

УЧАСТЬ АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ У ФОРМУВАННІ ЇХ НАДІЙНОСТІ

Войціцький В.М.¹, Корнієнко В.І.¹, Хижняк С.В.¹,
Мідик С.В.¹, Самкова О.П.¹, Якубчак О.М.¹, Ладогубець О.В.²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

²Державний біотехнологічний університет
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків
volodymyrV1950@gmail.com

Акцентується увага на тому, що глобальною екологічною проблемою є забруднення біологічних систем (зокрема екосистем) токсичними речовинами природного і антропогенного походження, в тому числі внаслідок військових дій, що може спричинювати екоцид. Наведена класифікація забрудників та вказується, що вони здатні викликати стрес. Відмічається, що першим необхідним етапом пристосування організмів до змінених умов середовища їхнього мешкання, які спричинені забрудниками, є так звана швидка адаптація, яка за багаторазової реалізації викликає довготривалу адаптацію. Вказується, що адаптація – це загальна властивість біологічних систем. Наводяться основні типи адаптацій. Відзначено, що надійність біологічних систем, чинником якої є стійкість, можлива лише за прояву адаптації.

Надійність біологічних систем проявляється не тільки за дії на них негативних чинників середовища, але і в умовах нормального функціонування. Саме надійність біологічних систем є запорукою забезпечення нормального існування цих систем.

Аналіз таких характеристик біосистем як «адаптація», «стійкість» і «надійність» свідчить, що для оцінки надійності біологічних систем (зокрема екосистем), крім показників відновлення і стану абіотичних факторів для підтримання біоти (кондиціонування), можна використовувати чинник адаптивної здатності, а саме адаптивний потенціал. Адаптивний потенціал – це здатність біологічних систем до процесу пристосування за мінливих умов середовища, що забезпечує їхнє виживання і притаманне їм функціонування. Запропоновано підхід і узагальнюючу формулу розрахунку адаптивного потенціалу біологічних систем. Визначено, що оцінка надійності біологічних систем за адаптивним потенціалом є однією із ланок теорії надійності біологічних систем. *Ключові слова:* біологічна система, забрудники, стрес, адаптація, стійкість, надійність.

Participation of the adaptive potential of biological systems in forming their reliability. Voitsitskiy V., Korniyenko V., Khyzhnyak S., Midyk S., Samkova O., Yakubchak O., Ladohubets E.

Attention is focused on the fact that a global environmental problem is the contamination of biological systems (in particular, ecosystems) with toxic substances of natural and anthropogenic origin, including as a result of military operations, which can cause ecocide. The classification of pollutants is given and it is indicated that they can cause stress. It is noted that the first necessary stage of adaptation of organisms to the changed conditions of their living environment, which are caused by pollutants, is the so-called rapid adaptation, which, with repeated implementation, causes long-term adaptation. It is indicated that adaptation is a general property of biological systems. The main types of adaptations are given. It was noted that the reliability of biological systems, the factor of which is stability, is possible only under the condition of manifestation of adaptation. The reliability of biological systems is manifested not only by the effects of negative environmental factors on them, but also in conditions of normal functioning. It is the reliability of biological systems that is the key to ensuring the normal existence of these systems.

The analysis of such characteristics of biosystems as “adaptation”, “sustainability” and “reliability” shows that to assess the reliability of biological systems (in particular, ecosystems), in addition to indicators of recovery and the state of abiotic factors for the biota (conditioning), it is possible to use the factor of adaptive capacity, namely adaptive potential. Adaptive potential is the ability of biological systems to adapt to changing environmental conditions, which ensures their survival and their inherent functioning. An approach and a generalizing formula for calculating the adaptive potential of biological systems are proposed. It was determined that the assessment of the reliability of biological systems according to the adaptive potential is one of the links of the theory of the reliability of biological systems. *Key words:* biological system, pollutants, stress, adaptation, stability, reliability.

Постановка проблеми. Кожен живий організм, який становить собою відкриту систему, існує тільки за умов постійної безперервної залежності від зовнішніх та внутрішніх чинників.

Життя (грець. *bios*, англ. *life*) – це явище, яке визначається як певна форма існування матерії. Для нього характерна наступна сукупність ознак: самовідтворення, саморегуляція, цілеспрямованість, самоорга-

нізація, багаторівневість, збереження і передавання нащадкам спадкової інформації, фізіологічні процеси (ріст, розвиток, харчування, дихання, травлення, виділення, подразливість, збудливість тощо). Життя можливе тільки за певних (оптимальних) фізико-хімічних умов довкілля (температури, тиску, вологості, гравітації, опромінення та ін.), а їх вихід за оптимальні межі створює загрозу для організмів.

Фундаментальною властивістю живого – є адаптація – це процес, що веде до підвищення вірогідності виживання і репродукції, а також пристосування до умов довкілля, які можуть змінюватись [1].

Порушення в екосистемах, зокрема внаслідок їх забруднення, – є глобальною екологічною проблемою, оскільки це небезпечно для біоти [2]. Природними (виникають без участі людини) джерелами забруднень є, насамперед, наслідки вивержень вулканів, тектонічні зрушення земної кори та її дегазація, селеві потоки, урагани, повені, природні пожежі тощо.

Антропогенні (пов'язані з діяльністю людини) джерела забруднень довкілля поділяються на: промислові (металургійні, хімічні, електрохімічні підприємства, з видобутку корисних копалин тощо); сільськогосподарські (використання отрутохімікатів і надлишку добрив, скиди відходів тваринництва та інше); підприємства з отримання енергії за рахунок спалювання викопного палива (вугілля, нафти, газу, торфу, сланцю та деревини); викиди і скиди транспортного комплексу; звалища промислових і побутових відходів тощо.

Надзвичайно небезпечними для довкілля і його мешканців (зокрема і людини) є забруднення, які спричинені військовими діями. Повномасштабна війна російської федерації проти України завдала непоправної шкоди українському довкіллю, що дозволяє говорити про екоцид [3]. Основні екологічні наслідки – це забруднення довкілля продуктами детонації вибухових речовин, залишками палива збитих ракет, гелікоптерів, літаків, дронів, підбитих танків та інших військових транспортних засобів, розливи палива та технічних рідин. Це також потрапляння у довкілля сильнодіючих отруйних речовин при ушкодженні та руйнуванні екологічно-небезпечних підприємств, нафто- та газопроводів, комунальних комунікацій, численні пожежі, наслідки руйнування греблі Каховської ГЕС та ін. Всі екологічні наслідки військових дій неможливо усвідомити до їх закінчення.

За своєю природою усі забрудники поділяються на:

1) хімічні – це шкідливі хімічні речовини та сполуки;

2) фізичні – в основному, це різноманітні випромінювання (електромагнітні, акустичні, світлові, теплові, радіоактивні), а також механічне забруднення, зокрема, хімічно інертним сміттям;

3) фізико-хімічні (змішані), зокрема, аерозольне – це забруднення повітря дрібнодисперсними рідкими і дрібними твердими речовинами. Прикладом є промисловий смог, дим;

4) біологічні – це чужорідні та шкідливі для довкілля організми і продукти їхньої життєдіяльності (зокрема, харчові відходи, відмерлі організми, тваринні екскременти та ін.). Це також генетично модифіковані організми (ГМО).

Забруднені екосистеми здатні відновлюватися, частково змінюватися або зникати, чи замінюватися іншими, принципово відмінними.

Актуальність дослідження. До біологічних систем належать біологічні об'єкти різного рівня складності – це клітини, тканини, органи, організми, популяції, біоценози та екосистеми, що мають кілька рівнів структурно-функціональної організації. Для оцінки здатності біологічних систем, зокрема екосистем, відновлюватися після дії несприятливих чинників довкілля (забрудників) чи при оцінці надійності екосистем, запропоновано використовувати адаптивний підхід, що характеризується адаптивним потенціалом. Це поняття визначається як здатність системи пристосовуватись за мінливих умов середовища, що забезпечує їхнє виживання і притаманне їм функціонування.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Глобальною екологічною проблемою є забруднення довкілля токсичними речовинами. Ця проблема має антропоцентричний характер, оскільки негативні зміни в довкіллі оцінюються щодо умов існування людства.

Внаслідок забруднення біологічні системи здатні до відновлення повністю чи частково (в певних межах). У першу чергу за участі процесів адаптації, що і визначає надійність цих екосистем. Розробка методів і підходів оцінки надійності таких систем за їхнім адаптивним потенціалом є запорукою можливості збереження сталості біологічних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми адаптації і надійності біологічних систем, які є визначальними в життєздатності і життєдіяльності цих систем, широко досліджуються. Важливою темою є встановлення чинників, які стимулюють надійність біологічних систем, підвищують їх ефективність. Результати вивчення адаптивних можливостей окремих видів живих істот та їх угруповань знайшли своє відображення у чисельних публікаціях [4–8]. Недоліком є вивчення процесів адаптації переважно на підставі досліджень кількох рівнів організації біологічних систем. Однак, адаптація одночасно відбувається на всіх рівнях організації біологічних систем. Адаптивні перебудови на рівні особин полягають у біохімічній, фізіологічній та поведінковій адаптації, на рівні популяції – у вибірковій репродукції генотипів, на рівні біогеоценозу – в зміні видів-домінантів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для вирішення проблеми збереження життєздатності і функціональної активності біологічних систем за впливу на них негативних чинників довкілля суттєвим є розробка підходів і методів оцінки можливості цих систем (екосистем, зокрема) до повного чи часткового відновлення, визначення спроможності адаптивних процесів забезпечити надійність біологічних систем за мінливих умов довкілля. Це має принципове значення для створення теорії надійності біологічних систем, яка інтенсивно розробляється.

Новизна. Із залученням даних наукової літератури проведено аналіз понять «адаптація» і «надійність» біологічних систем (екосистем, зокрема), показана їх тотожність у плані характеристики систем до негативних умов довкілля, що змінюються. Визначена можливість за адаптивною здатністю (адаптивним потенціалом) систем оцінювати їхню надійність

Методологічне або загальнонаукове значення.

Показана можливість оцінки надійності біологічних систем при дії негативних чинників за адаптивним потенціалом, який є мірою пристосувальних можливостей в мінливих умовах довкілля.

Викладення основного матеріалу. Екологічні токсичні забрудники потрапляють у довкілля різної складності (біосферу, біоценози, екосистеми), а потім надходять до організмів, де реєструються в органах, тканинах, клітинах [7]. Для біологічної системи характерно те, що це відкрита, відносно стабільна система, умовою існування якої є постійний обмін речовин, енергії та інформації як між підсистемами (частинами системи), їх елементами так і з довкіллям. Однією із специфічних особливостей біологічної системи є такий спосіб реагування на біотичні чи абіотичні чинники, що вона може змінити свій початковий стан чи здатна також пристосуватися до змінених умов існування. У той же час найчастіше є напружена життєдіяльність організмів екосистеми, оскільки вони живуть в умовах, де чинники середовища мешкання постійно змінюються. Тобто, для організмів, щоб зберегти відносно динамічну сталість внутрішнього середовища (гомеостаз) за дії різних зовнішніх і внутрішніх чинників, та повернутись в зону динамічної сталості, як правило, вже недостатньо постійно діючих процесів саморегуляції. З метою вижити у змінених умовах необхідно мобілізувати усі можливості організму, у тому числі приховані, які призначені для забезпечення виживання у змінених умовах, пристосування до дії нових чинників довкілля [7].

За умов виникнення напружених ситуацій життєдіяльності відповідно організму є прояв його реакції – стрес (англ. *stress*: напруга). Він є першим необхідним етапом пристосування організмів до змінених умов, етап термінової (швидкої) адаптації, який спричиняє на основі багаторазової реалізації довготривалу адаптацію, що пов'язана з виникненням в організмі структурних і функціональних змін [7, 8].

Таким чином, адаптація (лат. *adaptation*: пристосування) – це сукупність процесів (реакцій) живих організмів, щодо формування та розвитку нових біологічних ознак відповідно до змін умов довкілля [9]. Адаптація – загальна властивість усіх біосистем, яка реалізується на кожному рівні їх організації: клітинні адаптації, організмові адаптації, популяційні адаптації, видові адаптації, екосистемні адаптації [9, 10]. Вона проявляється через розвиток специфічних структур, процесів, поведінкових реакцій тощо, які виникли в ході еволюції шляхом природного добору,

а також можливе внаслідок селекції та генної інженерії [5].

Адаптація можлива лише тоді, коли організми здатні проявляти стійкість (англ. *stability*) здатність протистояти дії несприятливих чинників за мінливих умов довкілля, зберігаючи свою структуру і характер функціонування у просторі та часі [10]. З іншого боку стійкість систем – це здатність адаптуватися до умов, що змінюються, не знижуючи життєвоважливий допустимий рівень, підтримувати існуючий режим функціонування за дії негативних чинників середовища. Це фактор надійності (англ. *reability*) організмів [9]. Надійність біологічних систем проявляється не тільки в умовах впливу на них негативних чинників, але і в умовах нормального функціонування, а головне – його забезпечує. Вона обумовлена стійкістю, стабільністю і живучістю цих систем [6, 11, 12].

Сутність надійності біологічних систем за впливу на них різноманітних негативних чинників обумовлює, також, їх здатність до відновлення (повернення до попереднього стану) та кондиціонування (підтримування абіотичного середовища існування) [6, 11, 12, 13].

Враховуючи зв'язок надійності біологічних систем з їхньою здатністю до адаптації, то надійність таких систем може бути оцінена за адаптивною здатністю, що характеризується адаптивним потенціалом. Адаптивний потенціал (від лат. *potentia*: сила) – міра пристосувальних можливостей в мінливих умовах довкілля. Високий адаптивний потенціал забезпечує швидку адаптацію біологічних систем до нових умов довкілля. Таким чином, адаптивний потенціал – це [14]:

- 1) ознаки біосистем, їх підсистем і окремих елементів, що забезпечують виживання та функціональну діяльність;
- 2) здатність біосистем, їхніх підсистем, окремих елементів до процесу пристосування параметрів систем за мінливих умов середовища, що забезпечує виживання і притаманне їм ефективне функціонування;
- 3) здатність біосистем, їх підсистем, окремих елементів забезпечувати цільову діяльність у середовищі, яке є джерелом загроз до існування;
- 4) показник ступеня адаптації до умов, які постійно змінюються під впливом дії несприятливих чинників.

Для оцінки адаптивного потенціалу можна застосувати формули, які враховують коефіцієнти відповідності значущих адаптивних ознак у відповідь на дію адаптивних чинників з урахуванням їхньої особливості. Узагальнена формула для розрахунку адаптивного потенціалу (АП):

$$АП = \sum_{i=1}^n \epsilon_i B_i - \sum_{j=1}^m \beta_j C_j$$

B_i – параметр (показник) адаптації;

ϵ_i – коефіцієнт відповідності, який залежить від внеску (ваги) параметру адаптації (B_i);

C_j – параметр (показник), який нівелює дію адаптивних показників;

β_j – коефіцієнт відповідності, який залежить від внеску (ваги) параметру нівелювання адаптації (C_j);
 $i = 1, 2, \dots, n$;

j – номер параметру нівелювання адаптації (C_j): $j = 1, 2, \dots, m$.

Значення адаптивного потенціалу від 0 до 1 ($0 < \text{АП} < 1$) або у % від 0 до 100%. Коефіцієнти відповідності ξ_i та β_j змінюються, як правило, від десятих часток одиниці до тисячних часток.

У разі використання адаптивного потенціалу для оцінки надійності біологічних систем необхідно враховувати:

1) при дії негативних чинників (зокрема, токсичних забрудників) виникають різноманітні ураження, які можуть носити неоднаковий характер в залежності від ієрархічного положення організмів у системі;

2) за дії одночасно кількох мінливих чинників середовища на біологічні системи, можливі ефекти синергізму, антагонізму;

3) формування адаптивної здатності включає виникнення, розвиток і перетворення пристосувань до мінливих умов довкілля, що потребує значного часу.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Визначення адаптивного потенціалу біологічних систем є складовою частиною підходів до оцінки надійності цих систем за дії негативних мінливих чинників довкілля. Оцінка надійності біологічних систем, теорія якої ще далека від остаточного вирішення, важлива не тільки для збереження біорізноманіття, але і для людства в цілому. Визначення ролі адаптаційного потенціалу у формуванні надійності розширює уявлення про взаємозв'язок процесів адаптації і надійності.

Література

1. Лежачіус Є.К. Елементи загальної теорії адаптації. – Вільнюс: Моклас, 1986. 273 с.
2. Жирнов В.В. Біоконверсія відходів: підручник. Частина I. / В.В. Жирнов, Д.А. Савченко Київ: ДОП «Експо-Друк», 2017. 302 с.
3. Герасимчук Л.О. Військові дії як чинник утворення відходів *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 305–312. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.41>
4. Ісаєнко В.М. Екологічна біохімія: навчальний посібник / В.М. Ісаєнко та ін. Київ: Вид-во НАУ, 2005. 440 с.
5. Орлюк А.П. Адаптивний і продуктивний потенціали пшениці / А.П. Орлюк, К.В. Гончарова. – Херсон: Айлант, 2002. 276 с.
6. Матвеева І.В. Проблеми надійності екологічних систем. Київ: Вид-во НАУ, 2014. 192 с.
7. Войціцький В.М. Глобальне здоров'я, якість і безпека життя: довідник-монографія / В.М. Войціцький та ін. К.: «Компринт», 2019. Т. 3. 640 с.
8. Барабой В.А. Фізіологія, біохімія і психологія стресу/ В.А. Барабой, А.Г. Резніков. Київ: «Інтерсервіс», 2013. 314 с.
9. Данчук В.В. Агроєкологія: словник-довідник / В.В. Данчук та ін. Київ: ФОП Ямчинський, 2021. 494 с.
10. Мусієнко М.М. Екологія: Охорона природи: словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. К.: «Знання», 2002. 550 с.
11. 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.
12. Войціцький В.М., Хижняк С.В., Данчук В.В., Ушкалов В.О. Надійність агроєкосистем: підходи щодо її оцінки та підвищення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 118. С. 327–333.
13. 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. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2023.002993>
14. Кизим М.О. Адаптаційний потенціал забезпечення стійкого функціонування реального сектору економіки України в умовах глобальної нестабільності/ М.О. Кизим та ін. Харків: ФОП Лібуркіна Л.М., 2021. 176 с.