієї класифікації виявлені природні (що не піддаються постійному і/або сильному антропогенному навантаженню), природно-антропогенні (природні екосистеми, що знаходяться під антропогенним впливом), антропогенно-природні (створені людиною,

але з перевагою природних процесів над антропогенними) і антропогенні (створені людиною і знаходяться під постійним впливом її діяльності) екосистеми. Така супідрядність чотирьох груп екосистем носить утилітарний характер і ґрунтується на ступені співвідношення процесів дигресії і демутації в них. Автори виділяють екосистеми різного рангу: від мікроекосистеми (невелика водойма, стовбур дерева в стадії розкладання, акваріум і навіть калюжка або крапля води); мезоекосистеми (ліс, ставок, річка та ін.); макроекосистеми (океан, континент, природна зона та ін.) і глобальна екосистема – біосфера в цілому.

Фактично всі варіанти класифікації екосистем умовні й певною мірою є суб'єктивними. На земній кулі існує лише одна цілісна екосистема – біосфера. Її диференціація на окремі складові залежить від критеріїв, що приймаються.

На наш погляд екосистемою можна назвати будь-який об'єкт, де живі та неживі компоненти функціонують як єдине ціле завдяки колообігу речовин, що здійснюється з використанням зовнішнього джерела енергії і призводить до створення певної структури, або, іншими словами – це система, елементами якої є біотичні та абіотичні компоненти, пов'язані речовинно-енергетичними та інформаційними потоками, відмежована від аналогічних утворень колообігом речовин певного ступеня замкненості.

Поняття екосистеми не обмежується якимись ознаками рангу, розміру, складності та походження. Тому воно може бути застосовано як до відносно простих штучних (акваріум, теплиця, пшеничне поле), так і до складних природних комплексів орга-

нізмів і середовища їх проживання (наприклад, озеро). Поняття екологічної системи ієрархічне. Це означає, що будь-яка екосистема певного рівня включає низку екосистем попереднього рівня, менших за площею, і сама, в свою чергою є складовою частиною більшої екосистеми.

Екосистеми належать до класу складних систем. Їх особливість визначається низкою чинників:

- неможливість чіткого математичного опису;
- наявність багатьох ланок структурного складу;
- існування значної кількості зв'язків між окремими структурними ланками.

Поняття «складність системи» може бути оцінено на двох рівнях:

- складність на «структурному рівні», яка визначається кількістю елементів системи і зв'язків між ними (морфологічна складність);
- складність на «поведінковому рівні» – набір реакцій системи на зовнішні подразнення або ступінь еволюційної динаміки (функціональна складність).

Визначити, що таке «складна екосистема» на структурному рівні неможливо, але більшість екологів схиляються до думки, що всі екосистеми мають п'ять рівнів ускладнення поведінки.

Складність поведінки екосистем першого рівня визначається тільки законами збереження енергії в межах матеріально-енергетичного балансу (такі системи вивчає класична фізика).

Особливістю екосистем другого рівня є поява зворотних зв'язків; визначальним для них стає принцип гомеостазу, що і задає їм складнішу поведінку (функціонування таких екосистем вивчає кібернетика).

Найскладнішу поведінку мають екосистеми третього рівня, у яких з'являється здатність «приймати рішення», тобто здійснювати певний вибір з низки варіантів поведінки («стимул – реакція»).

Екосистеми четвертого рівня характеризуються наявністю досить потужної пам'яті (наприклад, генетичної) і здатністю здійснювати перспективну активність або проявляти випереджальну реакцію («реакція – стимул») на можливу зміну ситуації – ефект преадаптації.

Нарешті, п'ятий рівень складності об'єднує екосистеми, пов'язані поведінкою інтелектуальних партнерів, яка передбачає багатомодові можливі дії один одного. Цей тип поведінки стосується здебільшого соціальних аспектів взаємодії «людина – природа».

Отже, всі властивості складних екосистем поділяються на прості (адитивні; наприклад, біомаса деякого угруповання) і складні (неадитивні; наприклад, стійкість екосистеми).

Опис будь-якої складної екосистеми складається з трьох характеристик: морфологічної, функціональної та інформаційної.

Складна екосистема, зазвичай, багатофункціональна і її функції можна розподілити зростаючими рангами приблизно таким чином:

- пасивне існування (матеріал для інших систем);
- обслуговування системи вищого порядку;
- протистояння іншим системам або середовищу (виживання);
- поглинання інших систем і середовища (експансія);
- перетворення інших систем і середовища.

Вивчення багатьох явищ у екосистемах дало змогу сформулювати основні закони їх існування:

- в екосистемах реалізується замкнутий колообіг речовин;
- у природних екосистемах близько 90 % енергії використовується на розкладання і повернення речовин у біогеохімічний колообіг.

Екологічні компоненти ландшафту в екології розглядаються як основні матеріально-енергетичні складові екосистем. До них, за Н.Ф. Реймерсом, належать енергія, газовий склад (атмосфера), вода (рідка складова), ґрунтосубстрат, автотрофи-продуценти (рослини) та організми-гетеротрофи (консументи і редуценти) [11].

Екосистем, як таких, у природі не існує, а є лише конкретні предмети, об'єкти, процеси і явища. Екосистема – сукупність елементів, об'єднаних спільними ресурсами, зв'язками, функціональним середовищем і метою існування, яка має відсутні в окремих елементах властивості. Складові елементи екосистем – це будь-які умовно неподільні й самостійно функціонуючі її частини.

Нами пропонується один з можливих способів класифікації екосистем:

- 1) природа (генезис) об'єктів, що класифікують;
- 2) склад;
- 3) складність або організованість;
- 4) ступінь взаємодії з навколишнім середовищем;
- 5) мінливість у часі;
- 6) характер реакції на негативні впливи екологічних факторів.

За першою ознакою класифікації – природні (походження і доступність) – екосистеми бувають:

- фізичні (природні, матеріальні);
- абстрактні (штучні, ідеальні);

– гомогенні, що характеризуються однорідністю й слабкими зв'язками їх складових, зовні схожих, частин;

– гетерогенні, утворені ніби «спаюванням» різних своїх елементів.

За ступенем взаємодії з навколишнім середовищем (обмін потоками енергії, речовини та інформації) екосистеми можуть бути поділені на відкриті, закриті та ізольовані.

На відміну від двох останніх, відкриті екосистеми обмінюються з довкіллям усіма формами матерії, закриті – лише інформацією, а ізольовані – жодною з них. Що стосується четвертої ознаки – складності систем, то всі вони розділені на три групи: прості, складні й великі.

Відмінними властивостями двох останніх вважаються:

- а) унікальність – аналоги помітно відрізняються;
- б) багатоступеневий склад – ієрархічні підсистеми та компоненти;
- в) випадковий характер функціонування й реагування на вплив різних чинників;
- г) багатокритеріальність оцінки стану – необхідність у векторних показниках якості;
- д) слабка структурованість та різномірність утворення їх частин.

Це означає, що основною відмінною ознакою великих екосистем є розміри, що не дозволяє провести їх дослідження без попередньої декомпозиції (розчленування на компоненти) з подальшим агрегуванням (укрупненням) їх елементів. Що стосується істотних ознак складної (тобто дослідження) і, звичайно ж, великої екосистеми, то до них необхідно підходити багатомодельно, тобто є необхідність у сукупності відповідних

моделей і методів та багаторівневий характер їх аналізу й синтезу.

Нарешті, завершальною, п'ятою ознакою, є мінливість екосистеми, тобто характер реакції щодо впливів різних екологічних чинників. Отже, екосистеми можна розділити на статичні й динамічні, а також на пасивні (детерміновані) та активні (стохастичні).

У деяких екосистемах, крім елементів, іноді доцільно виділяти компоненти (підсистеми), під якими розуміють сукупність однорідних елементів, об'єднаних спільними функціями та ресурсами.

Отже, до основних принципів загальної теорії та організації екосистем можна віднести твердження:

1) будь-яка екосистема виступає як триєдність мети, функції і структури; при цьому функція породжує систему, структура ж інтерпретує її функцію, а іноді й мету;

2) екосистеми (ціле) – більше, ніж сума складових її компонентів (частин), оскільки володіє емерджентною (неадитивною) інтегральною властивістю, відсутньою в її елементах або не виведених з їх властивостей без залишку;

3) екосистема не зводиться до суми компонентів і елементів, а будь-яке її механічне розчленування на окремі частини призводить до втрати її істотних властивостей;

4) екосистема визначає природу її частин; поява в екосистемі сторонніх частин завершується їх переродженням, відторгненням або загибеллю;

5) усі компоненти та елементи екосистеми взаємопов'язані й взаємозалежні; вплив на одну частину екосистеми завжди супроводжується реакцією інших;

6) екосистема та її частини непізнавані поза свого оточення, яке доцільно ділити на близьке і далеке; зв'язки всередині екосистеми та між нею і ближнім оточенням завжди істотніше за всі інші;

7) поведінка екосистеми є наслідком взаємодії найсуттєвіших її елементів та зв'язків між екосистемою й навколишнім середовищем;

8) визначальний вплив на функціонування екосистеми чинять ланки її морфології, що включають у себе зворотні зв'язки;

9) стан і узагальнена структура екосистеми є причиною, а не результатом змін, що відбуваються;

10) проблеми створюються переважно всередині самої екосистеми, а не в її оточенні;

11) вивчити складну екосистему – це означає встановити найсуттєвіші відносини між її елементами й навколишнім середовищем; мета вивчення складної екосистеми – аналіз дієвості різних стратегій покращення і не завжди апріорна кількісна оцінка її інтегральних вихідних характеристик;

12) під час дослідження складної екосистеми важливіше розібратися з її узагальненою структурою, ніж намагатися кількісно оцінити й спрогнозувати всі істотні характеристики.

Суттєвою характеристикою будь-якої екосистеми є її склад. Склад екосистеми – це безліч елементів і компонентів, що утворюють екосистему.

Ознакою екосистеми є структурованість, взаємопов'язаність складових її частин, підпорядкованість організації всієї екосистеми до визначеної мети. Обов'язковим компонентом будь-якої екосистеми є складові елементи (підсистеми). Поняття «елемент» умовно й відносно, оскільки будь-який елемент

завжди можна розглядати як сукупність інших елементів. Під елементом мається на увазі підсистема, в середину якої морфологічний опис вже не проникає. Елементний склад може містити однотипні (гомогенні системи) та різнотипні (гетерогенні системи) елементи. Однотипність не означає повну ідентичність і визначає тільки близькість основних властивостей. Важливою ознакою морфології є природа елементів, де можна відзначити матеріальні, енергетичні та інформаційні елементи.

Оскільки всі підсистеми та елементи, з яких складається екосистема, певним чином взаєморозташовані та взаємопов'язані, утворюючи екосистему, можна говорити про структуру екосистеми.

Структура екосистеми – показник, що залишається незмінним у разі реалізації різних форм поведінки, при здійсненні системою різноманітних операцій та ін. Екосистема має, зазвичай, ієрархічну структуру, тобто може бути представлена у вигляді сукупності підсистем різного рівня, розташованих у порядку поступовості. Для аналізу тієї чи іншої конкретної екосистеми достатнім виявляється виділення певної кількості ступенів ієрархії.

Структура екосистеми – це безліч зв'язків та елементів, які мають найважливіше значення при забезпеченні енерго-, масо- та інформаційного обміну не тільки всередині самої екосистеми, але й між нею та навколишнім середовищем. У загальному вигляді під структурою екосистеми можна мати на увазі спосіб організації цілого з частин, якийсь вид упорядкування його окремих елементів і зв'язків.

З огляду на вирішальне значення зональних чинників на розвиток живої речовини Землі, правомірне уявити такий територіальний ряд супідрядних екосистем: елементарні, локальні, зональні та глобальні. Зрозуміло, що багатоклітинні організми являють собою багаторівневу ієрархічну структуру: клітина – субпопуляція клітин – тканина – орган – організм – популяція організмів – екосистема та ін. Для кожного рівня інтеграції характерні свої функції, а в радіобіології та радіоекології – свої критерії виживання.

Екосистема за своєю структурою є системою чітко ієрархічною, що відображається в її життєздатності. Кожний біологічний об'єкт в екосистемі займає визначене місце в ієрархії рівнів біологічної організації.

Екосистеми, як правило, функціонують у просторі й часі. У процесі функціонування екосистеми можуть змінюватися, переходити з одного стану в інший. Розглянемо категорії властивостей екосистеми, які можна розділити на статичні, динамічні та синтетичні.

Статична екосистема – це система з одним можливим станом. Серед статичних властивостей екосистеми можна виділити цілісність, відкритість, внутрішню неоднорідність системи та структурованість.

Під статичними властивостями екосистеми розуміють конкретні стани системи в будь-який, але фіксований період часу. Цілісність екосистеми, як одна зі статичних властивостей, означає, що екосистемі потрібно розуміти як єдине ціле, що відрізняється від інших систем, у тому числі й систем безпеки.

Під відкритістю екосистеми розуміють її взаємодію з іншими систе-

мами або навколишнім середовищем за допомогою входів і виходів.

Крім статичних властивостей екосистема має й динамічні властивості, тобто такі властивості, які змінюються в часі та через інші змінні обставини. До динамічних властивостей відносять функціональність, мінливість системи в часі та існування в мінливому середовищі.

Динамічна екосистема – система з безліччю станів, у якій з часом відбувається перехід з одного стану в інший.

Функціональність екосистеми спрямована на виходи екосистеми як функції часу. Стимульованість екосистеми визначає вплив на екосистему з боку входів ззовні так само, як функцію часу. Мінливість екосистеми в часі та швидкість змін визначають її динаміку. Причому можна й потрібно розглядати при цьому не тільки кількісні зміни, а й якісні показники.

Особливості властивостей екосистеми не обмежуються статичними

і динамічними властивостями. Так само існують і синтетичні властивості, до яких належать емерджентність, неподільність на частини, інгерентність (узгодженість моделі з оточуючим її культурним середовищем) та доцільність.

Екосистема, як складна сукупність взаємопов'язаних складових, з методологічних позицій може розглядатися по-різному, на різних принципах обмежень і умов. Це може бути просторове уявлення, коли, перш за все, враховуються географічні особливості, наприклад, рельєф місцевості, або особливості середовища існування життя – водне, ґрунтове.

Всі екосистеми (рис.) будемо поділяти на три групи:

- 1) природні – зберігають властиві їм природні особливості;
- 2) модифіковані – змінені внаслідок господарської діяльності людини;
- 3) антропогенні (штучні) – повністю створені людиною (посіви, сади та ін.).

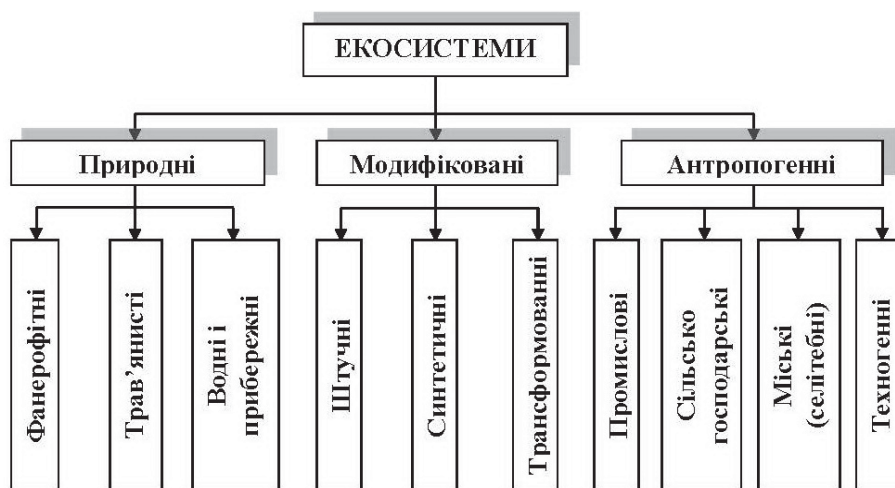


Рис. Класифікація екосистем за найбільш важливими факторами середовища

Природні екосистеми поділяємо на:

- 1) фанерофітні:
 - з домінуванням фанерофітів – лісові, рідколісні, чагарникові;
- 2) трав'янисті:
 - трав'янисті і чагарниково-трав'янисті мезофітного типу;
 - трав'янисті і чагарниково-трав'янисті ксерофітного типу;
 - розвиток яких викликаний геоморфологічними формами;
- 3) водні і прибережні екосистеми:
 - стоячих проточних континентальних водойм;
 - перезволожені.

Модифіковані екосистеми поділяємо на:

- 1) штучні, що зберігаються в недоторканості;
 - 2) синтетичні, що змінюються від діяльності людини;
 - 3) трансформовані, що перетворюються людиною.
- Залежно від роду діяльності

людини антропогенні екосистеми будемо поділяти на:

- 1) промислові (екосистеми металургійного заводу, харчового виробництва та ін.);
- 2) сільськогосподарські (агроценози, птахофабрики, тваринницькі ферми та ін.);
- 3) міські – урбоекосистеми (екосистеми комунального господарства, житлового будинку та ін.);
- 4) техногенні (викопні канали, насипні, греблі та ін.).

Висновки

Отже, розробка і введення стрункої, зрозумілої для фахівців різних областей природокористування конкретних екологічних таксонів в практичну діяльність сільського, лісового, водного, рибного господарства, рекреації і оздоровлення, заповідної справи і багатьох інших суміжних галузей економіки України надає можливість оцінки, моделювання і прогнозу їх трансформації.

Література

1. Одум Ю. Экология / Ю. Одум; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1986. – Т. 1–2. – 704 с.
2. Сукачев В.Н. Построение классификации лесных биогеоценозов / Основы лесной биогеоценологии (под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса). – М.: Наука, 1964. – С. 487–500.
3. Добровольський В.В. Основи теорії екологічних систем: Навч. пос. – К.: Професіонал, 2005. – 272 с.
4. Быков Б.А. О классификации экосистем / Б.А. Быков // Экология. – 1985. – № 4. – С. 71–73.
5. Голубець М.А. Екосистемологія / М.А. Голубець. – Львів: ПОЛП, 2000. – 316 с.
6. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
7. Петлін В.М. Екологічні механізми організації природних територіальних систем / В.М. Петлін. – Львів: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. – 304 с.
8. Архаров Л.М. Екологічні системи / Л.М. Архаров. – К.: Генеза, 1994. – 300 с.
9. Дылис Н.В. Развитие учения об экосистемах за рубежом / Н.В. Дылис // Лесоведение. – 1967. – Т. 3. – С. 66–75.
10. Дідух Я.П. Класифікація екосистем – імператив національної екомережі України / Я.П. Дідух, Ю.Р. Шеляг-Сосонко // Укр. ботан. журн. – 2001. – № 4. – С. 393–403.
11. Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1994. – 366 с.