

*V. O. HRUT'BA, O. V. BARABASH, V. I. ZIUZIUN, D. S. NEVEDROV*

### **ЗАСТОСУВАННЯ БІОМОНІТОРИНГУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕК В ПРОЕКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Дослідження присвячене питанню можливості інтеграції біомоніторингу в процедуру оцінки впливу на довкілля проектів критичної інфраструктури. Встановлено, що до проектів критичної інфраструктури відносяться проекти пов'язані з будівництвом, реконструкцією та експлуатацією об'єктів критичної інфраструктури. Проекти критичної інфраструктури можуть бути небезпечними для довкілля, але вчасне виявлення характеру, інтенсивності, ступеня небезпеки проекту критичної інфраструктури для стану довкілля і здоров'я населення, зможе попередити процеси прояву і відповідно сприяти його успішному виконанню. Визначено особливості проведення процедури оцінки впливу на довкілля та її значущість, як фактору успішного проходження проектом всього життєвого циклу. Встановлено, що комплексне проведення процедури оцінки впливу на довкілля проекту критичної інфраструктури сприятиме ухваленню екологічно-грамотних управлінських рішень, які принесуть користь довкіллю. Розроблено алгоритм проведення оцінки впливу на довкілля для проектів критичної інфраструктури. Здійснено експрес-оцінку забруднення атмосферного повітря за допомогою методу дендроіндикації, заснованого на дослідженні стабільності розвитку деревних насаджень на всіх стадіях онтогенезу, для виявлення небезпек в проектах критичної інфраструктури. Практичне застосування методу дендроіндикації дозволить покращити можливості для виявлення в атмосферному повітрі діоксиду сірки та оцінити сумарну величину антропогенного навантаження на рослинні організми. Встановлено, що застосування дендроіндикації, як додаткового методу при проведенні оцінки впливу на довкілля, суттєво збільшить можливості у сфері визначення небезпек для проектів критичної інфраструктури, особливо в аспекті проектної діяльності щодо їх реконструкції та експлуатації. Застосування запропонованого методу в проектній діяльності сприятиме зменшенню їх можливого негативного впливу на стан навколишнього природного середовища.

**Ключові слова:** критична інфраструктура, проект, небезпека, біомоніторинг, дендроіндикація.

*V. A. HRUT'BA, E. V. BARABASH, V. I. ZIUZIUN, D. S. NEVEDROV*

### **ПРИМЕНЕНИЕ БИОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПАСНОСТЕЙ В ПРОЕКТАХ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Исследование посвящено вопросу возможности интеграции биомониторинга в процедуру оценки воздействия на окружающую среду проектов критической инфраструктуры. Установлено, что к проектам критической инфраструктуры относятся проекты, связанные со строительством, реконструкцией и эксплуатацией объектов критической инфраструктуры. Проекты критической инфраструктуры могут быть опасными для окружающей среды, но своевременное выявление характера, интенсивности, степени опасности проекту критической инфраструктуры для состояния окружающей среды и здоровья населения, сможет предупредить процессы проявления и соответственно способствовать успешному выполнению. Определены особенности проведения процедуры оценки воздействия на окружающую среду и ее значимость, как фактора успешного прохождения проектом всего жизненного цикла. Установлено, что комплексное проведение процедуры оценки воздействия на окружающую среду проекту критической инфраструктуры будет способствовать принятию экологически грамотных управленческих решений, которые принесут пользу окружающей среде. Разработан алгоритм проведения оценки воздействия на окружающую среду для проектов критической инфраструктуры. Проведено экспрес-оценку загрязнения атмосферного воздуха с помощью метода дендроиндикации, основанного на исследовании стабильности развития древесных насаждений на всех стадиях онтогенеза, для выявления опасностей в проектах критической инфраструктуры. Практическое применение метода дендроиндикации позволит улучшить возможности для выявления в атмосферном воздухе диоксида серы и оценить суммарную величину антропогенной нагрузки на растительные организмы. Установлено, что применение дендроиндикации в качестве дополнительного метода при проведении оценки воздействия на окружающую среду существенно увеличит возможности в сфере определения опасностей для проектов критической инфраструктуры, особенно в аспекте проектной деятельности по их реконструкции и эксплуатации. Применение предложенного метода в проектно деятельности будет способствовать уменьшению их возможного негативного влияния на состояние окружающей природной среды.

**Ключевые слова:** критическая инфраструктура, проект, опасность, биомониторинг, дендроиндикация.

*V. A. KHRUTBA, O. V. BARABASH, V. I. ZIUZIUN, D. S. NEVEDROV*

### **USE OF BIOMONITORING TO IDENTIFY HAZARDS IN CRITICAL INFRASTRUCTURE PROJECTS**

The study addresses the possibility of integrating biomonitoring into the environmental impact assessment process of critical infrastructure projects. It has been established that critical infrastructure projects include projects related to the construction, reconstruction and operation of critical infrastructure facilities. Critical infrastructure projects can be hazardous to the environment, but the timely identification of the nature, intensity, degree of danger of the critical infrastructure project for the state of the environment and public health will be able to prevent processes of manifestation and accordingly promote successful implementation. The peculiarities of carrying out the procedure of environmental impact assessment and its importance as a factor of successful passage of the project throughout the life cycle are determined. It has been established that a comprehensive environmental impact assessment procedure will help to make environmentally sound management decisions that will benefit the environment. An algorithm for carrying out environmental impact assessment for critical infrastructure projects has been developed. A rapid assessment of atmospheric air pollution was carried out using the method of dendroindication based on the study of the stability of tree plantations at all stages of ontogenesis to identify hazards in projects of critical infrastructure. Practical application of the method of dendroindication will allow to improve the possibilities for the detection of sulfur dioxide in the atmosphere and to estimate the total value of anthropogenic load on plant organisms. It is established that the use of dendrology as an additional method in carrying out the environmental impact assessment will significantly increase the opportunities in the field of hazard identification for critical infrastructure projects, especially in the aspect of project activities for their reconstruction and operation. The application of the proposed method in the project activities will help to reduce their possible negative impact on the state of the environment.

**Keywords:** critical infrastructure, project, hazard, monitoring, bioindication.

**Вступ.** Критична інфраструктура (КІ) є сукупністю об'єктів, які є стратегічно важливими для економіки і безпеки держави, суспільства, населення та порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам України. Тому питання дослідження особливостей її функціонування, розвитку та захисту є одним із пріоритетів Уряду і стає з кожним роком все більш актуальним.

До світового переліку об'єктів КІ відносять енергетичні магістральні мережі та підприємства, які виробляють електроенергію, газо- та нафтопроводи, системи наземного транспортного сполучення, аеропорти, морські порти, системи життєзабезпечення мегаполісів, системи утилізації відходів (сміттєспалювальні заводи), служби екстреної допомоги населенню та служби реагування на надзвичайні ситуації, високотехнологічні підприємства та інші.

В Україні на даний час відсутня законодавча та нормативно-технічна база, яка б регламентувала як функціонування та експлуатацію об'єктів КІ, так і їх захист. Відсутній механізм попередження можливих небезпечних ситуацій, що пов'язані із функціонуванням критичної інфраструктури, а дослідження в даній сфері мають локальний та вузьконаправлений характер. В той же час, функціонування кожного об'єкту КІ супроводжується проектами та проектною діяльністю, яка пов'язана з ними.

З 2017 року введено в дію Закон України «Про оцінку впливу на довкілля», який передбачає процедуру оцінки стану довкілля при здійсненні планованої діяльності проекту, визначення потужності та видів сукупного впливу (прямого та опосередкованого) на навколишнє середовище, аналіз екологічних ризиків, прогнозів, перспектив соціально-економічного розвитку. Головною метою проектною діяльністю є отримання кінцевого продукту – результату проекту. Процедура проходження оцінки впливу на довкілля (ОВД) впливає на проект від його початкової фази. Комплексне проведення процедури ОВД проекту КІ сприятиме ухваленню екологічно-грамотних управлінських рішень, які принесуть користь довкіллю.

Проекти критичної інфраструктури можуть бути небезпечними для довкілля, але вчасне виявлення характеру, інтенсивності, ступеня небезпеки проекту КІ для стану довкілля і здоров'я населення, зможе попередити процеси прояву і відповідно сприяти його успішному виконанню.

Тому питанню можливості застосування методу дендрологічної індикації для виявлення небезпек проектів критичної інфраструктури і буде присвячено дане дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні роки питання функціонування об'єктів критичної інфраструктури та її захисту розглядалося у низці робіт, зокрема, Д.С. Бірюкова [1–4], В.О. Євсєєва [5], О.М. Суходолі [6], В.М. Чернеги [7],

Уряднікова І.В. [8], Д.Г. Бодро [9], О.І. Лисенка [9], В.Ф. Гречанінова [11], Ю.П. Рака та О.Б. Зачка [12]. Дані роботи присвячені аналізу поняття критичної інфраструктури та формуванню заходів щодо безпеки та захисту об'єктів критичної інфраструктури.

Питанням екологічного моніторингу та прогнозуванню змін довкілля, особливостям проведення та вибору об'єктів дендрологічної індикації, а також систематизуванню методів біоіндикації та біотестування присвячені праці багатьох науковців, серед яких А. Запольський та А. Войцицький [13], І. Герасимов [14], О. Мелехова та Є. Сарапульцева [15], Є. Єгорова [16], І. Тарасенко [17], Т. Ашихміна [18], Н. Ловеліус [19], С. Шиятов [20], В. Левкович [21], Д. Ахмерова [22] та ін.

**Мета роботи.** Інтеграція біомоніторингу, як методу визначення небезпек в процедури здійснення оцінки впливу на довкілля проектів критичної інфраструктури.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єкти критичної інфраструктури та проекти, які з ними пов'язані варто класифікувати за трьома основними типами (рис. 1.)

Згідно сучасних вимог кожен проект має проходити процедуру оцінки впливу на довкілля [23]. Процедура ОВД має враховувати процеси, які можуть негативно впливати на довкілля не лише під час виконання проектів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури, але й при подальших впливах, які можуть супроводжувати експлуатацію відповідного об'єкту.

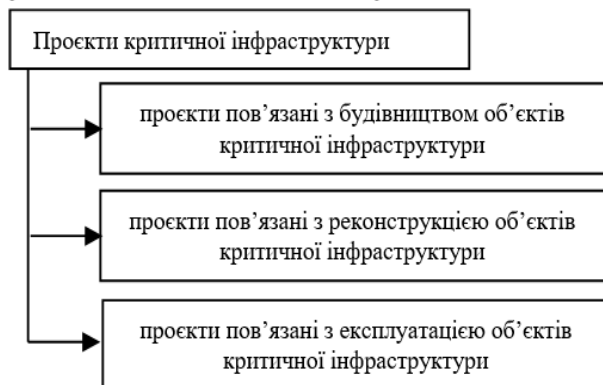


Рис. 1. Класифікація проектів критичної інфраструктури

На рис. 2. наведено алгоритм проведення ОВД для проектів критичної інфраструктури.

Проте при проведенні процедури ОВД, інколи, буває складно визначити рівень забруднення атмосферного повітря, водного та ґрунтового середовища традиційними методами. В такому випадку можна застосувати альтернативні методи визначення наявності забруднюючих речовин, наприклад біоіндикацію, яка дозволить визначити рівень забруднення атмосферного повітря при проведенні ОВД проектів критичної інфраструктури.

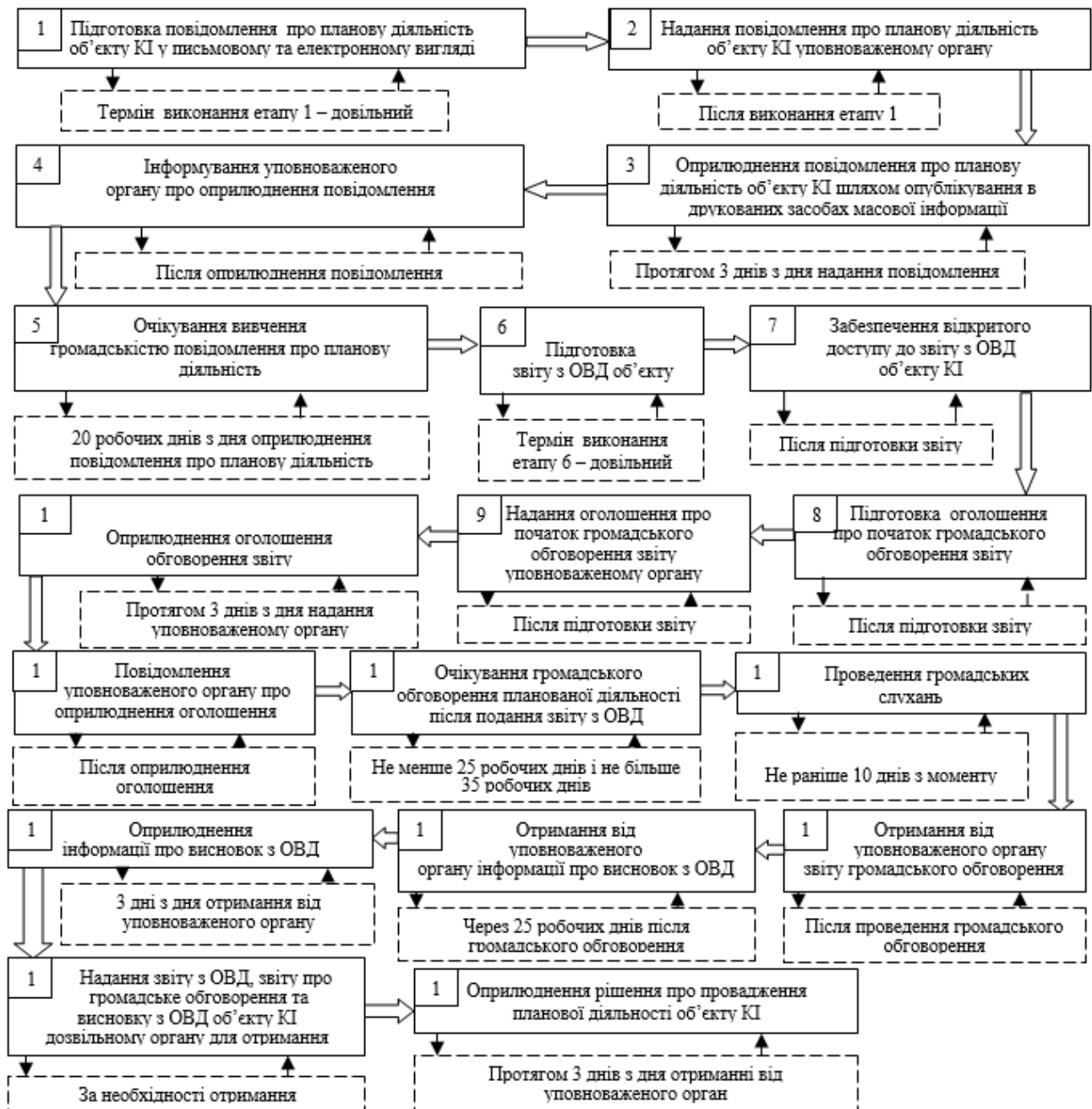


Рис. 2. Алгоритм проведення ОВД для проєктів критичної інфраструктури

Одним із методів ранньої біодіагностики техногенно забруднених територій є дендроіндикація, яка застосовується для достовірної оцінки комплексної дії несприятливих факторів, які відображуються у вигляді морфологічних, фізіологічних, біохімічних та ін. порушень у листових пластинках деревних рослин. Дендроіндикація дозволяє одночасно вирішувати задачі оцінювання впливу викидів промислових підприємств, автомобільного транспорту та інших джерел забруднення на стан деревних насаджень. Тому, для успішного проходження проєктами критичної інфраструктури процедури ОВД виникає необхідність у визначенні ступеня антропогенного впливу на рослинні організми для вдалої реалізації і завершення проєктів критичної інфраструктури.

Метод дендроіндикації базується на виявленні залежності ступеня пошкодження хвої (некрозів і хлорозів) від забруднення повітря діоксидом сірки в районі розвитку сосни звичайної. За умов відсутності техногенного впливу в лісових екосистемах основна маса хвої сосни звичайної не ушкоджена і лише мала частина хвоїнок має світло-зелені плями й некротичні вкраплення мікроскопічних розмірів, рівномірно розташовані по всій поверхні. В атмосфері забрудненій діоксидом сірки з'являються пошкодження і знижується тривалість життя хвої сосни.

Для визначення в атмосферному повітрі діоксиду сірки за зміною морфологічних ознак сосни звичайної, було обрано Дарницький район м. Києва.

Значна частина викидів у атмосферне повітря досліджуваного району пов'язана з діяльністю об'єктів критичної інфраструктури: підприємства

автомобільного транспорту, автозаправні станції, магістральні вулиці міського та районного значення (табл. 1).

Таблиця 1 – Об'єкти наземної транспортної інфраструктури Дарницького району

| Назва об'єкту                                 | Кількість |
|---|-----------|
| Підприємства автомобільного транспорту        | 15 од.    |
| Автобусні маршрути                            | 15 од.    |
| Таксомоторні маршрути                         | 23 од.    |
| Гаражно-будівельні кооперативи                | 31 од.    |
| Стоянки автомобільного транспорту             | 28 од.    |
| Автозаправні станції                          | 19 од.    |
| Станції технічного обслуговування             | 4 од.     |
| Магістральні вулиці загальноміського значення | 12,847 км |
| Магістральні вулиці районного значення        | 61,094 км |
| Вулиці місцевого значення                     | 41,150 км |
| Місцеві проїзди між кварталами                | 3,637 км  |

Всі зазначені в табл. 1 об'єкти наземного транспорту, об'єкти критичної інфраструктури, а також проекти їх реконструкції та експлуатації, в комплексі здійснюють негативний вплив на стан атмосферного повітря досліджуваного району, в тому числі і з точки зору викидів діоксиду сірки. Згідно санітарно-епідеміологічного моніторингу в Дарницькому районі було зафіксовано перевищення щодо 5-ти забруднюючих речовин, в тому числі і SO<sub>2</sub> [24]:

- пил (в 1,12–1,32 рази);
- оксид вуглецю (в 1,2–1,4 рази);
- діоксид азоту (в 1,1–1,25 рази);
- діоксид сірки (в 1,12–1,2 рази);
- формальдегід (в 1,08–1,6 рази).

Для дослідження впливу функціонування транспортної інфраструктури, в тому числі і критичної, на стан атмосферного повітря Дарницького району була відібрана хвоя сосни звичайної. Експериментальне визначення ступеня некротичних ушкоджень та хлорозів хвої від викидів діоксиду сірки здійснювалося за бонітетними класами згідно табл. 2.

Таблиця 2 – Шкала бонітетних класів пошкоджень хвої сосни звичайної [25]

| Некрози |  |
|---------|--|
| 1-клас  | плями відсутні   |
| 2-клас  | невелика кількість дрібних цяток                                   |
| 3-клас  | велика кількість жовтих і чорних плям, деякі на всю ширину хвоїнки |
| Хлорози |  |
| 1-клас  | немає сухих ділянок  |
| 2-клас  | кінчик хвоїнки на 2-5 мм всох                                      |
| 3-клас  | третина хвоїнки суха   |
| 4-клас  | вся хвоїнка жовта або більше половини її суха                      |

Для проведення досліджень обрано три міські ділянки з переважанням насаджень сосни звичайної, які знаходились на однаковій відстані від автомобільної дороги та інших об'єктів критичної інфраструктури.

Ділянка 1 – лісовий масив поблизу Бориспільського шосе (магістральна вулиця загальноміського значення з посиленням рухом автомобільного транспорту на в'їзд та виїзд з м. Києва). У безпосередній близькості до місця відбору проб розташовуються АЗС «ОККО», «Бром-Нафта» та «Укравто».

Ділянка 2 – парк «Партизанська слава», який знаходиться поруч із автомобільною дорогою, що проходить вздовж вул. Славгородська з інтенсивним автомобільним рухом.

Ділянка 3 – лісовий масив поблизу мікрорайону Бортничі. В районі дослідження знаходиться вул. Промислова та автотраса Т 1016, яка інтенсивно завантажена рухом вантажних автомобілів.

Відібрану хвою досліджували шляхом візуальних спостережень за ступенем наявності некрозів (ділянки хвої з відмерлими ділянками мезофілу) та хлорозів (пожовтіння, викликане порушеннями утворення хлорофілу в клітинах фотосинтезуючої тканини). Зазначені характеристики дозволяють створити комплексне уявлення про стан рослинних організмів на досліджуваних ділянках (табл. 3).

Таким чином, аналізуючи результати дослідження, які наведено в табл. 3. можна зазначити, що сосна звичайна активно реагує на забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки у вигляді хлорозів на дослідній ділянці 1. На дослідній ділянці 2 хлорози хвої сосни звичайної майже не спостерігаються, що пояснюється відсутністю інтенсивного автомобільного руху та впливу підприємств.

Некротичні пошкодження рослин спостерігаються на всіх досліджуваних ділянках Дарницького району і є прямим відображенням забруднення природних компонентів міського середовища та антропогенного навантаження, яке позначається на процесах розвитку хвойних деревних насаджень міста.

Таблиця 3 – Ступінь пошкодження (некрози) та усихання (хлорози) хвої сосни звичайної

| Некрози хвої | Ділянка 1 (400 шт.) |                | Ділянка 2 (400 шт.) |                | Ділянка 3 (400 шт.) |                |
|--------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|              | Кількість хвої, шт. | Пошкодження, % | Кількість хвої, шт. | Пошкодження, % | Кількість хвої, шт. | Пошкодження, % |
| 1-клас       | 160                 | 40,00          | 130                 | 32,50          | 130                 | 32,50          |
| 2-клас       | 110                 | 27,50          | 80                  | 20,00          | 79                  | 19,75          |
| 3-клас       | 130                 | 32,50          | 190                 | 47,50          | 191                 | 47,75          |
| Хлорози хвої | Кількість хвої, шт. | Усихання, %    | Кількість хвої, шт. | Усихання, %    | Кількість хвої, шт. | Усихання, %    |
| 1-клас       | 241                 | 60,25          | 378                 | 94,50          | 304                 | 76,00          |
| 2-клас       | 102                 | 25,50          | 22                  | 5,50           | 96                  | 24,00          |
| 3-клас       | 57                  | 14,25          | -                   | -              | -                   | -              |
| 4-клас       | -                   | -              | -                   | -              | -                   | -              |

**Висновки.** Встановлено, що дендроіндикація (заснована на експрес-методі) відображує перетворення, які відбуваються у природних компонентах міського ландшафту порушених в результаті комплексу емісійних, фонових-параметричних та ландшафтно-деструкційних впливів об'єктів критичної інфраструктури. Застосування даного методу при проведенні оцінки впливу на довкілля для визначення небезпек проєктів критичної інфраструктури, особливо в аспекті проєктної діяльності щодо реконструкції та експлуатації існуючих об'єктів критичної інфраструктури дозволить попередити та зменшити їх негативний вплив на довкілля.

#### Список літератури

- Бірюков Д. С. Захист критичної інфраструктури в Україні: від наукового осмислення до розробки засад політики. *Наук.-інформ. вісн. Акад. нац. безпеки*. 2015. № 3-4. С. 155-170.
- Бірюков Д. С., Кондратов С. І. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні : зб. матеріалів міжнар. експерт. нарад / за заг. ред. О.М. Суходолі. Київ : НІСД, 2016. 176 с.
- Бірюков Д. С. *Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні : Аналітична записка*. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1026>. (дата звернення : 15.11.2019).
- Бірюков Д. С. *Загрози критичній інфраструктурі та їх вплив на стан національної безпеки: Аналітична записка*. URL: [http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/KI\\_Ivanyuta-3a331.pdf](http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/KI_Ivanyuta-3a331.pdf) (дата звернення : 15.11.2019).
- Євсєєв В.О. Можливі шляхи удосконалення захисту критичної інфраструктури України з урахуванням світового досвіду. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2016. № 4 (49). С. 168-172.
- Суходоля О. М. *Захист критичної інфраструктури: Сучасні виклики та пріоритетні завдання сектору безпеки*. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILE=&2\\_S21STR=nivanb\\_2017\\_1-2\\_7](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=nivanb_2017_1-2_7) (дата звернення : 17.11.2018).
- Чернега В.М. *Аналіз критичної інфраструктури та напрямки досліджень систем життєзабезпечення об'єктів України : Аналітична записка*. URL: <file:///C:/Users/Student/Desktop/1102%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-4193-1-10-20161205.pdf> (дата звернення : 17.11.2019).
- Уряднікова І. В., Чумаченко С. М., Кармазін С. В., Тесленко О. М. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури. *Науковий вісник Академії муніципального управління*. Серія : Техніка. 2015. Вип. 1. С. 206-218.
- Бодро Д. Г. Методологія оцінки рівня в критичній інфраструктурі. *Стратегічні пріоритети. Серія «Економіка»*. 2015. № 4 (37). С. 83-93.
- Лисенко О. І., Чеканова І. В., Кутвий О. П., Нікітін В. А. *Стратегія управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури в умовах невизначеності*. URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/infrastrukt-86de2.pdf>. (дата звернення : 18.11.2019).
- Гричанинов Г. Ф. *Актуальні проблеми модернізації ризиків і загроз критичних інфраструктур*. URL: [http://www.nas.gov.ua/siaz/Ways\\_of\\_development\\_of\\_Ukrainian\\_science/article/15026.3.1.002.pdf](http://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/15026.3.1.002.pdf). (дата звернення : 18.11.2019).
- Рак Ю. П., Зачко О. Б., Кобилкін Д. С., Головатий Р. Р. Безпекоорієнтоване управління регіональними проєктами захисту критичних інфраструктур засобами системи. *Управління проєктами та розвиток виробництва*. 2016. № 1 (57). С. 49-55.
- Попільський А. К. *Моніторинг довкілля: підручник*. Кам'янець-Подільський : ПП «Медобори», 2006. Том 1. 408 с.
- Снытко В. А., Собисевич А. В. Система екологічного моніторингу в научному наследи академиків І.П. Герасимова і Ю.А. Израэля. *Індикація состояния окружающей среды: теория, практика, образование: труды V международной научно-практической конференции*. 2017. С. 393 – 398.
- Мелехова О. П., Сарапульцева Е. И. *Биологический контроль окружающей среды*. Москва : Биоиндикация и биотестирование, 2008. 288 с.
- Егорова Е. И., Белоплицкая В. И. *Биотестирование и биоиндикация окружающей среды: учеб. пособие по курсу «Биотестирование»*. Обнинск, 2000. 78 с.
- Тарасенко И. Н. К вопросу о биотестировании. *Экология и охрана окружающей среды*. 1999. №5. С.56–59.
- Ашихмина Т. Я. *Экологический мониторинг*. Москва, 2005. 416 с.
- Ловелиус Н. В. *Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий*. Л., 1979. 232 с.
- Шиятов С. Г. *Основы дендрохронологии. Сбор и получение древно-кольцевой информации*. Красноярск, 2000. 80 с.
- Левкович В. О., Муж Г. В. *Біоіндикація забруднення атмосферного повітря за станом Pinus sylvestris*. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/26937/1/Levkovych.pdf> (дата звернення : 20.11.2019).
- Ахмерова Д. Н., Шахинова Н. В. *Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха по состоянию хвои сосны обыкновенной на территории города. Достижения науки и образования*. 2018. С. 7-9.
- Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23 травня 2017 року № 2059-VIII. Офіційний портал Верховної Ради*. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення : 20.11.2019).
- Екологічний паспорт Дарницького району м. Києва станом на 31 серпня 2018 року (Аналіз екологічного стану Дарницького району міста Києва)*. URL: [https://darn.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport\\_ekologichniy\\_2018.pdf](https://darn.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport_ekologichniy_2018.pdf) (дата звернення : 22.11.2019).

25. Jager E. J. Indikation von Luftverunreinigungen durch morphometrische Uebersuellungen an Hoheren Pflanzen. R. Schubert, J. Schuh (llrsg.). *Bioindikation, Teil 3, Kongress und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universitat Halle-Wittenberg*. Wiss. Beitrage. 1980. P. 43–52.

## References (transliterated)

- Birjukov D. S. Zahyst krytychnoji infrastruktury v Ukraini: vid naukovoogo osmyslennja do rozrobky zasad polityky [Critical Infrastructure Protection in Ukraine: From Scientific Understanding to Policy Making]. *Nauk.-inform. visn. Akad. nac. Bezpeky* [Scientific-inform. hanging Acad. nat. security]. 2015, no. 3-4, pp. 155-170.
- Birjukov D. S., Kondratov S. I. *Zelena knyha z pytan' zahystu krytychnoji infrastruktury v Ukraini : zb. materialiv mizhnar. ekspert. Narad* [Green Paper on Critical Infrastructure Protection in Ukraine: Coll. materials international. expert. Meeting]. Kyiv, NISD, 2016. 176 p.
- Birjukov D. S. *Zahyst krytychnoji infrastruktury: problemy ta perspektyvy vprovadzhennja v Ukraini : Analitychna zapyska*. [Critical Infrastructure Protection: Challenges and Prospects for Implementation in Ukraine: An Analytical Note]. URL : <http://www.niss.gov.ua/articles/1026>. (accessed 15.11.2019)
- Birjukov D. S. *Zagrozy krytychnij infrastrukturi ta jih vplyv na stan nacional'noji bezpeky: Analitychna zapyska* [Critical Infrastructure Threats and Their Impact on National Security: An Analytical Note]. URL: [file:///C:/Users/Student/Desktop/nivanb\\_2015\\_3-4\\_14.pdf](file:///C:/Users/Student/Desktop/nivanb_2015_3-4_14.pdf). (accessed 15.11.2019)
- Jevsjejev V. O. Mozhyvi shljahy udoskonalennja zahystu krytychnoji infrastruktury Ukrainy z urahuvannjam svitovogo dosvidu [There are possible ways to improve the protection of Ukraine's critical infrastructure, taking into account world experience]. *Zbirnyk naukovyh prac' Harkivs'kogo nacional'nogo universytetu Povitryanjyh Syl* [Proceedings of Kharkiv National University of the Air Force]. 2016, 4(49), pp. 168-172.
- Suhodolja O. M. *Zahyst krytychnoji infrastruktury: Suchasni vyklyky ta prioritetni zavdannja sektoru bezpeky* [Critical Infrastructure Protection: Current Challenges and Priorities for the Security Sector]. URL : [file:///C:/Users/Student/Desktop/nivanb\\_2017\\_1-2\\_7.pdf](file:///C:/Users/Student/Desktop/nivanb_2017_1-2_7.pdf). (accessed 31.10.2018)
- Chernega V. M. *Analiz krytychnoji infrastruktury ta naprjamky doslidzen' system zhyttjzabezpechennja ob'ektiv Ukrainy : Analitychna zapyska* [Critical Infrastructure Analysis and Research Directions for Life Support Systems in Ukrainian Objects]. URL : <file:///C:/Users/Student/Desktop/1102%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%D0%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-4193-1-10-20161205.pdf>. (accessed 17.11.2019)
- Urjadnikova I. V., Chumachenko S. M., Karmazin S. V., Teslenko O. M. Zastosuvannja ekspertno-analitchnyh metodiv dlja ocinjuvannja ryzykiv nadzvychajnyh sytuacij na ob'ektah krytychnoji infrastruktury [Application of expert-analytical methods for assessing risks of emergency situations at critical infrastructure facilities]. *Naukovyj visnyk Akademiji municipal'nogo upravlinnja* [Scientific Bulletin of the Academy of Municipal Administration]. 2015, Vol. 1, pp. 206-218.
- Bobro D. G. Metodologija ocinky rivnja v krytychnij infrastrukturi [Critical infrastructure level assessment methodology]. *Strategichni prioriteti. Serija «Ekonomika»* [Strategic priorities. Economy Series]. 2015, no. 4 (37), pp. 83-93.
- Lysenko O. I., Chekanova I. V., Kutovij O. P., Nikitin V. A. *Strategiji upravlinnja ryzykamy na ob'ektah krytychnoji infrastruktury v umovah nevyznachenosti* [Risk management strategies at critical infrastructure facilities in an uncertain environment]. URL : <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/infrastrukt-86de2.pdf>. (accessed 18.11.2019)
- Grichaninov G. F. *Aktual'ni problemy modernizaciji ryzykiv i zagroz krytychnyh infrastruktur* [Actual problems of modernization of risks and threats of critical infrastructures]. URL : [http://www.nas.gov.ua/siaz/Ways\\_of\\_development\\_of\\_Ukrainian\\_science/article/15026.3.1.002.pdf](http://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/15026.3.1.002.pdf). (accessed 18.11.2019)
- Rak Ju. P., Zachko O. B., Kobylkin D. S., Golovatyj R. R. *Bezpeko-orijentovane upravlinnja regional'nymy proektamy zahystu krytychnyh infrastruktur zasobamy systemy* [Security-oriented management of regional critical infrastructure protection projects by system assets]. *Upravlinnja proektamy ta rozvytku vyrobnyctva* [Project management and production development]. 2016, no. 1 (57), pp. 49-55.
- Zapol's'kyj A. K. *Monitoryng dovkillja: pidruchnyk* [Environmental monitoring: a textbook]. Kam'janec'-Podil's'kyj, PP «Medobory», 2006. Vol. 1. 408 p.
- Snytko V. A., Sobseyevych A. V. *Systema ekologicheskogo monytorynha v nauchnom nasleddy akademikov Y. P. Gerasymova y Ju. A. Yzraelja* [The system of environmental monitoring in the scientific heritage of academicians I. P. Gerasimova and Yu. A. Israel]. *Yndykacija sostojannya okruzhajushhej sredy: teoryja, praktyka, obrazovannja: trudy V mezhdunarodnoj nauchno-praktycheskoj konferencyi* [Indication of the state of the environment: theory, practice, education: proceedings of the V international scientific and practical conference]. 2017, pp. 393–398.
- Melehova O. P., Sarapul'ceva E. Y. *Byologicheskij kontrol' okruzhajushhej sredy* [Biological environmental control]. Moscow, Byoindykacija y byotestyrovannje, 2008. 288 p.
- Egorova E. Y., Belolypeckaja V. Y. *Byotestyrovannje y byoindykacija okruzhajushhej sredy: ucheb. posobyje po kursu «Byotestyrovannje»* [Biotesting and bioindication of the environment: textbook. allowance for the course "Biotesting"]. Obnynsk, 2000. 78 p.
- Tarasenko Y. N. K voprosu o byotestyrovannji [To the issue of bioassay]. *Ekologija y ohrana okruzhajushhej sredy* [Ecology and environmental protection]. 1999, no. 5, pp. 56–59.
- Ashyhmyna T. Ja. *Ekologicheskij monytorynng* [Environmental monitoring]. Moscow, 2005. 416 p.
- Lovelyng N. V. *Yzmenchivost' pryrosta derev'ev. Dendroyndykacija pryrodnih processov y antropogennyh vozdejstvij* [Variability of tree growth. Dendroindication of natural processes and anthropogenic impacts]. L., 1979. 232 p.
- Shyjtatov S. G. *Osnovy dendrohronology. Sbor y poluchenye dreveno-kol'cevoj ynfarmacyi* [Fundamentals of Dendrochronology. Collecting and receiving tree-ring information]. Krasnojarsk, 2000. 80 p.
- Levkovyh V. O., Muzh G. V. *Bioindykacija zabrudnennja atmosfernogo povitryja za stanom Rinus sylvestris* [Bioindication of atmospheric air pollution as of Pinus villagevestris]. URL : <http://eprints.zu.edu.ua/26937/1/Levkovyh.pdf>. (accessed 20.11.2019)
- Ahmerova D. N., Shahrynova N. V. *Byoindykacija zagraznennja atmosfernogo vozduha po sostojanju hvoy sosny obyknovnojj na terrytorij goroda* [Bioindication of air pollution by the state of pine needles in the city]. *Dostyzhennja nauky y obrazovannja* [Achievements of science and education]. 2018. P. 7-9.
- Pro ocinku vplyvu na dovkillja: Zakon Ukrai'ny vid 23 travnja 2017 roku № 2059-VIII [On Environmental Impact Assessment: Law of Ukraine of May 23, 2017 No. 2059-VIII] *Oficijnyj portal Verhovnoi' Rady Ukrai'ny* [The official portal of the Verkhovna Rada]. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>. (accessed 20.11.2019)
- Ekologichnyj pasport Darnyc'kogo rajonu m. Kyjeva stanom na 31 serpnja 2018 roku (Analiz ekologichnogo stanu Darnyc'kogo rajonu mista Kyjeva)* [Environmental passport of Darnytskyi district of Kyiv as of August 31, 2018 (Analysis of ecological status of Darnytskyi district of Kyiv)]. URL : [https://dam.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport\\_ekologichnyj\\_2018.pdf](https://dam.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport_ekologichnyj_2018.pdf). (accessed 22.11.2019)
- Jager E. J. Indikation von Luftverunreinigungen durch morphometrische Uebersuellungen an Hoheren Pflanzen. In: R. Schubert, J. Schuh (llrsg.). *Bioindikation, Teil 3, Kongress und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universitat Halle-Wittenberg*. Wiss. Beitrage, 1980, pp. 43–52.

Надійшла (received) 27.12.2019

**Хрутьба Вікторія Олександрівна (Хрутьба Виктория Александровна, Khrutba Viktoriia Alexandrovna)** – доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380935372915; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8121-2042>.

**Барабаш Олена Василівна (Барабаш Елена Васильевна, Varabash Olena Vasylivna)** – кандидат біологічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: el\_barabash@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5206-2922>.

**Зюзюн Вадим Ігорович (Зюзюн Вадим Игоревич, Ziuziun Vadym Ihorovych)** – кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: vadim1489\_@ukr.net, тел. +380939834845; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6566-8798>.

**Неведров Дмитро Сергійович (Неведров Дмитрий Сергеевич, Nevedrov Dmitriy Sergeevich)** – здобувач, Національний транспортний університет, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7213-6159>.