
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 911.1+504.054.36

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.31>

ПОКАЗНИК СТІЙКОСТІ ЯК ЗДАТНІСТЬ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ГЕОСИСТЕМИ ДОЛАТИ НАСЛІДКИ ШКІДЛИВИХ ВПЛИВІВ І ЗМЕНШУВАТИ РИЗИК РУЙНУВАННЯ КОМПАРТМЕНТУ

Бойко Т.Г.¹, Руда М.В.¹, Паславський М.М.², Джумеля Е.А.¹

¹Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79000, м. Львів

²Національний лісотехнічний університет України
вул. Генерала Чупринки, 103, 79057, м. Львів
tgbo@lp.edu.ua, mariia.v.ruda@lpnu.ua, elvira.a.dzhumelia@lpnu.ua,
mykhailo.paslavskiy@nltu.edu.ua

Дослідження спрямоване на узагальнення компартментальної концепції забезпечення якості функціонування просторово-часової геосистеми, уніфікацію екологічних і захисних вимог до її компартментів та конкретизацію критеріїв оцінки довкілля. Представлено методологічні аспекти оцінки шкідливого антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, спрямовані на нормування і визначення показника стійкості екосистеми. Обґрунтовано доцільність застосування такого показника. Показано, що з допомогою оцінки показника стійкості є змога визначати екологічні зміни, які можуть виникати в результаті антропогенної діяльності, а також визначати значимість цих змін. Для адекватного моделювання стійкості запропоновано ранжувати форми стійкості як відгук компартмента на різну інтенсивність дії впливних факторів в просторово-часовій геосистемі. З огляду на відгук компартмент системи може варіювати між станами відновлення, порушення та катастрофи. Систематизовано різноманітність компартментів, що входять до складу просторово-часової геосистеми, та їх відгук на розмаїття наслідків антропогенного впливу. Показано, що стійкість не може приймати абсолютне значення. Тому, окремий компартмент в системі лише може бути стійкіший, ніж інший, щодо дії окремого фактора чи синергійної дії кількох факторів в певних умовах. З метою оцінки стійкості та масштабів трансформації компартменту у просторово-часовому вимірі запропоновано використати типові ознаки, доповнені ступенем гемеробності та співвідношенням між типами стратегій поведінки видів. Введено поняття ризику руйнування компартменту, наростання значення якого свідчить про можливість настання катастрофи. Представлено напівкількісну експертну методику та шкалу оцінювання стійкості до шкідливого антропогенного впливу в компартменті, а також оцінку залишкового впливу, як ризику втрати компартменту. Належність до кожного з п'яти класів стійкості компартментів з врахуванням їх масштабів, тривалості та інтенсивності впливу запропоновано визначати на основі комплексної оцінки, що враховує експертно визначену вагу кожного окремого показника. *Ключові слова:* екологічне регулювання, компартмент просторово-часової геосистеми, екологічна небезпека, шкідливий вплив, стійкість екосистеми, градієнт зміни стійкості.

Stability index as the ability of the space-time geosystem to overcome the consequences of harmful influences and reduce the risk of compartment destruction. Boyko T., Ruda M., Paslavskiy M., Dzhumelia E.

The research is aimed at the generalization of the compartmental concept of ensuring the quality of functioning of the space-time geosystem, the unification of environmental and protective requirements for its compartments, and the specification of environmental assessment criteria. Methodological aspects of assessing the harmful anthropogenic impact on the surrounding natural environment are presented, aimed at normalizing and determining the indicator of ecosystem stability. The expediency of using such an indicator is substantiated. It is shown that with the help of the assessment of the sustainability indicator, it is possible to determine ecological changes that may occur as a result of anthropogenic activity, as well as to determine the significance of these changes. For adequate modeling of stability, it is proposed to rank the forms of stability as a response of the compartment to different intensity of influence of influential factors in the space-time geosystem. Based on feedback, the system compartment can vary between recovery, disruption, and disaster states. The variety of compartments that make up the space-time geosystem and their response to the variety of consequences of anthropogenic influence is systematized. It is shown that stability cannot take on an absolute value. Therefore, a separate compartment in the system can only be more stable than another in relation to the action of a single factor or the synergistic action of several factors under certain conditions. In order to assess the stability and scale of the transformation of the compartment in the space-time dimension, it is proposed to use typical features supplemented by the degree of hemerism and the ratio between the types of strategies of species behavior. The concept of the risk of compartment destruction is introduced, the increasing value of which indicates the possibility of a disaster. A semi-quantitative expert methodology and a scale for evaluating resistance to harmful anthropogenic influence in the compartment, as well as an assessment of the residual impact as a risk of losing the compartment, are

presented. Belonging to each of the five classes of stability of compartments, taking into account their scale, duration and intensity of influence, is proposed to be determined on the basis of a comprehensive assessment that takes into account the expertly determined weight of each individual indicator. *Key words:* ecological regulation, compartment of the spatio-temporal geosystem, ecological hazard, harmful effect, ecosystem stability, gradient of change of stability.

Постановка проблеми. В будь якій просторово-часовій геосистемі (ПЧГ), насиченій урбаністичними та іншими комплексами, особливе значення має стійкість цієї геосистеми, як здатність долати антропогенні забруднення. Базовим механізмом регулювання стану геосистеми є екологічна стандартизація, що має на меті встановити такі обов'язкові норми, правила та вимоги щодо стану, використання і гарантування екологічної безпеки ПЧГ, які б не перевищували можливості її саморегуляції і відновлення. Зокрема є потреба в розробленні і впровадженні науково обґрунтованих критеріїв гранично допустимого шкідливого впливу на геосистему, а також встановлення норм і правил природокористування на основі встановлених критеріїв. Результатом такої діяльності є встановлення кількісних значень складових показника стійкості, які давали б змогу підтримувати антропогенний вплив на ПЧГ в допустимих межах, за яких механізми саморегуляції в поєднанні з природоохоронними заходами забезпечували процес її відновлення і не призводили до деградації.

Актуальність дослідження. Встановлення меж змін факторів екологічно стійкого середовища запропоновано на початку 1980-х років канадськими дослідниками, зокрема в угоді з контролю транскордонних забруднень з США. Надалі ця концепція була розвинена в Скандинавії, де запропоновано термін «критичного навантаження» [9]. Були зроблені спроби розширення концепції критичних навантажень не тільки для кислотних випадань, але і для важких металів [10].

Автор праці [11] вважає необхідним розглядати екологічне нормування в рамках загальної проблеми стійкості екосистем. При цьому допустимим впливом повинно бути таке, яке не призводить до втрати стійкості.

Поданий аналіз вказує на доцільність застосування показника стійкості щодо оцінки стану будь-якої екосистеми. Теоретичні основи стійкості обґрунтовані в класичних працях Пуанкаре, Ляпунова, Лагранже та інших, які ґрунтуються на оцінках засвоєння і трансформації енергії та інформації, тобто законах термодинаміки функціонування екосистем, синергетики, показниках ентропії у відкритих системах. Авторами доказано, що внаслідок зовнішніх негативних впливів природний розвиток екосистем характеризується послідовною зміною їх станів. Здатність долати наслідки таких зовнішніх негативних впливів будемо називати стійкістю просторово-часової геосистеми.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Перспективний підхід авторів до визначення допу-

стимості змін в екосистемах полягає в твердженні – якщо порушення в екосистемах під дією антропогенних навантажень істотно слабкіші від можливих природних змін і не призводять до незворотних наслідків, то такі екологічні порушення слід визнати допустимими [5]. Звідси випливає наступний універсальний критерій – правомірність зниження продуктивності екосистеми на 20-25%. Також можна вважати перспективною гіпотезу про універсальність реакцій організмів на будь-які несприятливі зміни середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематикою нормативного забезпечення в екології займалися С.А. Балюк, Ю.Р. Пузаченко, О.Ф. Садиков, Т.Д. Александрова, А.І. Фадєєв, М.М. Мірошніченко та інші, однак, до сьогодні не опрацьовані уніфіковані вимоги щодо просторово-часової моделі здатності геосистеми протидіяти шкідливим впливам, відсутня єдина номенклатура складових показника стійкості і науково обґрунтовані підходи до їх визначення, відсутня їх еко-системологічна класифікація та загальноприйняті терміни, зокрема для характеристики властивостей ПЧГ з різноманітними поєднаннями біогеоценозів, відсутні нормовані значення складових показника стійкості ПЧГ тощо, що обумовлює актуальність цього дослідження.

Базовим для становлення і розвитку екологічного нормування можна вважати положення праці [1] про те, що антропогенне спрощення екосистем – це не обов'язково їх деградація, а еволюція в нових умовах, за якої не всі наслідки спрощення екосистеми є небажаними. Якщо в зміненому людиною середовищі біогеоценоз підтримує себе як систему в оптимальному стані – це означає, що ступінь антропогенного впливу не перевищує його адаптаційних можливостей [2].

Авторами [3] на основі статистичного розуміння норми запропоновано декілька підходів до вимірювання нормальності та стійкості екосистем, що необхідно для визначення її запасу міцності.

Подібні погляди про норму екосистем були висловлені західними дослідниками в рамках концепції здоров'я екосистем [4].

У загальному випадку під допустимим екологічним навантаженням в [6] вважають таке значення, що не викликає небажаних змін екосистем та організмів, зокрема людини, і не призводить до будь істотного погіршення якості довкілля. Водночас під показником високої якості природного середовища слід розуміти таке його значення, за якого можливим є: стає існування і розвиток історично сформованої і перетвореної людиною екосистеми в даному місці; відсутність в сьогоденні і майбутньому несприятливих наслідків

у будь-якій або найбільш важливій популяції зокрема, людини (причому кожної), яка знаходиться в цьому місці історично або тимчасово [7].

Автор [6] зазначає, що допустимість навантаження визначається цілями природокористування. З цього погляду всі екосистеми можна поділити на три категорії: унікальні або заповідні; широко поширені або природні; сильно перетворені або штучні. В екосистемах першої категорії навантаження повинно виключати випадання будь-якого виду; для другої – припустимі деякі зміни, так щоб зберігалася вимоги до середовища; в штучних екосистемах можливі будь-які обґрунтовані зміни у відповідності з визначеними цілями.

Детально розглянуті та узагальнені проблеми екологічного нормування у роботі [8], згідно яких норми слід створювати для виконання трьох основних цілей:

- збереження і забезпечення середовища, сприятливого для всього живого;
- ресурсозбереження та ресурсовідновлення з акцентом на біологічні ресурси;
- збереження генофонду і умов його існування.

Важливим є твердження автора, що норми повинні мати територіально диференційований характер, тобто відрізнятися для різних типів ландшафтів, і бути варіантними, тобто відрізнятися для різних ситуацій природокористування.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження спрямоване на вирішення наступних проблем:

- спроба гармонізувати підходи, що використовують як в національній, так і в світовій практиці щодо поняття стійкості, для оцінки екологічних та захисних вимог в ПЧГ;
- ввести чітке розуміння поняття стійкості, як здатності ПЧГ тривалий час витримувати, адаптуватись чи протидіяти шкідливим зовнішнім впливам без серйозних порушень її структурно-функціональних характеристик і деградації утворюючих компонентів;
- розвинути методологічні аспекти встановлення екологічних та захисних вимог до ПЧГ, що базуються на визначенні складових елементів показника стійкості, які оцінюють за певною шкалою, з застосуванням відповідних критеріїв, розроблених та поданих для кожної градації шкали.

Новизна. Оцінка розподілу компартментів за класами стійкості характеризує градієнт зміни стійкості і можливу швидкість V її втрати, а врахування площі S , яку займає той чи інший компартмент у ПЧГ, і дає змогу оцінити масштабність цих процесів. Наростання показників ризику свідчить про можливість наступлення стану катастрофи C . Отже, чим вища швидкість втрати стійкості V , чи наростання ризику PC за короткий час Δt , і чим менша його площа S , тим ближче знаходиться компарт-

мент до катастрофічного стану $V \rightarrow \max \cup S \Rightarrow \min \rightarrow PC \rightarrow \max \Rightarrow (Z_1 - Z_0)/\Delta t \rightarrow C$. Інакше кажучи, чим більша швидкість sukcesії, тим більша ймовірність досягнення компартментом ПЧГ критичного стану і можливості катастрофічних змін.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Оцінку впливів на ПЧГ виконано з застосуванням доступних матеріалів і статистичних даних, наданих: Міністерством охорони навколишнього середовища України і його обласними територіальними управліннями; підрозділами Укрметеоцентру; науковими, дослідницькими та іншими організаціями.

Найбільш ефективною для вирішень завдань дослідження визнано теорію біотичної регуляції, сутність якої ґрунтується на законах організації і функціонування довкілля, обмеження господарського втручання, і яка спрямована на підтримку екологічної рівноваги [12]. За припущення, що до системи в її стійкому стані потрапляє певна кількість рівномірно розподілених забруднювачів, стійкість запропоновано розглядати на прикладі двокамерної моделі.

Для аналізу сукупності властивостей, які найбільш повно характеризують систему з огляду на мету дослідження, використано міжнародні стандарти [13, 14] з метою адекватного моделювання стійкості і чіткого ранжування ризиків, які впливають на процеси в ПЧГ.

Виклад основного матеріалу. Показник стійкості для оцінювання захисних властивостей просторово-часової геосистеми. Для оцінки стійкості екологічних систем слід проаналізувати принципи, методи та механізми її отримання. Швидкість відновлення екосистем, наприклад, внаслідок антропогенного втручання, залежить від їхнього положення відносно рівноважного стану. З посиленням несприятливих природних чинників відбувається збурення відхилення від рівноважного стану до того ступеня, поки система не втратить стабільність, що може призвести до її руйнування. Згідно низки ключових положень теорії біотичної регуляції [15], головне завдання полягає не стільки у скороченні антропогенних викидів, скільки збереженні ієрархічної структури ПЧГ і забезпеченні біотичних механізмів її регулювання, використання та відтворення. Зокрема індикатором різноманітності, стану рівноваги і порушення ПЧГ є рослинність, а регуляторним механізмом її формування, відновлення від початкового до рівноважного стану і стабілізації виступає компартмент. Тому оцінка стійкості ПЧГ повинна базуватися на порівняльній оцінці sukcesійних стадій угруповань в компартменті від початкового до стійкого клімаксового стану. Її виконують за такими ознаками:

- відмінністю $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ одного стану системи відносно іншого;
- допустимим відхиленням від базового стану або мінливістю $Z_0 - Z_1 < \Delta Z$;

- інтервалом часу Δt , в межах якого відбуваються зміни чи оцінюється стійкість;

- впливом одного або кількох зовнішніх факторів h_i чи їх синергії.

Згідно цих ознак М.Д. Гродзинський виділив три форми стійкості – відновлюваність, інерційність і пластичність, які для спрощення тлумачення спочатку можна звести до двох – резистентності та пластичності:

- резистентність – здатність компартменту K під впливом дії факторів h_i протягом часу Δt не виходити за межі стійкості $\frac{h_i}{\Delta t} \leftarrow Z_1$;

- пластичність – здатність компартменту K після припинення дії факторів h_i протягом часу Δt повертатися до початкового стійкого стану $\frac{h_i}{\Delta t} \rightarrow Z_2$.

Отже, стійкість можна розглядати, з одного боку, як здатність компартменту протидіяти впливу зовнішніх факторів і зберігати свої характеристики у стані Z_1 (резистентна стійкість за Ляпуновим), а з іншого – бути пластичним, тобто відновлювати свої властивості до Z_2 . Чим більший опір чинить компартмент впливу зовнішніх антропогенних та абіотичних факторів, тим важче порушити стійкість, але, якщо вона порушена, тоді її важко повернути у вихідний стан і навпаки, чим менший чиниться опір, тим легше повернутись у початковий стан.

Форми стійкості тлумачить рис. 1 з двома областями існування системи. Пластичні компартменти швидко втрачають стійкість навіть при слабкій дії фактора h_1 , що призводить до зміни їхнього стану R_1D_1 ; згодом відбувається їх відновлення D_1R_2 . При сильній дії фактора $h_2 > h_1$ система хоча і зазнає більших змін R_2D_2 , але не виходить за межі області відновлення (рис. 1, а). Натомість резистентна система за слабкої дії h_1 зовнішнього фактора незначно втрачає стійкість R_1D_1 швидко повертаючись в D_1R_2 ; за сильнішої дії h_2 вона поступово заходить у запорогову область невідновлюваного стану R_2C і втрачає стійкість (рис. 1, б).

Висока пластичність і низька резистентність означає здатність уникати стану катастрофи C або знижувати ризик руйнування компартменту P_C , а низька пластичність і висока резистентність – його підвищувати. Тому для оцінки ризику головною ознакою є ступінь резистентності, а не пластичності.

Отже, на основі аналізу різноманітності компартментів, що входять до ПЧГ, їх можна розділити на три категорії:

- P – пластичні (гідрофільні, сегетальні, рудеральні, вторинні), що знаходяться у стані постійної динаміки, легко відновлюються, оскільки компартмент не змінюється, мають низьке флористичне багатство, слугують осередками розселення адвентивних видів, мають дуже низький ступінь ризику втрати компартменту;

- I – інерційні (лісові, степові), що при руйнуванні здатні до відновлення через тривалий час, проходять стадії сингенезу, ендекогенезу, філценогенезу (переважають процеси трансгенезу), що супроводжується поступовим відновленням компартменту в структурі СЛК;

- R – резистентні або стійкі, що знаходяться в екстремальних умовах (наскельні, піщано-літоральні, верхові болота на межі ареалу, під постійним антропогенним тиском), добре зберігають свою структуру, але при її порушенні руйнується компартмент, що не відновлюється.

Для компартментів останнього типу характерний високий ендемізм, тобто в їхньому історичному розвитку флорогенез переважає над процесами трансгенезу, а тому вони стійкі до проникнення адвентивних видів. Екологічні амплітуди компартментів такого типу досить вузькі, а, відповідно, ступені ризику їх втрати найвищі.

Оскільки стійкість не має абсолютного значення, то не коректно говорити, що компартмент стійкий чи не стійкий, але можна оцінити, що в ПЧГ один компартмент K_1 стійкіший, ніж інший K_2 відносно дії певного фактора h_i чи їх синергійної дії F , або стан ПЧГ Z_2 стійкіший, ніж стан Z_1 в певних умовах.

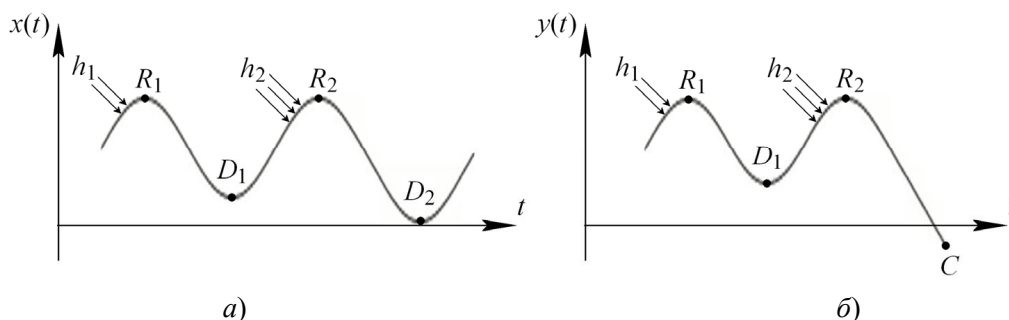


Рис. 1. Схема змін компартменту СЛК пластичного (а) та резистентного (б) типу, де стани, відповідно, R – відновлення, D – порушення, C – катастрофи, h – впливи

Тому загальною стійкість ПЧГ залежить від двох змінних: ступеня дії певного фактора h та специфікою чи розташуванням компартменту K . Тобто результатом може бути вектор, який характеризує напрям і значенням різниці між показниками компартментів. Для цього потрібно обрати компартмент, як еталон K_0 або змодельовати гаку ПЧГ, яка за даних умов має найстійкіший стан Z_0 . Водночас, у такому стані ПЧГ існувати не можуть, оскільки з врахуванням законів термодинаміки ПЧГ є відкритою неврівноваженою системою і тоді мають найвищий ризик руйнування [16]. Отже, чим ближче знаходиться K до стійкого, рівноважного, клімаксового стану Z_0 , тим вищий ризик його руйнування $K \rightarrow Z_0 \Rightarrow PC \rightarrow \max$, а якщо K знаходиться на початкових стадіях розвитку, далеко від рівноважного стану Z_0 , то ризик його руйнування низький $K \leftarrow Z_0 \Rightarrow PC \rightarrow \min$. Це висновок відображає сутність методу оцінки стійкості та ризиків руйнування компартментів ПЧГ.

В оцінці ризику чільне місце належить дослідженню суцесійного розвитку компартменту. Суцесія розглядається як можливість перебудови структури компартменту відносно зміни довкілля. Хоча це самоорганізований та самопідтримуючий процес, однак він спрямований у бік удосконалення механізмів акумуляції енергії через адаптаційні властивості видів, зниження енергетичних витрат, а відтак зниження показників ентропії, що означає наближення до стійкого, але водночас і термінального стану, а відтак зростає ризик руйнування компартменту. За Р. Уїттекером суцесія – це не лінійний і строго детермінований, а стохастичний процес. А це означає, що кожен ярус підсистеми (ценопопуляція) може бути заміщений іншим, краще адаптованим до існуючих умов або наступних можливих змін, і таке заміщення відбувається на всіх етапах процесу, у кожній з підсистем компартменту. Отже, показник біотичного різноманіття тих елементів, які в ході суцесії можуть взаємозаміщуватися, має вирішальне значення, оскільки зниження біорізноманіття звужує область стійкості. Хоча компартмент може бути досить стійким і при обмеженій кількості видів (наприклад, букові ліси), але при цьому можливі варіанти заміщення і ймовірність формування стійких станів звужується. Отже, головне завдання полягає в тому, щоб оцінити положення певного компартменту у суцесійному ряді.

Для оцінки ризику руйнування компартменту запропоновано використати показники, які даватимуть змогу оцінити дві групи ознак: кількісні показники його зміни або швидкість суцесій V і масштабність змін S , тобто його часовий та просторовий стан – $f(V, S)$. Причому можуть бути використані як безпосередні, так і опосередковані характеристики. Зокрема, наприклад, наявність у складі ярусів чи підсистем компартменту видів, занесених до охоронних списків, спричиняє більший ризик руйнування. Такі види, зазвичай, пов'язані з рідкісними компартмен-

тами або знаходяться у зоні більшого ризику руйнування через надмірну експлуатацію. Для оцінки важливі і такі характеристики, як показники гемеробії, що відображають здатність видів рослин зростати і поширюватися у різного ступеня перетворених людиною екосистемах. Іншою ознакою є типи стратегій поведінки видів, що відображають їхнє відношення до заселення та утримання компартменту: R – стрес-толеранти заселяють екстремальні екотопи; S – пацієнти утримуються за рахунок конкуренції, протидії впливу зовнішніх факторів, тобто характеризують інерційність ценозу; K – експлеренти, що швидко реагують і характеризують ступінь резистентності ценозу.

На основі представленого аналізу вибрано 12 основних показників, які даватимуть змогу різносторонньо оцінювати ступінь стійкості та масштаби трансформації компартменту у просторово-часовому вимірі, а саме: Вплив антропогенної трансформації, Відновлюваність, Положення у суцесійному ряду (відносно антропогенних суцесій), Регіональна репрезентативність, Характер поширення, Екологічна амплітуда, Екологічні умови поширення, Наявність інвазійних видів, Ступінь гемеробності (ha , %), Співвідношення між типами стратегій ($S/R/K$), Нозологічна значущість, Синфітосозологічний статус.

Вагу кожного показника запропоновано оцінювати в балах від 1 до 4. Мінімальна кількість балів, яку може отримати компартмент за всіма показниками – 12 балів, максимальна – 48 балів; різниця між ними становить 36 балів. Тоді ступінь ризику PC визначається як втрати кожного бала: 1 бал $\equiv 100\% : 36 = 2,78\%$. Причому кількість врахованих показників можна змінювати.

Отримувані під час оцінювання показників бали запропоновано впорядкувати за шкалою оцінювання стійкості і ризику втрати компартменту розділивши їх на п'ять класів, що мають діапазон по 7 балів:

- I клас (42-48 балів) – дуже рідкісні, що мають «вузьке» поширення, погане відтворення, дуже високий ($P_c > 83\%$) показник ризику руйнування, дуже чутливі до зміни екологічних факторів і потребують особливих комплексних заходів охорони;
- II клас (35-47 балів) – рідкісні, що мають обмежене поширення, слабе відтворення, високий ($P_c = 63-83\%$) показник ризику руйнування, чутливі до впливу антропогенного фактора і потребують певних цільових заходів щодо їх охорони;
- III клас (28-34 бали) – мають фрагментарне поширення і під впливом дії антропогенних факторів тенденцію до скорочення, характеризуються повільним відновленням, мають середній ($P_c = 43-63\%$) показник ризику руйнування і потребують часткової охорони;
- IV клас (21-27 бал) – мають звичайне поширення, типові угруповання, нормально відновлюються в даних умовах, мають низький ($P_c = 23-43\%$)

показник ризику руйнування, стійкі до антропогенного впливу, хоча і не потребують заходів з охорони, але можуть бути знищені при надмірній антропогенній діяльності;

- V клас (12-19 балів) – досить розповсюджені компартменти, достатньо адаптовані до дії антропогенних факторів або формуються під їхньою дією, мають дуже низький ($P_c < 23\%$) показник ризику руйнування і не потребують охорони.

Головні висновки. Запропонований підхід до оцінки стійкості та, як наслідок, ризиків втрати компартменту в просторово-часовій системі дає змогу отримати кількісні показники, що можуть бути використані як індикатори стану всього ПЧС. На їх основі можливим є: розрахунок тих порогових значень величин, поза якими відбуваються негативні явища, прогнозування та моделювання ситуацій, картування джерел ризиків, моніторинг і виявлення причин змін або факторів, що сповільнюють чи стримують наближення ПЧГ до критичного стану, розроблення превентивних заходів запобігання чи зниження шкідливого впливу тощо.

Представлені результати можуть мати значення для потреб нормування функціонування екологічних систем, зокрема, у вигляді стандарту «Екологічні та захисні вимоги до ПЧГ». З огляду на міжнародну стандартизацію показник стійкості може бути використа-

ний, наприклад, для оцінки транскордонного впливу шкідливих об'єктів на екосистему, згідно міждержавної угоди, яка приймає до уваги положення Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище в транскордонному контексті, ЕБПО (Фінляндія), 1991.

Перспективи використання результатів дослідження. Авторами показано, що природний розвиток ПЧГ хоч і спрямований внаслідок дисипативних процесів до рівноважного стану, але система не може тривало існувати в такому стані і потребує додаткової енергії для свого розвитку. Загалом це перебігає як флуктуаційні зміни. Отже, внаслідок зовнішніх антропогенних впливів ПЧГ характеризує послідовність фаз рівноваги і, власне, кризи. Здатність долати наслідок таких зовнішніх негативних впливів слід називати стійкістю ПЧГ.

Твердження, що окремих компартмент є стійким чи не стійким, не має сенсу, але можна оцінити, що в системі один компартмент стійкіший, ніж інший, а для оцінки стійкості потрібно обрати компартмент, що відіграватиме роль еталона.

Використання типових ознак, доповнених ступенем гемеробності та співвідношення між типами стратегій, дасть змогу визначати соціологічну значущість компартменту, а також з різних боків оцінити ступінь стійкості та масштаби трансформації компартменту у просторово-часовому вимірі.

Література

1. Шварц С. С. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования. *Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды II Советско-американского симпозиума*. Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. С. 181–191.
2. Ibrahim H. Descriptive Ecology Approaches to an Urban Landscape in Qatar. *Journal of Ecosystem & Ecography*. 2012. Vol. 2, No. 5. P. 1–7. DOI: 10.4172/2157-7625.1000119
3. Betts M. G., Wolf C., Ripple W. J., Phalan B., Millers K. A., Duarte A., Butchart S. H. M., Levi T. Global forest loss disproportionately erodes biodiversity in intact landscapes. *Nature*. 2017. Vol. 547 (7664). P. 441–444. DOI: 10.1038/nature23285.
4. Xu F., Wang Y., Wang X., Wu D., Wang Y. Establishment and Application of the Assessment System on Ecosystem Health for Restored Urban Rivers in North China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. Vol. 19 (9), No. 5619. P. 1–19. DOI:10.3390/ijerph19095619
5. Wang Z., Yang Z., Shi H., Han F., Liu Q., Qi J., Lu Y. Ecosystem Health Assessment of World Natural Heritage Sites Based on Remote Sensing and Field Sampling Verification: Bayanbulak as Case Study. *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (7), No. 2610. P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/su12072610>
6. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Москва : Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
7. Тихомиров Ф. А., Розанов Б. Г. Методологические вопросы охраны почвенного и растительного покрова от загрязнения. Москва : Наука, 1985. С. 3–11.
8. Александрова Т. Д. Нормирование антропогенно-техногенных нагрузок на ландшафты как научная задача: Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты. Москва : Ин-т геогр. АН СССР, 1988. С. 4–15.
9. Peltola T., Tuomisaari J. Re-inventing forestry expertise: Strategies for coping with biodiversity protection in Finland. *Forest Policy and Economics*. 2016. No. 62. P. 11–18. DOI: 10.1016/j.forpol.2015.10.005
10. Langlet D., Mahmoudi S. EU Environmental Law and Policy, 1st ed.; Oxford University Press : Oxford, UK, 2016. P. 351–362. ISBN 978-0-19-875393-3
11. Методологические основания отображения элементарных геосистемных процессов. *Современные естественные и антропогенные процессы в почвах геосистем* / Пузаченко Ю. Г., Федяева М. В., Козлов Д. Н., Пузаченко М. Ю. Москва : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2006. С. 122–125.
12. Forsberg M. Landskapsplanering för naturvård och virkesproduktion – Särskilt med koppling till ersättningsrätten. *Nord. Environ. Law J.* 2018. No. 1. P. 89–92.
13. Пашков Е. В., Фомин Г. С., Красный Д. В. Международные стандарты ИСО 1400. Основы экологического управления. Москва, 1997. 41 с.
14. EC/ISO 31010. Risk management – Risk assessment techniques focuses on risk assessment. 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/72140.html>
15. De Jong J., Dahlberg A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. *For. Ecol. Manag.* 2017. No. 383. P. 37–48.
16. Li J., Cai C., Zhang F. Assessment of Ecological Efficiency and Environmental Sustainability of the Minjiang-Source in China. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No. 4783. P. 1–15. DOI:10.3390/su12114783