

МІРОШНИК Н. В.^{1✉}, ТЕРТИЧНА О. В.², ТЕСЛЕНКО І. К.¹¹ ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»,

Україна, 03143, м. Київ, вул. Ак. Лебедєва, 37, e-mail: miroshnik_n_v@mail.ru

² Інститут агроєкології і природокористування НААН України,

Україна, 03143, м. Київ, вул. Метрологічна, 12, e-mail: olyater@ukr.net

✉ miroshnik_n_v@mail.ru, (066) 508-22-90

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ ПАРКОВИМ ЛІСОВИМ ЕКОСИСТЕМАМ

Мета. Оцінити екологічні загрози парковим лісовим екосистемам та вивчити можливі зв'язки та віддалені наслідки їх дії. **Методи.** Застосовували методи порівняльного аналізу, класифікації, ранжування впливів, математичну обробку даних. **Результати.** Сформульовано та оцінено основні загрози парковим екосистемам. Поглиблено деякі методологічні аспекти щодо критеріїв оцінки загроз. Визначено класи небезпеки, розраховано загальний індекс небезпечності загроз та кореляційні зв'язки між групами та критеріями їх оцінки. Виявлено чинники, які мають найбільш негативний вплив на біорізноманіття парків. **Висновки.** В умовах урбоєкосистеми відбувається підсилення та подовження дії деяких загроз та нівелювання інших видів впливів. Характеристики інтенсивності дії, факторів часового та просторового поширення загроз не мають чіткої синхронізації. Загальний індекс небезпечності показав домінування за інтенсивністю та часом впливу специфічних для урбоєкосистеми загроз.

Ключові слова: антропогенний вплив, загальний індекс небезпечності загроз, урбоєкосистема, біорізноманіття.

Згідно з прогнозами Організації Об'єднаних Націй, 60 % населення світу проживатиме в міських районах до 2030 року. Тому вивчення екології міст і екології в містах та прогноз на майбутнє набуватиме дедалі більшої актуальності [1]. На сьогодні найсерйознішими загрозами для біорізноманіття у містах є деградація і втрата місць існування, надмірна експлуатація біологічних ресурсів, біологічна інвазія [1, 2], наслідки ведення інтенсивного сільського господарства, забруднення води, неправильне управління. Зміну клімату можна додати до цих проблем через конкуренцію з боку екзотичних видів, поширення хвороб і шкідників, стрес від літньої посухи для водно-болотних угідь і лісів, а також підвищення рівня моря, яке загрожує

рідкісним прибережним районам [1]. Інтенсивність деяких загроз в урбоєкосистемі посилена, наприклад, промислове та біологічне забруднення, фізичне знищення, зміни едафолітогенної основи, порівняно з природними екосистемами, а деякі з них не є невідкладно руйнівними, наприклад, браконьєрство, розорання, заболочування.

Паркові лісові екосистеми (ПЛЕ) є осередками біорізноманіття в урбоєкосистемах, що сприяють їх стабілізації та запобіганню небажаних явищ (повені, селі, зсуви, утворення значних провалів земної поверхні, пожежі, смог і т. ін.) через переривання забудованих та глибоко трансформованих ландшафтів напівприродними екосистемами. Вони протидіють пов'язаним із кліматом загрозам для біорізноманіття, покращують якість повітря, зменшують вплив «островів тепла» у містах [1, 2]. Отже, необхідно оцінити силу, час впливу, масштаби загроз ПЛЕ у містах, можливості розширення площі парків для ефективнішого збереження біорізноманіття, розробки невідкладних рішень та подальшого управління урбоєкосистемами.

Вченими проведено оцінку глобальних загроз, щоб зрозуміти, де виникають ризики, швидкість, інтенсивність їх розвитку та прогноз заходів для їх запобігання [1–6]. Теоретичні засади оцінки і запобігання загрозам біорізноманіттю України розробили О. В. Дудкін, А. В. Єна, В. В. Лавров та ін. [6], здійснили оцінку загроз біорізноманіттю Криму Ю. Р. Шеляг-Сосонко, Я. П. Дідух та ін. [7, 8]; Н. В. Бузова та ін. здійснили розподіл та картографування загроз біорізноманіттю Архангельської області, РФ [9]. Але оцінку загроз біорізноманіттю паркових лісових екосистем здійснено не було. Тому метою дослідження було оцінити екологічні загрози парковим лісовим екосистемам та вивчити можливі зв'язки та віддалені наслідки їх дії.

Матеріали і методи

Для дослідження впливу та зв'язків екологічних загроз зі станом ПЛЕ, виявлення просторової динаміки впливу загроз використали методи порівняльного аналізу, ранжування впливів, аналітичну, математичну обробку фактичних даних. Класифікацію загроз проводили відповідно до данського підходу [4, 6] з адаптацією до об'єктів дослідження (табл. 1) та, враховуючи загальну класифікацію Міжнародної спілки охорони природи (IUCN-CMP Unified), у якій пряма загроза – це безпосередня (антропогенна) діяльність, яка викликала, викликає або може викликати руйнування, деградацію та (або) погіршення біологічного середовища і природних процесів.

Сформований нами список основних екологічних загроз налічує 41 чинник, усі чинники умовно поділено на 6 груп: I) 1–4 – порушення гідрологічного режиму; II) 5–13 – механічний вплив на біорізноманіття; III) 14–23 – фізико-хімічний вплив; IV) 24–35 – зміни едафолітогенної основи; V) 36–37 – забруднення; VI) 38–41 – турбуючий та інші чинники. Оскільки важко виокремити вплив кожного чинника на відкриті екосистеми та врахувати взаємодії як усередині екосистем, так і між ними та природним середовищем, автори [4, 6] пропонують кожному екологічну загрозу оцінювати в балах за трьома критеріями: інтенсивності дії, просторового поширення та оцінки часового фактора загрози. Інтенсивність дії: 1 – слабка, 2 – помірна, 3 – значна, 4 – сильна, 5 – дуже сильна; просторового поширення: 1 – локальне, 2 – у межах певного типу екосистем, 3 – регіональне, 4 – загальне для району дослідження, 5 – глобальне. Часовий чинник загрози оцінювали таким чином: 1 – екосистема відновлюється швидко, майже відразу після зняття впливу; 2 – протягом року, 3 – протягом 10 років, 4 – відновлення незадовільне, 5 – зовсім не відновлюється. Для кількісної оцінки впливу загроз на ПЛЕ та порівняння їх інтенсивності нами розраховано загальний індекс небезпеки як добуток балів інтенсивності, просторового поширення та часового чинника загрози. Потім розраховували величину класового інтервалу за формулою (Зайцев, 1990):

$$C = \frac{[(X_{\max} - X_{\min}) \cdot \lg 2]}{\lg N}$$

де X_{\max} – максимальне значення загального індекса; X_{\min} – мінімальне значення загального інде-

кса; N – об'єм вибірки, відповідає числу значень загального індекса в межах інтервалу (мінчмах) (табл. 2). Побудову діаграм здійснювали за допомогою програм M. Excel, Statistica 10.

Результати та обговорення

Внаслідок сумарного та адитивного ефектів впливу загроз на ПЛЕ, неоднакової швидкості і можливості відновлення екосистеми після впливу, що зумовлено різними порогами чутливості окремих компонентів, важко оцінити масштаби пошкоджень та межі стійкості екосистеми. Шляхом вирішення цієї проблеми є застосування експертних оцінок [9] для декомпозиції проблеми на складники, яким потім надається бальна оцінка. Сума або добуток цих оцінок дає можливість порівнювати об'єкти між собою або стан об'єкта у різні часові проміжки. Таким чином, завдання оцінки загроз біорізноманіттю може бути формалізоване за таким алгоритмом:

1. Виділення факторів, що становлять загрозу біорізноманіттю ПЛЕ (виділено нами на основі списків [4, 6] (табл. 1).

2. Визначення значущості кожного чинника (за допомогою бальної оцінки).

3. Ранжування загроз відповідно до території, часового проміжку, інтенсивності дії.

4. Обрахування загального індексу через добуток оцінок.

5. Визначення подібності оцінок за групами загроз (кластерний, кореляційний аналіз).

6. Розробка заходів з пом'якшення (компенсації) впливів.

Характеристики інтенсивності дії, часового чинника та фактора просторового поширення не мають чіткої синхронізації (рис. 1а). Найінтенсивніші, наприклад, підтоплення та рекреаційне навантаження часто є короткочасними, лише вплив ЛЕП та магістральних трубопроводів є найменш вираженими у ПЛЕ.

Аналіз за групами загроз показав зсув значень вправо – до специфічних щодо ПЛЕ впливів (забруднення, турбуючий чинник, зміни едафолітогенної основи) (рис. 2). Найбільшу кількість балів за інтенсивністю впливу набрали такі групи загроз: фізико-хімічний вплив, зміни едафолітогенної основи, турбуючий та інші впливи (4,2–4,8 бала); за просторовим поширенням та часовим чинником: турбуючий та інші чинники, забруднення (4,0–5,0 балів) (рис. 2).

Таблиця 1. Види загроз біорізноманіттю ПЛЕ

Група	Види загроз
I. <i>Порушення гідрологічного режиму*</i>	1. Засолення
	2. Заболочування
	3. Підтоплення (Повінь)
	4. Осушення
II. Механічний вплив на біорізноманіття	5. Випас
	6. <i>Зкошування</i>
	7. Рекреаційне навантаження
	8. Пожежі
	9. Рубання, <i>знищення рослин іншими способами</i>
	10. Збір ягід та лікарських рослин
	11. Браконьєрство
	12. Заліснення територій невідповідними для умов культурами
	13. Орання
III. Фізико-хімічний вплив	14. <i>Комунально-побутові відходи та стічні води</i>
	15. Звалища
	16. <i>Залізничний, авто-, авіаційний транспорт</i>
	17. ЛЕП
	18. Промислові забруднення
	19. <i>Сільськогосподарські забруднення (особливо від тваринництва та аквакультури)</i>
	20. Військові забруднення
	21. <i>Магістральні та інші трубопроводи</i>
	22. Радіоактивне забруднення
	23. <i>Енергетичне, шумове, електромагнітне забруднення</i>
IV. Зміни едафолітогенної основи	24. Ерозія
	25. Кар'єри
	26. Опустелювання
	27. Селі
	28. Зсуви
	29. Абразія
	30. Вилучення ґрунтів
	31. Видобуток корисних копалин (пісок, щебінь, торф тощо)
	32. <i>Забір води з водойм</i>
	33. <i>Залізничні, автошляхи, аеропорти</i>
	34. <i>Житлове будівництво і міські території</i>
	35. <i>Промислові і індустріальні зони</i>
V. Забруднення	36. Біологічне забруднення (<i>адвентивні види</i>)
	37. Генне забруднення
VI. Турбуючий та інші чинники	38. Турбуючий чинник
	39. Загарбування земель
	40. <i>Зміни клімату внаслідок урбанізації (посушливість клімату, екстремально високі та екстремально низькі температури і т.д.)</i>
	41. <i>Фрагментація оселищ існування видів</i>

Примітка. * – наші доповнення до списку загроз виділено курсивом.

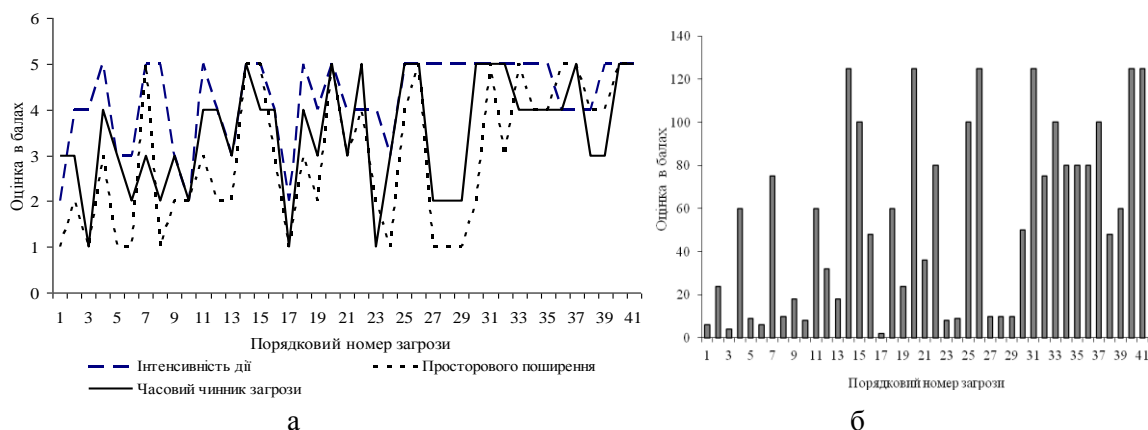


Рис. 1. а – бальна оцінка інтенсивності дії, просторового поширення та часового чинника загроз; б – загальний індекс небезпеки екологічних загроз ПЛЕ.

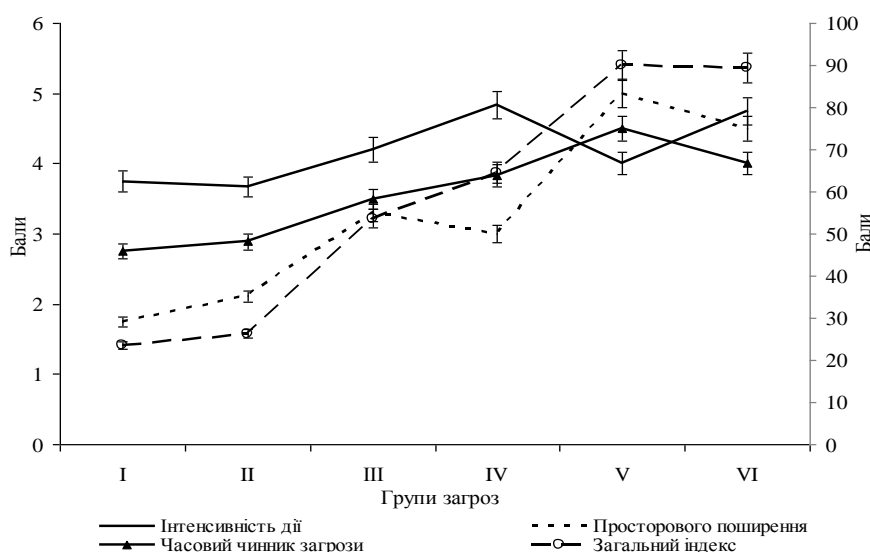


Рис. 2. Характеристика за групами загроз: I – порушення гідрологічного режиму; II – механічний вплив на біорізноманіття; III – фізико-хімічний вплив; IV – зміна едафо-літогенної основи; V – забруднення; VI – турбуючий та інші чинники.

За загальним індексом небезпеки загроз найінтенсивніші вважаються такі специфічні для урбоекосистем впливи: осушення (явища, спричинені зниженням рівня ґрунтових вод), рекреаційне навантаження, комунально-побутові відходи та стічні води, опустелювання, видобуток корисних копалин (пісок, щебінь, торф тощо), зміни клімату внаслідок урбанізації (посушливість клімату, екстремально високі та екстремально низькі температури і т. д.), фрагментація оселищ існування видів (рис. 1 б). За значеннями загального індексу загроз нами оцінено діапазон стану екосистем (табл. 2).

Відповідно до значення загального індексу до 1 класу належить 16 загроз (39 %), основні з яких відносять до груп порушення гідрологічного режиму та механічного впливу на біоріз-

номаніття. До 2 класу належить 4 загрози (9,8 %), це заліснення територій невідповідними для умов культурами, залізничний, авто-, авіаційний транспорт, магістральні трубопроводи, турбуючий чинник (фактор занепокоєння, спричинений рекреаційним навантаженням); до 3 класу належить 5 загроз (12,2 %) – осушення, браконьєрство, промислові забруднення, вилучення ґрунтів, загарбування земель. Оскільки 3 клас – поріг незворотності процесів, то за зняття навантаження (зменшення інтенсивності, часу впливу) 25 загроз (61 %) екосистема може відновлювати свій стан. До 4 класу належить 5 загроз (12,2 %), що спричиняють гострі зворотні зміни в екосистемі – рекреаційне навантаження, радіоактивне забруднення, промислові та індустріальні зони, біологічне забруднення; до 5 кла-

су – 10 загроз (24,3 %), що викликають гострі незворотні зміни (деградація екосистеми). Це комунально-побутові відходи та стічні води, військові забруднення, кар'єри, опустелювання, видобуток корисних копалин, залізничні, автошляхи, аеропорти, генне забруднення, зміни клімату внаслідок урбанізації (посушливість та ін.), фрагментація оселищ існування видів.

Щоб уникнути прояву закону критичних значень фактора та принципу лімітуючого чинника, що є неминучим негативним ефектом агрегування інтегральних індексів, коли вони застосовуються для оцінки складних відкритих біологічних систем, рекомендовано [10] використовувати в якості метрики простору відстані за Евклідом, тоді буде підкреслено вплив окремих координат, що мають аномально великі різниці, оскільки вони підносяться до квадрату [10]. Згідно з проведеним кластерним аналізом, найінтенсивніший вплив мають такі групи загроз: фізико-хімічний вплив, забруднення та зміни едафо-літогенної основи, турбуючий та інші чинники (рис. 3).

Кореляція між інтенсивністю, просторовим поширенням та часовим чинником загроз дуже складна: зі збільшенням тісноти зв'язку зростає кумулюючий ефект загроз (рис. 4). Якщо інтенсивність дії сильна, але діє короткий проміжок часу або просторове поширення значне, але інтенсивність слабка, тоді екосистеми швидко відновлюються після зняття негативного впливу. Кореляційні зв'язки за двома векторами – за групами та характеристиками загроз – у II групі загроз зв'язки інтенсивності, часу та просторового чинника є слабкими. У всіх інших групах найсильніші зв'язки просторового поширення з часовим чинником (0,8–0,95), слабші – з інтенсивністю загрози (0,16–0,56). Найсиль-

ніший кореляційний зв'язок за загальними значеннями (I–VI групи) між просторовим поширенням та часовим чинником загрози.

Важливими є відстань до інтенсивних чинників впливу, тип ПЛЕ (рівнинні, схиліві, надзаплавно-терасові, заплавні), клас (лісопаркові, садово-паркові), характер насаджень, що відбиває рівень стійкості та пружності екосистеми. Складність і специфічність оцінки загроз ПЛЕ зумовлена багатофакторністю впливів та мозаїчністю відповідей окремих компонентів і всієї екосистеми, характером та силою зв'язків ПЛЕ у межах урбосистеми, дією чинників, які хронічно ослаблюють ПЛЕ або мають екстремальні значення. Зокрема, важко врахувати межі дії окремо взятого чинника або їх сукупності, які мають ефекти синергізму, адитивності, нейтралізації, та виявити опосередковані впливи. Потрібно мати на увазі екосистемні (емерджентні) властивості ПЛЕ (стійкість, резистентність, інертність, самоорганізація), що безпосередньо впливають на можливість виживання в лімітуючих умовах урбосистеми. Також підтримуючим є позитивний вплив людини у містах (заміна загиблих дерев і насаджень новими, закладання нових парків, штучний полив), хоча він все одно не має вирішальної дії на стан ПЛЕ.

Безпосередній негативний вплив чинять також соціально-економічні загрози – порушення законів щодо відчуження земель під забудову, зміни власників, вимог щодо безпеки будівництва, корупція, бідність населення, недостатній рівень екологічної освіти, просвітницької діяльності, недосконалість адміністративного керування, що в підсумку призводить до катастрофічного зменшення зелених насаджень у містах, загибелі ПЛЕ та погіршення стану урбосистем, особливо мегаполісів.

Таблиця 2. Діапазон стану екосистем за значеннями загального індексу загроз ПЛЕ

Клас	Значення загального індексу, бали	Діапазон стану екосистем у процесі деградації
1	<24,6	Нормальні флуктуації; діагностичні ознаки екосистеми мінімально відхиляються від середніх значень
2	24,7ч49,2	Екстремальні флуктуації; діагностичні ознаки відхиляються до меж амплітуди флуктуацій
3	49,3ч73,8	Суттєво змінюються другорядні ознаки стабільності головних; відбуваються хронічні зміни в екосистемі
4	73,9ч98,4	Суттєво змінюються головні ознаки при збереженні другорядних, відбуваються гострі зворотні зміни
5	>98,4	Гострі незворотні зміни (деградація екосистеми); майже повна втрата діагностичних ознак вихідної екосистеми

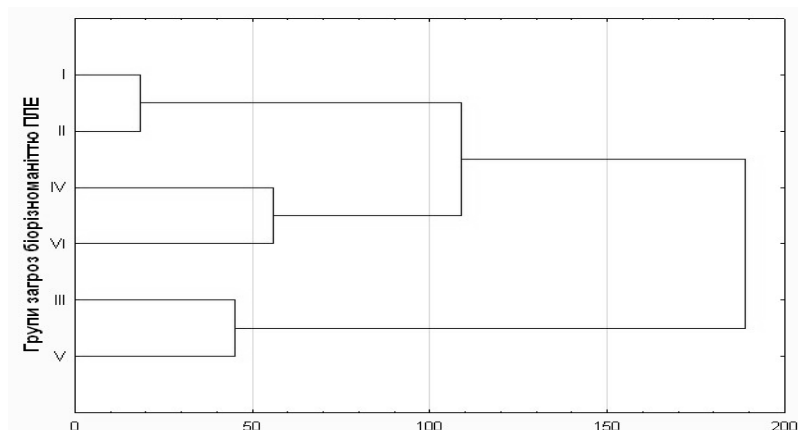


Рис. 3. Кластеризація за значеннями загального індексу небезпечності загроз ПЛЕ.

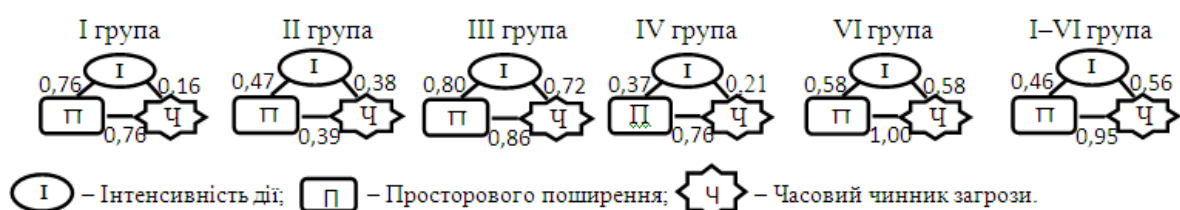


Рис. 4. Кореляційні зв'язки критеріїв оцінки загроз ПЛЕ.

Висновки

Отже, сформульовано та оцінено основні екологічні загрози парковим лісовим екосистемам. Поглиблено деякі методологічні аспекти щодо критеріїв оцінки загроз. Визначено класи небезпеки та розраховано загальний індекс небезпеки загроз. Характеристики інтенсивності дії, часового чинника та просторового поширення загроз не мають чіткої синхронізації. Загальний індекс небезпеки показав домінування за інтенсивністю та часом впливу специфічних для урбоекосистеми загроз – забруднення, зміни едафо-літогенної основи, турбуючий чинник та зменшення інших видів впливів (засолення, ви-

пас, оранка, абразія). Застосування кластерного аналізу дає змогу дещо нівелювати негативні ефекти агрегаційного індексу небезпеки. За його результатами, найінтенсивніший вплив мають такі групи загроз: фізико-хімічний вплив, забруднення та зміни едафо-літогенної основи, турбуючий чинник. Кореляція між інтенсивністю, просторовим поширенням та часовим чинником загроз дуже складна: зі збільшенням тісноти зв'язку зростає кумулюючий ефект впливів. Доведено кореляційний зв'язок за загальними значеннями (I–VI групи) між просторовим поширенням та часовим чинником загроз.

References

1. Wilby R.L., Perry G.L.W. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. *Progress in Physical Geography*. 2006. 30 (1). P. 73–98. doi: 10.1191/0309133306pp470ra.
2. Hulme P.E. Addressing the threat to biodiversity from botanic gardens. *Trends in Ecology & Evolution*. 2011. 26 (4). P. 168–174. doi: 10.1016/j.tree.2011.01.005.
3. Salafsky N., Wollenberg E. Linking Livelihoods and Conservation: A Conceptual Framework and Scale for Assessing the Integration of Human Needs and Biodiversity. *World Development*. 2000. № 28 (8). P. 1421–1438. doi: 10.1016/s0305-750x(00)00031-0.
4. Stein B.A. States of the Union: Ranking America's Biodiversity. Arlington, Virginia: Nature Serve, 2002. 27 p.
5. Upal N.H., Raju N., Gossel W., Sudhakar M. Environmental Hazards and Conservation Approach to the Biodiversity and Ecosystem of the St. Martin's Island in Bangladesh. *Management of Natural Resources in a Changing Environment*. Springer, Cham. 2015. P. 259–269. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-12559-6_20.
6. Ocinka i napriamki zmenshennia zagroz bioriznomanittiu Ukraini / vidp. red. O.V. Dudkin. K.: Vid-vo "Khimdzhest", 2003. 400 s. [in Ukrainian] / Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України / відп. ред. О.В. Дудкін. К.: Вид-во «Хімджест», 2003. 400 с.
7. Shelyag-Sosonko Yu.R., Diduh Ya.P., Ena V.G., Tarasenko V.S. Ocenka ugroz bioraznoobraziyu Krima. *Priroda*. Simferopol', 1998. № 12. P. 2–4. [in Russian] / Шеляг-Сосонко Ю.Р., Дидух Я.П., Ена В.Г., Тарасенко В.С. Оценка угроз биоразнообразию Крыма. *Природа*. Симферополь, 1998. № 1–2. С. 2–4.

8. Blinkova O.I. Ociniuvannia ekologichnikh zagroz ekosistemam i biotichnim kompleksam Krimu. *Naukovii visnik NLTU Ukraini*. 2012. Vol. 22, 11. P. 86–92. [in Ukrainian] / Блінкова О.І. Оцінювання екологічних загроз екосистемам і біотичним комплексам Криму. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22, 11. С. 86–92.
9. Burova N.V., Raj E.A., Korobov V.B., Tutygin A.G., Klepikovskaya E.V. Primenenie ehkspertnyh metodov dlya ocenki ugroz biologicheskomu raznoobraziyu. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal. un-ta. Ser.: estestvennye nauki*. 2010. № 2. S. 40–48. [in Russian] / Бурова Н.В., Рай Е.А., Коробов В.Б., Тутыгин А.Г., Клепиковская Е.В. Применение экспертных методов для оценки угроз биологическому разнообразию. *Вестник Северного (Арктического) федерал. ун-та. Сер.: естественные науки*. 2010. № 2. С. 40–48.
10. Kostina N.V., Rozenberg G.S., Hasaev G.R., Shlyahtin G.V. Statisticheskij analiz indeksa razvitiya chelovecheskogo potentsiala (na primere Volzhskogo bassejna). *Izv. Sarat. un-ta. Ser. Himiya. Biologiya. Ehkologiya*. 2014. T. 14, V. 3. S. 54–70. [in Russian] / Костина Н.В., Розенберг Г.С., Хасаев Г.Р., Шляхтин Г.В. Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала (на примере Волжского бассейна). *Изв. Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2014. Т. 14, Вып. 3. С. 54–70.

MIROSHNYK N.¹, TERTYCHNA O.², TESLENKO I.¹

¹ *Institute for Evolutionary Ecology of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03143, Kyiv, Lebedeva str., 37, e-mail: miroshnik_n_v@mail.ru*

² *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS Ukraine, Ukraine, 03143, Kyiv, Metrologichna str., 12, e-mail: olyater@ukr.net*

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL THREATS TO THE PARK'S FOREST ECOSYSTEMS

Aim. The aim is to assess the environmental threats to Park forest ecosystems and to study the possible links and the long-term consequences of their actions. **Methods.** Methods use of comparative analysis, classification, ranking of impacts, mathematical processing of data. **Results.** The main threats to Park forest ecosystems are formulated and evaluated. Deepened some of the methodological effects on criteria for assessment of threats. The classes of danger are defined, the General danger index of threats and correlation communications between groups and criteria of their assessment is calculated. The factors that have the most negative impact on the biodiversity of parks. **Conclusions.** In the conditions of urban ecosystems there is a strengthening and lengthening of the action of some threats and leveling of other types of impacts. The characteristics of the intensity of action, the time factor and the spatial spread of threats do not have a clear synchronization. The overall hazard index showed the dominance of the intensity and time of the impact of specific threats to the urban ecosystem.

Keywords: anthropogenic impact, General hazard index, urban ecosystem, biodiversity.