

УДК 574.2:58

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.46>

## РОЛЬ АДАПТАЦІЙНОЇ СПРОМОЖНОСТІ БІОТИ У ФОРМУВАННІ НАДІЙНОСТІ ЕКОСИСТЕМ

**Корнієнко В.І.** – д.б.н., професор,

директор Української лабораторії якості і безпеки продукції  
агропромислового комплексу,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Воїцицький В.М.** – д.б.н., професор,

провідний науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції  
агропромислового комплексу,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Хижняк С.В.** – д.б.н., професор,

провідний науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції  
агропромислового комплексу,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Мідик С.В.** – к.вет.н., старший дослідник,

завідувач науково-дослідного відділу моніторингу безпеки продукції

агропромислового комплексу Української лабораторії якості і безпеки продукції  
агропромислового комплексу,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Дудченко Н.Я.** – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу

моніторингу якості продукції агропромислового комплексу

Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Полтавченко Т.В.** – к.вет.н., доцент,

завідувач кафедри водних біоресурсів,

Національний університет водного господарства та природокористування

Наведені основні ознаки екосистем як елементарних одиниць біосфери і різні типи класифікації екосистем. Оцінено, за дії яких природних та антропогенних чинників стан екосистем може змінюватися. Відмічено негативний вплив на екосистему забруднення довкілля нехарактерними для нього фізичними, хімічними і біологічними агентами, або перевищення допустимого рівня шкідливих речовин у довкіллі. Розрізняють атмосферне, водне, ґрунтове і біотичне забруднення. Охарактеризовано можливих забруднювачів, а також здатність екосистем до відновлення після їх впливу. У першу чергу, це відновлення продуктивності екосистем, а також збереження біорізноманіття.

Відмічено, що для всіх екосистем надзвичайно суттєвим є включення процесів адаптації для збереження біотою життєдіяльності. Адаптація визначає спроможність екосистем до їхньої надійності – здатності підтримувати стабільність, цілісність, забезпечувати нормальну життєздатність як самих організмів, так і потомство у мінливих умовах довкілля. Акцентується, що надійність є однією з основних характеристик екосистем. Для забезпечення адаптивної відповіді важливим є загальний об'єм відновлених ушкоджень, який визначає надійність екосистеми, тобто не перевищення порогу незворотних негативних змін, які ведуть до загибелі такої системи.

Основна увага приділена проблемі ролі біологічної адаптації (забезпечення можливості життєздатності та життєдіяльності біоти в мінливих умовах середовища перебування) у формуванні надійності екосистем. Акцентується увага на взаємозв'язку біологічної адаптації з надійністю екосистем, оскільки така адаптація – це збереження виживання біоти за біотичних та абіотичних змін.

Необхідність практичної оцінки взаємозумовленості адаптаційної спроможності біоти з надійністю екосистем визначає стан екологічної безпеки.

**Ключові слова:** екосистема, забрудники, відновлення, адаптація, надійність.

**Korniyenko V.I., Voitsitskiy V.M., Khyzhnyak S.V., Midyk S.V., Dudchenko N.Ya., Poltavchenko T.V. The role of the adaptability of biota in forming the reliability of ecosystems**

The main characteristics of ecosystems as elementary units of the biosphere and different types of classification of ecosystems are presented. It is determined under what natural and anthropogenic factors the state of ecosystems can change. The negative impact on ecosystems of environmental pollution by non-specific physical, chemical and biological agents or exceeding the permissible level of harmful substances in the environment was noted. Atmospheric, water, soil and biotic pollution are distinguished. Possible pollutants are characterized, as well as the ability of ecosystems to recover after their impact. First of all, this is the restoration of the productivity of ecosystems, as well as the preservation of biodiversity.

It was noted that for all ecosystems, the inclusion of adaptation processes is extremely important for the preservation of vital activity by the biota. Adaptation determines the ability of ecosystems to their reliability – the ability to maintain stability, integrity, to ensure the normal life activity of both the organisms themselves and their progeny in changing environmental conditions. It is emphasized that reliability is one of the main characteristics of ecosystems. To ensure an adaptive response, the total amount of restored damages is important, which determines the reliability of the ecosystem, i.e. does not exceed the threshold of irreversible negative changes leading to the death of such system.

The main attention is paid to the problem of the role of biological adaptation (ensuring the ability of biota to survive in changing environmental conditions) in the formation of the reliability of ecosystems. Attention is focused on the relationship between biological adaptation and the reliability of ecosystems, since such adaptation is the preservation of the biota survival under biotic and abiotic changes.

The necessity for a practical assessment of the interdependence of the biota adaptive capacity with the reliability of ecosystems determines the state of ecological safety.

**Key words:** ecosystem, pollutants, recovery, adaptation, reliability.

**Постановка проблеми.** Екологічна система або екосистема (грецьк. *oiros* – житло, місце перебування та *systema* – ціле, складене з частин) – основна екологічна одиниця Землі, яка характеризується сукупністю організмів, що мешкають разом, та знаходяться у закономірному взаємозв'язку між собою і довкіллям [1]. Таким чином, утворюється система взаємозумовлених біотичних і абіотичних явищ та процесів. Екосистеми відрізняються за видовим складом і чисельністю організмів, що входять до неї, біомасою, співвідношенням окремих трофічних груп автотрофних і гетеротрофних організмів, інтенсивністю процесів продукування і деструкції органічних речовин тощо [2]. Крім того, середовищу, в якому мешкають живі організми, притаманна сукупність різноманітних просторово-часових подій. Серед них є постійні впливи (тяжіння, фонові радіація, тощо); епізодичні (землетруси, виверження вулканів, опади та ін.); а також ті, які повторюються періодично.

Таким чином, екосистеми – це відкриті, цілісні, самоорганізуючі та саморегулюючі природні системи, основною характеристикою яких є наявність відносно замкнутих, стабільних у просторі й часі потоків речовин та енергії між біотичною і небіотичною частинами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Екосистеми бувають різних типів [3]: монодомінантні (з одним основним видом продуцента, який в них є домінантом, наприклад монокультура); олігодомінантні (з кількома видами продуцентів і консументів–фаготрофів та консументів–сапрофітів, наприклад, ліси помірних широт); полідомінантні (з багатьма видами продуцентів і консументів–фаготрофів та консументів–сапротрофітів, у яких не має чіткої переваги одних видів над іншими, наприклад, тропічний ліс).

За ступенем складності екосистеми розрізняють, наприклад біогеоценоз – співтовариство живих організмів (тварин, рослин, грибів і мікроорганізмів), які спільно проживають на обмеженій території і підтримують єдність з навколишнім

середовищем внаслідок біологічного кругообігу та обміну речовин. Біом – сукупність екосистем однієї природно-кліматичної зони. Це сформований комплекс живих організмів та середовище їхнього існування певної зони поверхні Землі [4].

Класифікуються екосистеми за місцем розташування на земній поверхні і кліматичною зоною, наприклад, степова – екосистема середнього континентального клімату з домінуванням ксерофільних вузьколистих злаків. А також, за своїм призначенням, зокрема, агроекосистеми – несталі системи агроценопопуляцій культивованих рослин на оброблених ґрунтах і контрольованих людиною; екосистеми виведених з господарського обігу природних територій, що охороняються, наприклад, заповідники, національні парки, заказники.

У залежності від сили й ефективності впливу негативних чинників на екосистему та їх надійності вони здатні відновлюватися або змінюватися так, що можуть зникнути і на їх місці з часом виникають нові екосистеми [5].

Надійність екосистем – це здатність (вірогідність) ефективно існувати та функціонувати у випадку зміни умов довкілля за природних чи антропогенних негативних впливів [6]. Вона визначається не тільки надійністю компонентів екосистем, але і залежить від ефективності функціонування систем відновлення та адапційною здатністю біоти – пристосування будови і функцій організмів до умов існування [4]. Адаптація – сукупність особливостей організму, які забезпечують можливість специфічного способу життя у певних умовах довкілля, що надає життєдіяльності організмів рис доцільності [3]. Саме завдяки адаптації біота виживає в екосистемах і самовідтворюється за дії негативних чинників у дозах, які нижчі незворотного порогу (нижче летального порогу) для екосистеми.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на суттєві досягнення у дослідженнях в області екології, все ще залишаються недостатньо вирішеними питання відновлення екосистем (їх біоти) після впливу на них негативних чинників. Розглянуто питання важливості адаптаційних процесів у цьому випадку.

**Виклад основного матеріалу.** За дії як природних, так і антропогенних чинників стан екосистем може змінюватися. Причому, негативно впливає на екосистеми, насамперед, забруднення, внаслідок принесення у довкілля нехарактерних для нього фізичних, хімічних і біологічних агентів, або перевищення природного рівня концентрації цих агентів у довкіллі [7]. Розрізняють атмосферне, водне, ґрунтове і біотичне (за харчовими ланцюгами) забруднення. За своєю природою основні забруднення поділяються на: 1) хімічні – забрудниками є шкідливі хімічні речовини; 2) фізичні (зміна теплового режиму довкілля, порушення природної освітленості довкілля, пов'язане з акустичними коливаннями різної частоти); електромагнітне – забруднення електромагнітними хвилями; радіоактивне – перевищення природного радіоактивного фону; механічне – забруднення механічно інертним сміттям; аерозольне забруднення повітря дрібнодисперсними рідкими і твердими речовинами (наприклад, смок чи просто дим); 3) біологічні – внесення чужих і шкідливих для довкілля живих організмів та продуктів їх життєдіяльності, зокрема, мікробів чи вірусів.

Надзвичайно негативно на екосистему діють такі природні явища як виверження вулканів, тектонічні рухи земної кори, що викликають деформування або розриви її шарів, пожежі, лавини, селеві потоки, повені, урагани тощо.

Згубний вплив для екосистеми призводять дії, що пов'язані з випробуваннями військової зброї, а особливо – військові дії. За вже існуючими екологічними наслідками повномасштабна російсько-українська війна спричинила екоцид [8].

Деструктивні зміни екосистем, що пов'язані з біотою відбуваються внаслідок зміни життєдіяльності біоти, в тому числі ієрархії та чисельності, а також відношення між представниками біоти як в середині угруповання, так і середовищем мешкання.

Ті екосистеми, які уражені не критично, тобто знаходяться у перехідному стані, здатні до відновлення, тобто до відтворення вихідних характеристик (параметрів) системи. Відтворення у загальному розумінні – це повернення до стабільної здатності виконувати свої функції після дії зовнішніх чи внутрішніх чинників [9].

У більшості випадків під відновленням екосистем (їх реставрацією) розуміють доцільну діяльність яка ініціює або прискорює повернення екосистем до «здорового» стану через його погіршення або навіть втрату внаслідок впливу негативних чинників. У першу чергу це відновлення продуктивності екосистем: для агро-екосистем – виробництво і підвищення безпеки харчових продуктів; для водних – постачання якісної прісної води, істивних гідробіонтів тощо. Крім цього, це збереження біорізноманіття, ефективна боротьба зі зміною клімату та багато іншого. Організація Об'єднаних Націй (ООН) проголосила 2021–2030 рр. «десятиліттям відновлення екосистем».

Екологія відновлення – це наука про процеси екологічної реставрації, що включають широкий спектр досліджень: боротьба з ерозією і рекультивування порушених земель, відновлення лісів, використання місцевих ресурсів тощо. Всі ці методи є «доцільними» і застосовуються у переважній більшості для відновлення екосистем, які вже мають явні ознаки майбутньої деградації або вже деградували. Наприклад, наслідок техногенної аварії. У той же час, все більше такі методи застосовуються і для природних екосистем.

Однак, для всіх екосистем (природних і штучних), які раптово не знищені (наприклад, в наслідок аварійних ситуацій), надзвичайно суттєвим є включення процесів адаптації для збереження біотою життєдіяльності. Для забезпечення адаптивної відповіді важливим є загальний об'єм відновлюваних ушкоджень, який визначає надійність екосистеми, тобто поріг незворотних негативних змін, які ведуть до загибелі такої системи.

Адаптація у загальному розумінні – це феномен пристосованості організмів до зміни умов існування, які викликані, зокрема, впливом зовнішніх чинників. Її першою стадією є стрес – неспецифічна відповідь (неспецифічний компонент відповіді) живої системи на екстремальні стимули різної природи, які погрожують збереженню відносної динамічної сталості її організмів за дії зовнішніх і внутрішніх чинників, тобто гомеостазу (грецьк. *homoios* – подібний та *statis* – стан) [10]. Адаптацією є також процеси відновлення біологічної системи (екосистеми) за змінених умов середовища мешкання біоти як дії, що направлені одним об'єктом, наприклад, людиною.

Суттєвим є оцінка екологічного адаптивного потенціалу (лат. *potentia* – сила) – міри пристосувальних можливостей біоти (кожного виду, популяцій тощо) у мінливих умовах довкілля. Це межа модифікаційної мінливості, що обумовлює стійкість екосистем до дії негативних чинників [4].

Можлива адаптація до дії несприятливих чинників лише тоді, коли організми проявляють до цих чинників стійкість – здатність протистояти без порушень життєдіяльності організмів. Синонімом поняття «стійкість» є поняття «резистентність» – процес збереження своїх структурно-функціональних параметрів в умовах взаємодії із зовнішніми негативними чинниками [5].

Внаслідок тривалої еволюції живих організмів на Землі виникло їх загальне пристосування до умов мешкання: температури, атмосфери, водного середовища, тяжіння, сонячного світла, радіоактивного фону та ін. Існує також пристосування до адаптивних біологічних ритмів (добових, сезонних, річних тощо) [11].

Не зважаючи на те, що різні організми пристосовуються до одних і тих самих умов існування по-різному, в їх адаптації можна виділити певні закономірності. За регуляції власних процесів і життєдіяльності до зміни умов існування організми адаптуються активно, а за підпорядкування процесів життєдіяльності цим змінним умовам – пасивно. Один із типів пристосування тварин до змін умов – це уникнення цих змін (зокрема, міграції та кочівлі, впадання у фази спокою тощо).

На початкових етапах пристосування до змін умов мешкання у живих організмів розвивається термінова адаптація, яка виникає дуже швидко у відповідь на раптову зміну чинників середовища мешкання організмів. Вона призводить до певних змін біохімічних, біофізичних, фізіологічних показників, що мобілізують всі сили на виживання. У той же час, довготривала адаптація розвивається поступово (на основі багаторазової реалізації термінової адаптації) як результат сумування наслідків навантажень. Ці зміни обумовлені перебудовою молекулярно-генетичного апарату (геному) в результаті комбінативної мінливості, а також мутацій що приводить до появи нових, корисних для пристосування ознак [10]. Існують також інші види адаптації. Це, зокрема, екзогенна (під впливом зовнішніх чинників) та ендегенна (за рахунок ендегенної ритміки) адаптація. Існує гіперадаптація (підвищена у порівнянні з ординарною), гіпоадаптація (знижена у порівнянні з ординарною). Зворотна адаптація – це здатність гіперадаптуючої дози зовнішнього чинника зменшувати ефект тестованої дози. Abortивна адаптація – відбиття спроби відновлення як мінімум до ординарної адаптованості, а також інші види [10].

Адаптація визначає спроможність екосистем до їхньої надійності – здатності підтримувати стабільність, цілісність, забезпечувати нормальну життєздатність як самих організмів, так і нащадків у мінливих умовах довкілля, у тому числі відновлювати ураження або навіть ліквідувати наслідки. Саме ця здатність екосистем складає сутність їх надійності.

Надійність в екосистемах, як правило, виражається через показник стійкості (англ. *persistence*) – тривале існування, незважаючи на екстремальні внутрішні чи зовнішні впливи [11]. Саме стійкість є формою прояву надійності екосистем у конкретних умовах довкілля.

Крім того, надійність екосистем за нормальних та екстремальних впливів різних чинників визначається наступними їх властивостями. Це надійністю компонентів, типом і характером організації структури екосистем (у тому числі, наявністю структурної функціональної надмірності – резервування), функціонуванням систем відновлення уражень [5]. Вона не тільки забезпечує нормально функціонування екосистем, але і сама формує умови середовища існування цих систем, які були сформовані на попередніх етапах еволюції.

Оскільки під надійністю екосистем у загальному визначенні розуміють їх здатність безумовно виконувати притаманні функції із заданою ефективністю у певному часовому діапазоні, стає зрозумілим її зв'язок з адаптацією, що передбачає відповідний рівень структурно-функціональних можливостей екосистем, який забезпечує їх існування протягом певного часу. Таким чином, у надійності екосистем, а також для її підвищення, важливу роль відіграють процеси адаптації біоти.

**Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.** З огляду на необхідність збереження екологічної безпеки екосистем за впливу на них різноманітних природних і антропогенних негативних чинників, надзвичайно важливим є оцінка їх надійності, розробка і впровадження за необхідності методів її посилення. В цьому плані суттєве значення має адаптаційний потенціал екосистеми, який є індивідуальним для кожної системи з урахуванням застосовуваних принципів. Визначення адаптаційної спроможності екосистем є основою для оцінки їхньої надійності.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Christopherson R.W. *Geosystems: An Introduction to Physical Geography*. Pearson/Prentice Hall. 2009. 728 p.
2. Chapin F.S., Matson P. A., Vitousek P.M. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. *Springer*. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>
3. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія: Охорона природи: словник-довідник. Київ : Знання, 2002. 550 с.
4. Данчук В.В., Ушкалов В.О., Войціцький В.М. та ін. Агротоксикологія: словник-довідник найбільш вживаних агроекологічних термінів / за ред. В. О. Ушкалова. Київ : ФОП Ямчинський О.В., 2021. 494 с.
5. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску. *Екологічна безпека та природокористування*. 2017. № 3–4 (24). С. 50–57.
6. Кутлахмедов Ю.О., Матвєєва І.В., Гроза В.А. Надійність біологічних систем. Київ : Фітосоціоцентр, 2018. 352 с.
7. Жирнов В.В., Савченко Д.А. Біоконверсія відходів. Частина 1: підручник. Київ : ДДП Експо-Друк, 2017. 302 с.
8. Равгані Д., Гупта Г., Харгі Н., Рао П.К., Хусейн К.М. Екологічні збитки внаслідок війни в Україні: перспектива. *Science of The Total Environment*. 2022. № 850. 157932 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
9. Khyzhnyak S., Voitsitskiy V., Dovbysh O., Liaska Y., Korniyenko V. Recovery and reservation in the formation of ecosystem reliability. *EUREKA: Life Sciences*. 2023. № 3. P. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2023.002993>
10. Михєєв А.Н. Модифікація антогенетичної адаптації. Київ : Фітосоціоцентр, 2018. 396 с.
11. Матвєєва І.В. Проблеми надійності екологічних систем : монографія. Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2014. 192 с.