

МОДЕЛЮВАННЯ ВЛИВУ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ

Азаров С.І.¹, Харламова О.В.²

¹Інституту ядерних досліджень НАН України
пр-т Науки, 47, 03680, м. Київ

²Кременчуцький національний університет
імені Миколи Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Полтавська область
azarov@kinr.kiev.ua, kharlamovaovdoc@gmail.com

У статті набули подальшого розвитку наші попередні теоретичні дослідження щодо забезпечення стійкого розвитку техногенного навантаженого регіону в умовах синергізму дії чинників екологічної небезпеки. Методологічні аспекти дослідження включають логічний аналіз сучасного стану вивченості проблем екологічної безпеки; розроблення теоретичних засад із застосуванням методу елементно-теоретичного синтезу; експериментально-практичну перевірку розроблених теоретичних положень. На основі формалізації антропогенного впливу на довкілля запропоновано математичний підхід для оцінки вразливості екосистем, їх сталого розвитку. Відмінною особливістю запропонованого підходу є можливість дослідження нестабільності та стійкості екосистем, умов виникнення різких стрибкоподібних перехідних режимів, які є результатом малих безперервних змін змінних, що характеризують кризові процеси в довкіллі. Розрахунок екологічних ризиків базувався на використанні методів теорії катастроф, теорії хаосу і біфуркацій. Запропоновано математичний підхід для прогнозування поведінки екосистеми, яка знаходиться поблизу нестійкого стану рівноваги в зоні біфуркації, коли зростає ймовірність раптових, непередбачуваних антропогенних подій і незначні флуктуації можуть вести до непередбачуваного майбутнього з катастрофічними наслідками. Побудована модель деформації простору безпеки, яка дає змогу здійснювати більш виважені управлінські рішення при оцінці екологічних ризиків (потенційних чи наявних), при ландшафтному плануванні та прогнозуванні, визначенні граничних норм, лімітів допустимого антропогенного навантаження. На практиці стабілізація стійкості екосистеми, в умовах інтенсивної експлуатації, може бути реалізована шляхом використання принципу «нульового або мінімального втручання» в природні процеси та комплекси. Ефективний моніторинг господарської діяльності та управління техногенно навантаженими екосистемами реалізується за рахунок як опису стійкості екосистем, так і створення інтерактивних карт, графів, геоінформаційних систем. Отриманні результати дозволяють використовувати теорію катастроф для дослідження впливу флуктуацій на перехід з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу. *Ключові слова:* екологічна безпека, антропогенний вплив, моделювання, оцінка екологічного стану, індикатори.

Modeling the influence of anthropogenic factors on the environment. Azarov S., Kharlamova O.

In the article, our previous theoretical studies on the sustainable development of the technogenic loaded region under conditions of synergism of ecological danger have been further developed. Methodological aspects of the study include a logical analysis of the current state of study of ecological safety issues; development of theoretical principles with the use of elemental-theoretical synthesis method; experimental and practical verification of the developed theoretical provisions. On the basis of formalization of anthropogenic impact on the environment, a mathematical approach is proposed to assess the vulnerability of ecosystems and their sustainable development. A distinctive feature of the proposed approach is the ability to study the instability and resilience of ecosystems, the conditions for the emergence of abrupt, abrupt transient regimes, which are the result of small continuous changes in the variables that characterize crisis processes in the environment. The calculation of ecological risks was based on the use of methods of catastrophe theory, chaos theory and bifurcations. A mathematical approach is proposed to predict the behavior of an ecosystem that is near an unstable equilibrium in a bifurcation zone when the likelihood of sudden, unforeseen anthropogenic events and minor fluctuations can lead to an unpredictable future with catastrophic consequences. A model of deformation of the security space has been constructed, which enables to make more informed management decisions in the assessment of ecological risks (potential or existing), in landscape planning and forecasting, determination of limit values, limits of permissible anthropogenic load. In practice, stabilization of ecosystem resilience, in conditions of intensive exploitation, can be implemented by applying the principle of "zero or minimal interference" to natural processes and complexes. Effective monitoring of economic activity and management of technogenically loaded ecosystems is realized through both the description of ecosystem sustainability and the creation of interactive maps, graphs, geoinformation systems. The results allow us to use the theory of catastrophes to study the impact of fluctuations on the transition from one trajectory of ecosystem development to another. *Key words:* ecological safety, anthropogenic impact, modeling, environmental assessment, indicators.

Постановка проблеми. Концепція сталого розвитку, що стала своєрідною домінантою уявленнь про шляхи трансформації постіндустріального суспільства в XXI столітті, має на увазі узгодженість змін в різних вимірах його функціонування (екологічному, економічному і соціальному). Основний посту-

лат сталого розвитку полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки, що спрямоване на забезпечення певної якості і безпеки життя людей при стані навколишнього середовища, що не погіршується, та раціональне використання обмежених ресурсів, розвитку природо-, матеріало- і енергозберігаючих технологій

[1-4] Однак, істотна деформація простору екологічної безпеки, викликана глобальними змінами сучасного світу, стала основним викликом сталого розвитку. Зростаюча взаємозалежність різних вимірів уразливості довкілля, широкий спектр локальних, регіональних, транснаціональних загроз, поширення небезпечних технологій, виникнення дефіциту водних ресурсів, зростаюче навантаження на екосистему створюють своєрідний синергетичний ефект, привносять додаткові системні екологічні ризики [5]. Створення сучасного мережевого суспільства значно підсилює поля екологічних, техногенних, економічних, політичних, і соціальних ризиків. Вузли цієї мережі є своєрідними акупунктурними точками, в яких слабкі впливи ведуть до потужних відхилень траєкторій розвитку екосистем і збільшують ступінь невизначеності майбутнього. Це призводить до непередбачуваних за своїми масштабами наслідків. Функціонування таких складних екосистем, як наприклад техногенно навантажений регіон, часто стає нестабільним і характеризується раптовими стрибкоподібними змінами. Критерії якості довкілля, що розглядалися в антропоцентричному контексті придатності для конкретних видів використання [6], істотно трансформувалися у зв'язку з розумінням необхідності «забезпечення стійкого функціонування екосистем і запобігання їх деградації». Методики, що пов'язані з оцінкою якості і охороною довкілля, перебувають на стадії активної розробки у багатьох європейських країнах.

Актуальність дослідження. Все вище наведене вимагає розробки методів і механізмів ефективного попередження потенційних і нейтралізації явних загроз довкіллю. Важливим елементом таких механізмів повинні стати інформаційні системи, які на базі математичних моделей, що дозволяють формалізувати антропогенний вплив на довкілля, суттєво підвищують ефективність прийняття рішень в сфері екологічної безпеки та оцінки вразливості екосистем до широкого спектру загроз. У зв'язку з цим пошук біотичних показників, що найбільш точно відображають процеси, які впливають на стан якості довкілля, є актуальною проблемою.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Стаття відповідає актуальним напрямкам екологічної політики України в сфері забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки, які висвітлено у Постанові ВРУ «Про Концепцію (основи державної політики) національної безпеки України», Законах України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» та «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробки теоретичного базису та практичних методів, підходів щодо визначення та оцінювання антропогенного навантаження, стійкості екосистем можна

знайти в роботах Ф. М. Мількова, А. Д. Арманда, А. Г. Ісаченка, П. Г. Шищенко, М. Д. Гродзинського, В. М. Самойленка, Г. І. Денисика, Л. Л. Малишевої, С. П. Романчука, Е. І. Гофмана, Л. Т. Наливайка, а також ряді інших вітчизняних та зарубіжних вчених. У роботах [7-9] запропонована математична модель для інтегральної оцінки системних ризиків в техногенній сфері та дослідження впливу флуктуацій різного генезу на трансформацію полів техногенних, соціогенних і економічних ризиків.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Не достатньо розвинені математичні підходи для оцінки вразливості екосистем від антропогенного впливу на довкілля. Слабо представлені результати вивчення нестабільності та стійкості екосистем, умов виникнення перехідних режимів, що характеризують кризові процеси в довкіллі.

Метою даної роботи є екологічна оцінка негативного антропогенного впливу на довкілля і розробка заходів щодо їх мінімізації і запобігання.

Методологічне та загальнонаукове значення. Результати даної наукової роботи дозволяють використовувати теорію катастроф для дослідження впливу флуктуацій на перемикання з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу.

Наукова новизна. Набули подальшого розвитку дослідження щодо забезпечення стійкого розвитку техногенного навантаженого регіону в умовах сумісного впливу чинників екологічної безпеки, зокрема, побудована модель деформації простору безпеки.

Викладення основного матеріалу. З використанням даних [10], методи математичного моделювання надійності екосистем класифікуємо наступним чином:

- теорія стійкості і біфуркацій диференціальних рівнянь → приблизні схеми перехресної регуляції → топологічні методи теорії катастроф;
- термодинамічний підхід → імовірнісні критерії диференціальних рівнянь → теорія дисипативних структур.

Будемо виділяти такі стани екосистем [11]:

- 1) нестійка екосистема – малі збурення різко змінюють режим функціонування;
- 2) асимптотична, стійка екосистема – збурення гасяться екосистемою;
- 3) глобально стійка екосистема – властивість стійкості виконується для всіх траєкторій;
- 4) локально стійка екосистема – властивість стійкості виконується для траєкторій поблизу рівноважної.

Розглянемо бістабільну коливальну екосистему, що описує не затухаючі коливання в ній (числа Ляпунова при цьому чисто уявні), В екосистемах діє закон збереження енергії в потенційному полі $N(x)$. У цьому випадку маємо консервативну або гамільтонову систему:

$$dx/dt_1 = F(x) = -\partial N(x)/\partial x, \quad (1)$$

Щоб проаналізувати поведінку екосистеми поблизу локальних екстремумів $N(x)$ функцію $F(x)$ розкладемо в ряд близько стаціонарних станів і обмежимося декількома малими членами розкладання. Мінімальна кількість членів n і параметрів k , які потрібно враховувати, визначається ступенем виродження стаціонарного стану. Вони пов'язані простим співвідношенням: $k = (n - 1)$. В теорії катастроф число k називається корозмірністю катастрофи.

Для дослідження широкого кола явищ найбільш часто використовується катастрофа «збірка» – злиття трьох особливих точок [12]. Розглянемо рівняння:

$$F(x) = a_2 + a_1 x + x^3, \quad (2)$$

$$N(x) = -a_2 x - a_1 x^2/2 - x^4/4 \quad (n=3, k=2). \quad (3)$$

Форма $F(x)$ в (2.3) – загальна, до неї наводиться будь-який кубічний поліном, який має відповідно до теореми Штурма, щонайбільше три і найменше один корінь [12]. Природа коренів залежить від дискримінанту

$$\Delta = 4a_1^3 + 27a_2 \quad (4)$$

При виконанні умови $\Delta < 0$ існує три різних дійсних кореня. Таким чином, мають місце три стани описуваної екосистеми, два з яких стійкі, а одне – нестійкий. При $\Delta > 0$ є один речовий корінь і два уявних. При $\Delta = 0$ відбувається злиття особливих точок: якщо $\Delta = 0$, але $a_1 \neq 0$, або $a_2 \neq 0$, то збігаються дві точки. Якщо $\Delta = 0$ і $a_1 = a_2 = 0$, то зливаються всі три точки. Таким чином, $\Delta(a_1, a_2) = 0$ – це крива біфуркаційних значень. Припустимо, що екосистема задовольняє всім вимогам потенційної екосистеми і може бути описана потенційною функцією $N(X, A_1, A_2, \dots, A_N)$ поведінкової змінної X (вразливість) і параметрів управління A_i . Ця функція має кілька стаціонарних станів, частина з яких стійкі, а інші – не стійкі. Переходи екосистеми з одного стійкого стану в інший, або зміна характеру стійкості стаціонарного стану (наприклад, зі стійкого до нестійкого) є функціями параметрів управління A_i . Розглянемо екологічну безпеку екосистеми як комплекс складних взаємодій, що здійснюються у двох вимірах, які оцінюються за допомогою індексу Ia та характеризує вплив антропогенних чинників на довкілля і індексу Ib і характеризує ступінь змін у довкіллі.

У формалізмі теорії катастроф буде відповідати катастрофа «збірка»

($n = 3, k = 2$), оскільки поведінка екосистеми розглядається в просторі двох параметрів управління. Таким чином, потенційна функція N буде описуватися поліномом четвертого ступеня відносно змінної X , що характеризує рівень вразливості. У цьому випадку маємо

$$dX/dt = -\partial N(X, A)/\partial X = X^3 + A_1 X + A_2, \quad (5)$$

де $A_1 = A_1(Ib)$, $A_2 = A_2(Ia)$, причому $\partial A_1/\partial Ib < 0$, а $\partial A_2/\partial Ia < 0$.

В цьому випадку екосистема має три стаціонарні стани, два з яких стійкі. Перший стійкий стаціонарний стан характеризує норму (низький рівень вразливості), другий – катастрофу (високий рівень вразливості). Використання методу теорії катастроф дозволяє оцінити ризик стрибкоподібної деформації простору екологічної безпеки, при якій відбувається перехід до підвищеного рівня вразливості екосистеми, а також визначити критичні рівні параметрів, після досягнення яких екосистема переходить з одного свого стаціонарного стану в інший. Наприклад, можна визначити при якому рівні індексу Ic при заданому рівні індексу Ia відбудеться стрибкоподібна деформація простору екологічної безпеки в екосистемі. На рис. 1 наведено поведінку поверхні рівноваги (або різноманіття) характеристик стійкості в екосистемі сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу з її проекцією на площину ab , яка визначає управляючі параметри a та b .

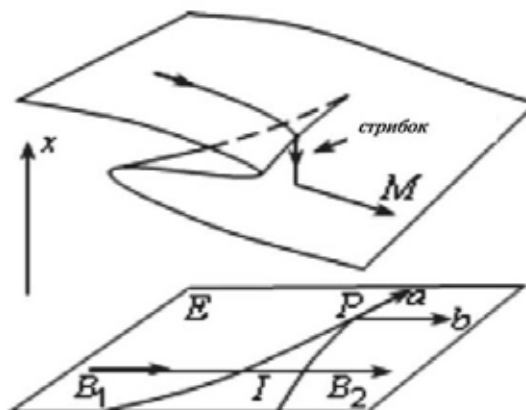


Рис. 1. Поведінка поверхні рівноваги характеристик стійкості в динамічній нелінійній системі сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу та її проекція на площину

Точка (a, b) , повільно змінюючи свої координати a і b , описує деяку траєкторію на площині ab . Тоді положення рівноваги, що спостерігається, пройде шлях на поверхні M , що лежить над шляхом в площині ab . Через збірку на поверхні рівноваги M цьому шляху, можливо, доведеться перескакувати з одного аркуша поверхні на інший.

Різноманіття катастроф на поверхні рівноваги M (див. рис. 1) буде задаватися рівнянням:

$$0 = \frac{d}{dx} V_{ab}(x) = x^3 + ax + b \quad (6)$$

Кубічне рівняння (6) має від одного до трьох дійсних коренів. Природа цих коренів залежить від дискримінанту

$$D = 4a^3 + 27b^2. \quad (7)$$

Простір керуючих параметрів, що утворюють площину ab , будемо розбивати на п'ять підмножин: B_1, B_2, P, I, E , що зображені на рис. 2.

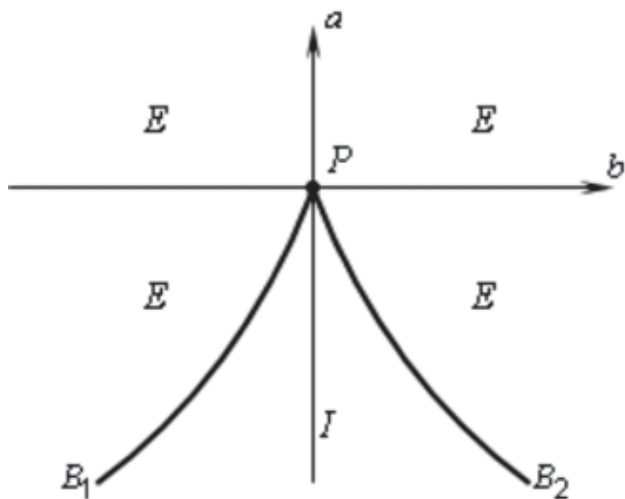


Рис. 2. Простір керуючих параметрів

Лінія, що утворена множинами B_1, B_2 , і P , відповідає умові $D = 0$, тобто $4a^3 + 27b^2 = 0$.

В цьому разі, якщо $a = 0$ і $b = 0$, то точка (a, b) лежить в B_1 або в B_2 , і рівняння (7) має три дійсних кореня, два з яких збігаються між собою. Точка P відповідає $a = b = 0$ існує три співпадаючих дійсних кореня, рівних нулю. Точка P називається точкою повернення. Якщо $(a, b) = I$, то мають місце три різних дійсних кореня і $D < 0$. Якщо $(a, b) = E$, то існує тільки один речовий корінь ($D > 0$). Катастрофа відбувається, коли траєкторією точки (a, b) залишається область I і в цьому разі D змінює знак з негативного на позитивний. Вважаємо, що зміни керуючих параметрів в динамічній нелінійній системі сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу є випадковими. Випадковими величинами або випадковими функціями також можна описувати вплив ендегенних та екзогенних чинників. Для практичних цілей важливий статистичний аналіз положень рівноваги екосистеми поблизу критичних точок. Тому вважаємо за доцільне розглянути з позицій теорії катастроф питання оцінки показників надійності екосистеми за наявністю випадкових збурюючих факторів.

Криву біфуркаційних значень можна описати також таким виразом:

$$4A_1^3 + 27A_2^2 = 0. \tag{8}$$

Знаючи поточне значення параметра A_2 , з рівняння (6) отримуємо біфуркаційне значення параметра A_1 . Різниця між біфуркаційним і поточним значенням параметра A_1 є мірою екологічної безпеки.

Чим далі відстоїть поточне значення параметра від його біфуркаційного значення, тим менше деформація простору екологічної безпеки. При виконанні умови $A_1 < 0$ існує область стрибкоподібних переходів поведінкової змінної з одного стаціонарного стану екосистеми в інше (крива M на рис. 1).

Екосистема, яка перебуває в зоні біфуркації, надзвичайно чутлива до незначних впливів, коли будь-яка флуктуація (випадковий шум) може кар-

динально вплинути на перемикання з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу. Оцінка ризику прийнятих рішень або небезпеки, тобто інформації про вірогідності можливих результатів і про можливі збитки, вимагає високого рівня знань про досліджувані об'єкти, технології, рішення. Відсутність таких знань призводить нас в ситуацію невизначеності. Нові екологічні ризики, які виникли в останні роки, пов'язані багато в чому з продуктами генної інженерії, біотехнології, хімічної індустрії, а також багатьох нових нанотехнологій, на жаль, відносяться до таких унікальних явищ, для яких невідомо розподіл результатів в групі, що отримується шляхом апріорних обчислень або вивчення статистики попереднього досвіду.

Розглядаючи екологічні ризики, необхідно враховувати і фактор невизначеності, пов'язані з психологічними аспектами прийняття рішень.

З огляду на описане вище, особливу актуальність набуває завдання побудови стохастичної теорії катастроф. Існує декілька підходів, що дозволяють вирішити цю задачу. Розглянемо випадок наближення нерівноважних стохастичних екосистем до стаціонарного стану. Відомо [13], що для градієнтних систем при детерміністичному і стохастичному описі збігається безліч переходів (катастроф), що складається з усіх точок простору управління, в яких змінюється число і тип екстремальних точок. У разі, коли процес, що моделюється, є стохастичним, що підкоряється рівнянню Ланжевена, тоді рівняння (5) перетвориться до виду

$$\begin{aligned} dX/dt &= -\partial N(X, A)/\partial X + S^{1/2} \xi(t) = \\ &= X^6 + A_1 X + A_2 + S^{1/2} \xi(t), \end{aligned} \tag{9}$$

де S – константа, а $\xi(t)$ – гаусівська незалежна, δ – корельована флуктурована величина.

Згідно [14], система, що описується за допомогою єдиного і глобально

стійкого стаціонарного розподілу ймовірностей $Z^0(x, u)$, пов'язаного з N наступним чином:

$$Z^0(X, A) = 1/N \{ \exp[-2 N(X, A)/S] \}. \tag{10}$$

Відомо [15], що $Z^0(X, A)$ і $N(X, A)$ має одну і те ж множину катастроф. На рис. 3 показана трансформація функції щільності ймовірності для стохастичного опису катастрофи «збірка» при зміні параметра A_1 .

Стрибкоподібна деформація простору екологічної безпеки відбуватиметься при зниженні збалансованості екологічних, економічних і соціальних змін нижче деякого критичного (біфуркаційного) рівня. В умовах постійного навантаження на довкілля різноманітних видів антропогенного впливу (промислового, агровиробничого, транспортного, рекреаційного, соціального) важливо аналізувати стійкість екосистем для кожного окремого з цих та інших впливів, пов'язувати і визначати характер їхньої дії на інші властивості природних комплексів.

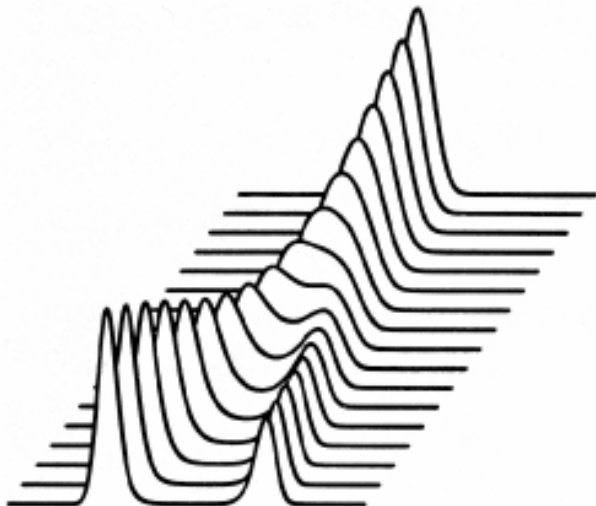


Рис. 3. Трансформація функції щільності ймовірності

Головні висновки. Набули подальшого розвитку дослідження щодо забезпечення стійкого розвитку техногенного навантаженого регіону в умовах сумісного впливу чинників екологічної небезпеки. Встановлено, що існують однозначні зв'язки між якісною поведінкою екосистем при детерміністичному і стохастичному описах. Побудована модель деформації простору безпеки, яка дозволяє зробити

наступні висновки, що не були постульовані при її розробці:

- дослідження стійкості екосистем, їх оцінка та прогноз змін дають змогу здійснювати більш виважені управлінські рішення при оцінці екологічних ризиків (потенційних чи наявних), при ландшафтному плануванні та прогнозуванні, визначенні граничних норм, лімітів допустимого антропогенного навантаження;

- забезпечується збалансоване природокористування та раціональна організація територій, ефективний моніторинг господарської діяльності та управління екотехносистемами, яке можливо за рахунок як теоретико-емпіричного дослідження та опису стійкості екосистем, так і створення інтерактивних карт, графів, геоінформаційних екосистем, тематичних галузевих карт з кількісними показниками;

- на практиці стабілізація стійкості екосистеми, в умовах інтенсивної експлуатації, може бути досягнена через реалізацію принципу «нульового або мінімального втручання» в природні процеси та комплекси.

Перспективи використання результатів дослідження. Отже, отриманні результати дозволяють використовувати теорію катастроф для дослідження впливу флуктуацій на перемикання з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу.

Література

1. *Measuring globalization*, the A.T. Kearney / Foreign Policy Magazine Globalization Index. Foreign Policy. 2006. November/December. P. 52–61.
2. Esty D.C., Levy M., Srebotnjak T., de Sherbinin A. *Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship*. – New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2005. 186 p.
3. *Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC Third Assessment Report / J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, K.S. White (eds.). Cambridge: University Press, 2001. 98 p.
4. *Van de Kerk G., Manue A.R. A comprehensive index for a sustainable society. The SSI – the Sustainable Society Index*. Ecological Economics. 2008. 66. № 2–3. P. 228–242.
5. Харламова Е.В., Шмандий В.М., Ригас Т.Е. Фундаментальные аспекты управления экологической безопасностью в техногенно нагруженном регионе. Экологический Вестник Северного Кавказа, 2014, 10 (3). С. 53–63.
6. Шмандий В.М., Харламова О.В. Теоретичні та практичні аспекти управління екологічною безпекою на основі антропоцентричного підходу. Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. серія «Екологія». 2013, 9 (1070). С. 24–30.
7. Shmandiy, V.M., Kharlamova, E.V., Rigas, T.E. Control elements of environmental safety under the conditions of chemical and man-made factors. *Gigiena i Sanitariya*. 2018. № 9(97). Pp. 809–812.
8. Kharlamova O.V., Malovanyu M.S., Shmandiy V.M., Svyatenko A.I. Ways of increasing the efficiency of anaerobic-aerobic processes of biological wastewater treatment: «Water Supli and Wastewater Disposal»: Monografie. Lublin: Lublin Uniwersiti of Technology. Poland, 2018. P. 124–131.
9. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень / І.В. Матвеева, С.І. Азаров, Ю.О. Кутлахмедов, О.В. Харламова. К.: НАУ, 2016. 396 с.
10. Азаров С.І. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску / Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Збірник наукових праць «Екологічна безпека та природокористування» № 3–4 (24), 2017. С. 50–57.
11. Азаров С.І. Моделювання стійкості екосистеми / Азаров С.І., Задунай О.С. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». 2018. № 4/2018 (23). С. 5–9.
12. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: динамическая теория информации. М.: Наука, 2001. 244 с.
13. Эбелинг В., Энгель-Герберт Г. Экстремальные принципы и теория катастроф для стохастических моделей нелинейных необратимых процессов. Термодинамика и кинетика биологических процессов. М.: Наука, 1980. С. 153–169.
14. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса (Новый диалог человека с природой). М.: Изд-во «Едиториал УРСС», 2003. 310 с.
15. Снакин В.В. Глобальные экологические процессы и эволюция биосферы: Энциклопедический словарь. М.: Academia, 2014. 197 с.