

УДК 504.054:504.06(477.8)

Angelina Chugai, Doctor of Science (Technical), Professor, Head of the Department of Environmental Science and Environmental Protection

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8091-8430> **e-mail:** avchugai@ukr.net

Maksym Nedostrelov, Postgraduate student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-5407-811X> **e-mail:** maximnedostrev@gmail.com

Odesa I.I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF TECHNOGENIC LOAD ON THE ENVIRONMENT OF WESTERN UKRAINE REGIONS

Abstract. *Today, all natural components of the environment are under technologic pressure. This impact has intensified significantly in the last few years due to the military conflict in Ukraine. When assessing the technogenic impact on the environment, methods are used to evaluate individual components of the environment or to conduct a comprehensive assessment. In scientific literature, the vast majority of works are devoted to assessing the impact on individual components of the environment.*

The purpose of the study was to develop a method for comprehensive assessment of technogenic load on the environment and to test it on the example of regions of Western Ukraine. Based on preliminary assessments of technogenic load on individual components of the environment, a number of indicators for comprehensive assessment (8 parameters) were determined. Weight coefficients for each of the assessment indicators were determined. A calculation formula for determining the comprehensive indicator of technogenic load (CILT) and an assessment scale of load levels were proposed.

The methodology was tested for regions of Western Ukraine based on research data from 2009 to 2023. The determination of weight coefficients showed that the most significant among various types of impact are waste accumulation in regions, emissions of pollutants into the air basin, and volumes of discharges of substances with wastewater. It was found that for different regions of Western Ukraine, the overall level of pollution is significantly influenced by the indicators of emissions and discharges of pollutants, waste accumulation, and the presence of landfills and waste disposal sites. The maximum values of the CILT are observed in the Lviv and Ivano-Frankivsk regions, with a significant impact also observed in the smallest Chernivtsi region. In the vast majority of regions, the level of technogenic load was characterized as insignificant, in the Ivano-Frankivsk and Chernivtsi regions – as average, and in the Lviv region – as elevated.

The proposed methodology can be recommended for implementation in the practical activities of state environmental protection agencies when analyzing the state of the environment in regions.

Keywords: *comprehensive indicator, technogenic load, environment, weight coefficient.*

А.В. Чугай, М.В. Недострелов

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

***Анотація.** На даний час техногенного навантаження зазнають всі природні складові довкілля. Вплив значно посилюється в останні роки через бойові дії в Україні. При оцінці техногенного впливу на довкілля використовуються методи оцінки на окремі складові довкілля або комплексної оцінки. У науковій літературі переважна більшість робіт присвячена оцінці впливу на окремі складові довкілля.*

Метою дослідження була розробка методу комплексної оцінки техногенного навантаження на довкілля та його апробація на прикладі регіонів Західної України. На основі попередніх оцінок техногенного навантаження на окремі складові довкілля було визначено перелік показників комплексної оцінки (8 параметрів). Визначено вагові коефіцієнти кожного з оціночних показників. Запропоновано розрахункову формулу для визначення комплексного показника техногенного навантаження (КПТН) і оціночну шкалу рівнів навантаження.

Апробація методики виконана для регіонів Західної України за даними досліджень у 2009–2023 рр. Визначення вагових коефіцієнтів показало, що найбільш значимими серед різних видів впливу є накопичення відходів в регіонах, викиди забруднюючих речовин у повітряний басейн, обсяги скидів речовин зі зворотними водами. Отримано, що для різних областей Західної України на формування загального рівня навантаження значний вплив мають показники викидів та скидів забруднюючих речовин, накопичення відходів, наявності місць розміщення звалищ та полігонів відходів. Максимальні значення КПТН відзначаються для Львівської та Івано-Франківської областей, значний вплив відзначається і для найменшої Чернівецької області. У переважній більшості областей рівень техногенного навантаження характеризувався як незначний, у Івано-Франківській і Чернівецькій областях – як середній, у Львівській – як підвищений.

Запропонована методика може бути рекомендована до впровадження у практичну діяльність державних природоохоронних органів при аналізі стану довкілля в регіонах.

Ключові слова: комплексний показник, техногенне навантаження, довкілля, ваговий коефіцієнт.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.1.20-28>

Вступ

Відомо, що техногенне навантаження – це ступінь впливу господарської діяльності на довкілля в цілому або його окремі компоненти. На даний час техногенного навантаження зазнають всі природні складові довкілля. Цей вплив також значно посилюється в останні роки через бойові дії, які тривають в Україні.

При оцінці техногенного впливу на довкілля можна використовувати методи оцінки на окремі складові довкілля (атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунтовий покрив і геологічне середовище) або методи комплексної оцінки.

Відзначимо, що у науковій літературі переважна більшість робіт присвячена оцінці впливу із застосуванням першої групи методів. Методи

комплексної оцінки застосовуються менше. Огляд літературних джерел показує, що методи комплексної оцінки зазвичай засновані на використанні стандартного набору показників (викиди забруднюючих речовин (ЗР), скиди, утворення відходів, показники забруднення та ін.) [1–3]. Розроблено методи щодо оцінки навантаження з урахуванням наявності об'єктів критичної транспортної інфраструктури [4], для окремих господарських об'єктів тощо [5].

У зарубіжній практиці також є різні методи до оцінки техногенного навантаження. Одним з підходів є оцінка навантаження на довкілля через викиди парникових газів і, як наслідок, зміни клімату, що відбуваються [6]. Детальний перелік та опис методів оцінки впливу на довкілля в цілому наведено у рекомендаціях [7] і роботі [8]. Прикладом комплексної оцінки стану вод і ґрунтів є модель оцінки ґрунтів і води (SWAT) [9]. На принципах комплексної оцінки також побудовані методики оцінки стану довкілля в регіонах на засадах сталого розвитку [10, 11].

Метою роботи є розробка методу комплексної оцінки техногенного навантаження на довкілля та його апробація на прикладі регіонів Західної України.

Методика дослідження

Для оцінки техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України було використано декілька методик. Кожна з них враховує показники, які окремо характеризують рівень техногенного впливу і відрізняються складовими, що використовуються для оцінки. Було виконано оцінку навантаження на атмосферне повітря, водні об'єкти і ґрунтовий покрив (результати висвітлено у публікаціях авторів).

Аналіз отриманих результатів і фізичної сутності показників слугував основою для розробки методики комплексної оцінки техногенного навантаження на довкілля. В результаті визначено такий перелік показників комплексної оцінки:

- 1) модуль техногенного навантаження на повітряний басейн $M_{ПВ}$ [2];
- 2) показник небезпечності структури викидів HCB [12];
- 3) комплексний коефіцієнт оцінки ефективності водокористування K [2];
- 4) модуль техногенного навантаження на водні об'єкти $M_{ВО}$ за обсягами скидів стічних вод (СВ) [2];
- 5) модуль техногенного навантаження на водні об'єкти $M_{ВО}$ за обсягами скидів ЗР у складі СВ [2];
- 6) модуль техногенного навантаження на геологічне середовище $M_{ГС}$ за показниками утворення відходів [2];
- 7) модуль техногенного навантаження на геологічне середовище $M_{ГС}$ за показниками накопичення відходів [2];
- 8) показник побутових відходів $П_{нев}$ [3].

Враховуючи, що фізична сутність показників різниться, для отримання порівнянних результатів був застосований принцип лінійного нормування. Всі отримані нормовані значення змінювались в діапазоні від 0 до 1 за умови, що мінімальний техногенний вплив характеризується нульовими значеннями.

Із застосуванням показника варіації [13] було визначено вагові коефіцієнти кожного з оціночних показників (табл. 1).

Так, комплексний показник техногенного навантаження на довкілля (*КПТН*) розраховується за формулою:

$$КПТН = 0,14M_{ПБ} + 0,09HCB + 0,07K + 0,11M_{BO}(CB) + 0,14M_{BO}(ЗР) + 0,11M_{ГC}(утвор) + 0,25M_{ГC}(накоп) + 0,09П_{пв}, \quad (1)$$

де $M_{ПБ}$, HCB , K , $M_{BO}(CB)$, $M_{BO}(ЗР)$, $M_{ГC}(утвор)$, $M_{ГC}(накоп)$, $П_{пв}$ – нормовані значення відповідних показників оцінки.

Для *КПТН* було запропоновано оціночну шкалу (табл. 2).

Таблиця 1. Вагові коефіцієнти показників комплексної оцінки

Показник	Ваговий коефіцієнт
$M_{ПБ}$	0,14
HCB	0,09
K	0,07
M_{BO} за обсягами скидів СВ	0,11
M_{BO} за обсягами скидів ЗР у складі СВ	0,14
$M_{ГC}$ за показниками утворення відходів	0,11
$M_{ГC}$ за показниками накопичення відходів	0,25
$П_{пв}$	0,09

Таблиця 2. Рівні техногенного навантаження за значенням *КПТН*

Значення <i>КПТН</i>	Рівень навантаження
0 – 0,25	незначний
> 0,25 – 0,5	середній
> 0,5 – 0,75	підвищений
> 0,75 – 1,0	високий

Результати дослідження

Оцінка техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України виконувалась за період 2009–2023 рр. Нами було визначено окремі показники, які характеризують рівень техногенного впливу, проведено аналіз динаміки зміни кожного з показників.

Зазначимо, що оцінка техногенного навантаження на окремі складові також є важливою задачею. Досить часто дослідники вивчають стан певних природних середовищ. Але при оцінці стану для значної кількості регіонів більш доцільним є використання інтегральних або комплексних показників.

Визначення вагових коефіцієнтів для показників показало, що більш значними серед різних видів впливу є накопичення відходів в регіонах, викиди ЗР у повітряний басейн, а також обсяги скидів ЗР зі зворотними водами. Також відзначимо, що при розрахунку HCB було використано дані про викиди лише основних ЗР. Можливо, при використанні більш повного переліку ЗР ваговий коефіцієнт цього показника буде уточнений.

На рис. 1 наведено результати комплексної оцінки з урахуванням внеску кожного окремого показника.

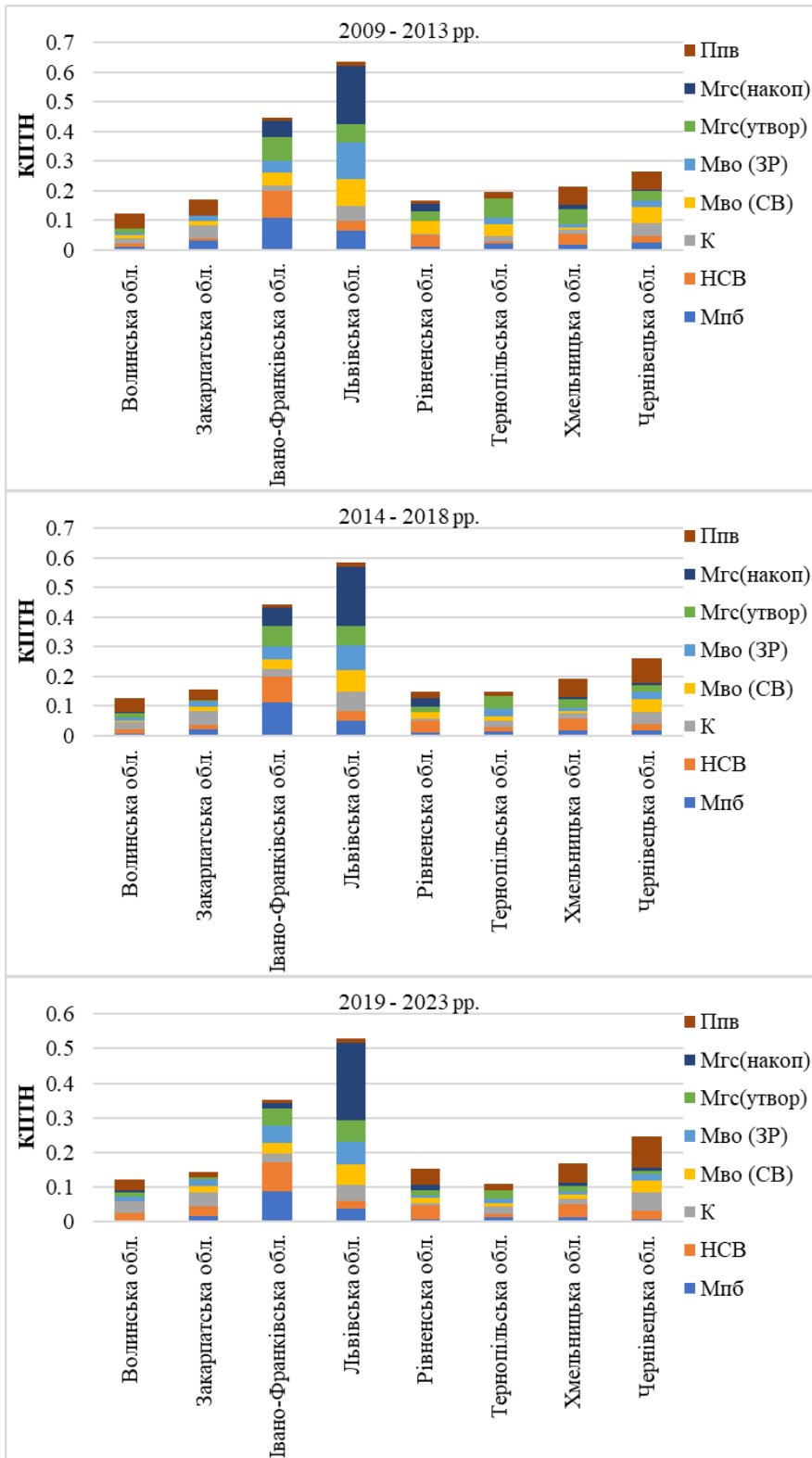


Рисунок 1. Комплексна оцінка техногенного навантаження на довкілля в регіонах Західної України

Як видно, показники, які найбільш впливають на формування загального рівня навантаження, по регіонах різняться. Так, в різні роки значний вплив мають такі показники:

- $P_{\text{пс}}$ – Волинська, Закарпатська, Хмельницька і Чернівецька області;
- K – Волинська, Закарпатська і Чернівецька області;
- $M_{\text{BO}}(\text{ЗР})$ – Львівська обл.;
- $M_{\text{ГС}}(\text{накоп})$ – Львівська обл.;
- $M_{\text{ПБ}}$ – Івано-Франківська обл.;
- $M_{\text{ГС}}(\text{утвор})$ – Івано-Франківська і Тернопільська обл.

На рис. 2 наведено динаміку зміни $KПТН$ для регіонів Західної України, у табл. 3 – результати оцінки на основі табл. 2.

Як видно з рис. 2, максимальні показники техногенного навантаження відзначаються для Львівської та Івано-Франківської областей. Також слід відзначити значний рівень впливу на довкілля у Чернівецькій області, хоча регіон є фактично найменшим за площею серед західних областей. Така ситуація обумовлена високими відносними показниками викидів ЗР, умовами водокористування в регіоні, а також збільшенням площ розміщення відходів. Слід також відзначити, що незважаючи на загальне збільшення несприятливого впливу на довкілля в останні роки, рівень техногенного навантаження в регіонах Західної України в цілому зменшився.

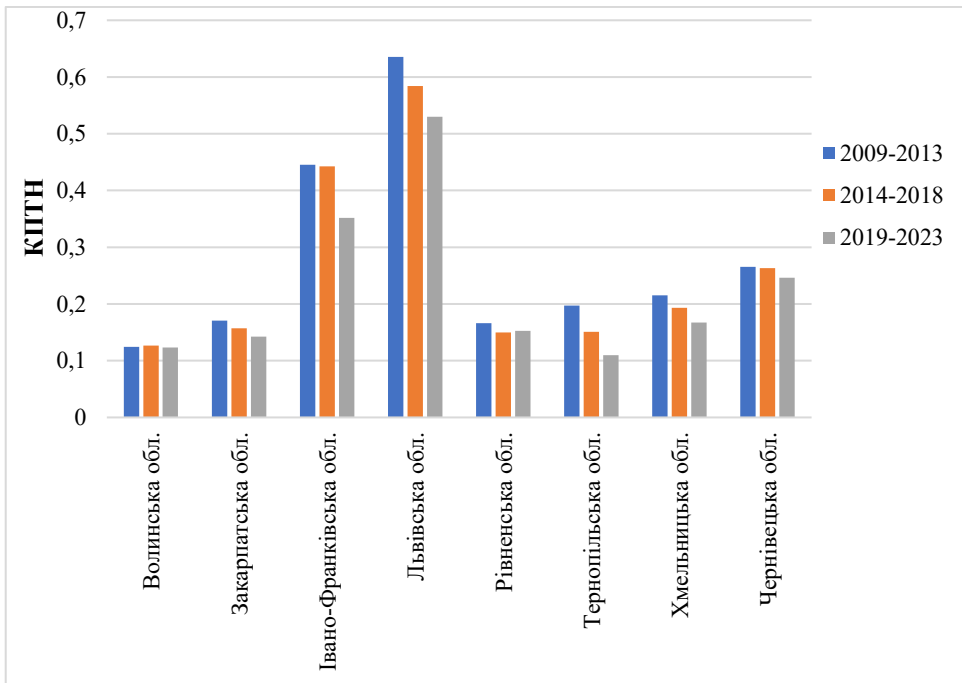


Рисунок 2. Динаміка зміни $KПТН$ для регіонів Західної України у 2009–2023 рр.

Аналіз табл. 3 свідчить, що у переважній більшості областей рівень техногенного навантаження характеризувався як незначний. У Івано-Франківській і Чернівецькій (2009–2018 рр.) областях навантаження характеризувалось категорією «середній», у Львівській – «підвищений».

Висновки

У роботі представлені результати апробації методики комплексної оцінки техногенного навантаження на довкілля на прикладі регіонів Західної України. Проведене дослідження дозволяє зробити такі висновки:

- в Україні переважна більшість наукових досліджень щодо оцінки техногенного впливу виконується із застосуванням методів оцінки на окремі складові довкілля;
- оцінка техногенного навантаження на окремі складові довкілля регіонів Західної України із застосуванням різних показників дозволила визначити набір параметрів для розробки методики комплексної оцінки;
- запропоновано методику визначення комплексного показника техногенного навантаження та оціночну шкалу для визначення рівня навантаження;

Таблиця 3. Класифікація рівнів техногенного навантаження для регіонів Західної України за значенням *КПТН*

Область	2009–2013 рр.	2014–2018 рр.	2019–2023 рр.
Волинська обл.	0,12 (незначний)	0,13 (незначний)	0,12 (незначний)
Закарпатська обл.	0,17 (незначний)	0,16 (незначний)	0,14 (незначний)
Івано-Франківська обл.	0,45 (середній)	0,44 (середній)	0,35 (середній)
Львівська обл.	0,64 (підвищений)	0,58 (підвищений)	0,53 (підвищений)
Рівненська обл.	0,17 (незначний)	0,15 (незначний)	0,15 (незначний)
Тернопільська обл.	0,20 (незначний)	0,15 (незначний)	0,11 (незначний)
Хмельницька обл.	0,22 (незначний)	0,19 (незначний)	0,17 (незначний)
Чернівецька обл.	0,27 (середній)	0,26 (середній)	0,25 (незначний)

- найбільш значними серед різних видів впливу є показники накопичення відходів в регіонах, викиди ЗР у повітряний басейн, обсяги скидів ЗР зі зворотними водами;
- для різних областей Західної України на формування загального рівня навантаження значний вплив мають показники викидів ЗР, скидів ЗР у складі СВ у водні об'єкти, накопичення відходів, наявності місць розміщення звалищ та полігонів відходів;
- максимальні значення *КПТН* відзначаються для Львівської та Івано-Франківської областей, також значний вплив відзначається для найменшої Чернівецької області;
- у переважній більшості областей рівень техногенного навантаження характеризувався як незначний, у Івано-Франківській і Чернівецькій – як середній, у Львівській – як підвищений.

Розроблена методика може бути рекомендована до впровадження у практичну діяльність державних природоохоронних органів при аналізі стану довкілля в регіонах, а також визначенні найбільш значущих факторів, які формують рівень техногенного навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаренко, Т.П., Жицька, Л.І., & Плахотня, Л.І. (2019). Комплексна оцінка техногенного впливу на довкілля по регіонах України. *Вісник ЧДТУ. Технічні науки*, 24 (2), 117–125. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2019.167801>
2. Чугай, А.В., & Сафранов, Т.А. (2021). *Методи оцінки техногенного впливу на довкілля. Навчальний посібник*. Одеса: Букаєв Вадим Вікторович.
3. Васенко, О.Г., Рибалова, О.В., Артем'єв, С.Р., Горбань, Н.С., Коробкова, Г.В., Полозенцева, В.О., Козловська, О.В., Мацак, А.О., & Савічев, А.А. (2015). *Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія*. Харків: НУГЗУ.
4. Іванюта, С.П. (2017). *Наукові основи оцінки ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів України: дис. на здобуття наукового ступеня д-ра т. наук: 21.06.01 / НТУ України «Київський політехнічний інститут»*. Київ.
5. Козуля, Т.В., & Коршунов, С.Є. (2024). Комплексна система екологічного контролю техногенної безпеки господарських об'єктів на прикладі АЗС. *Техногенно-екологічна безпека*, 15 (1), 36–45. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2024.1.3>
6. Lu, Y., Shao, Z., & Lu H. (2024). Quantification of anthropogenic heat and simulation of its effects on environment and climate: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 204, 114802. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114802>
7. Best Environmental Impact Assessment (EIA) – Everything You Need to Know to Get Started. <https://assessmentstools.com/environmental-impact-assessment/>
8. Vishwakarma, R.C., Singh, P.K., & Singh Y. (2025). Methods and Applications of Environmental Impact Assessment. *Energy, Ecology, and Environment: Fundamentals and Applications*, 183–200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15976287>
9. SWAT. Soil & Water Assessment Tool. <https://swat.tamu.edu/>
10. Chugai, A.V., Safranov, T.A., Pylypiuk, V.V., & Soloshych I.O. (2021). Assessment of the Environmental State of North-Western Black Sea Coast Territories, Ukraine using Indicators of Sustainable Development. *Ecologia Balkanica*, 13 (1), 17–26.
11. Frameworks to Measure Sustainable Development (2000). OECD. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2000/02/frameworks-to-measure-sustainable-development_g1ghg252/9789264180635-en.pdf
12. Горський, А. (2021). Оцінка техногенного впливу стаціонарних джерел забруднення на стан повітряного басейну Київської агломерації. *Економіка природокористування і сталий розвиток*, 9, 72–79. [https://doi.org/10.37100/2616-7689.2021.9\(28\).10](https://doi.org/10.37100/2616-7689.2021.9(28).10)
13. Гуляк, Р.Е. (2012). Методи визначення вагових коефіцієнтів при розрахунку таксономічних показників. *Сталий розвиток міст. Управління проектами і програмами міського і регіонального розвитку*. <https://eprints.kname.edu.ua/29737/1/44.pdf>

Стаття надійшла до редакції 18.12.25, надійшла після рецензування 06.02.26, прийнята 06.03.26

REFERENCES

1. Goncharenko, T.P., Zhitskaya, L.I., & Plachotnja, L.I. (2019). Comprehensive assessment of man-caused impact on environment in the regions of Ukraine. *Bulletin of CSTU. Technical Sciences*, 24 (2), 117–125. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2019.167801>. [in Ukrainian]
2. Chugai, A.V., & Safranov, T.A. (2021). *Methods for assessing the impact of human activity on the environment. Textbook*. Odessa: Bukayev, Vadim Viktorovich. [in Ukrainian]
3. Vashenko, O.G., Rybalova, O.V., Artemiev, S.R., Gorbun, N.S., Korobkova, G.V., Polozentsova, V.O., Kozlovska, O.V., Matsak, A.O., & Savichev, A.A. (2015). *Integral and comprehensive assessments of the state of the natural environment: monograph*. Kharkiv: NUGS. [in Ukrainian]
4. Ivanyuta, S.P. (2017). *Scientific foundations for assessing risks and threats to the environmental safety of Ukraine's regions: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: 21.06.01* / National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute.” Kyiv. [in Ukrainian]
5. Kozulia, T., & Korshunov, S. (2024). Complex system of ecological control for business objects technological safety of petrol station as example. *Technogenic and Ecological Safety*, 15 (1), 36–45. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2024.1.3>. [in Ukrainian]
6. Lu, Y., Shao, Z., & Lu H. (2024). Quantification of anthropogenic heat and simulation of its effects on environment and climate: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 204, 114802. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114802>
7. Best Environmental Impact Assessment (EIA) – Everything You Need to Know to Get Started. <https://assessmenttools.com/environmental-impact-assessment/>
8. Vishwakarma, R.C., Singh, P.K., & Singh Y. (2025). Methods and Applications of Environmental Impact Assessment. *Energy, Ecology, and Environment: Fundamentals and Applications*, 183–200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15976287>
9. SWAT. Soil & Water Assessment Tool. <https://swat.tamu.edu/>
10. Chugai, A.V., Safranov, T.A., Pylypiuk, V.V., & Soloshych I.O. (2021). Assessment of the Environmental State of North-Western Black Sea Coast Territories, Ukraine using Indicators of Sustainable Development. *Ecologia Balkanica*, 13 (1), 17–26.
11. Frameworks to Measure Sustainable Development (2000). OECD. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2000/02/frameworks-to-measure-sustainable-development_g1ghg252/9789264180635-en.pdf
12. Gorsky, A. (2021). Assessment of the technogenic impact of stationary sources of pollution on the condition of the air pool of the Kyiv agglomeration. *Nature management economics and sustainable development*, 9, 72–79. [https://doi.org/10.37100/2616-7689.2021.9\(28\).10](https://doi.org/10.37100/2616-7689.2021.9(28).10). [in Ukrainian]
13. Gulyak, R.E. (2012). Methods for determining weight coefficients when calculating taxonomic indicators. *Sustainable urban development. Management of urban and regional development projects and programs*. <https://eprints.kname.edu.ua/29737/1/44.pdf>

The article was received 18.12.25, received after revision 06.02.26, accepted 06.03.26

Чугай Ангеліна Володимирівна

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського національного університету імені І.І. Мечникова

Адреса робоча: 65082 Україна, м. Одеса, вул. Всеволода Змієнка, 2

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8091-8430> **e-mail:** avchugai@ukr.net

Недострелов Максим Валентинович

аспірант кафедри екології та охорони довкілля Одеського національного університету імені І.І. Мечникова

Адреса робоча: 65082 Україна, м. Одеса, вул. Всеволода Змієнка, 2

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-5407-811X> **e-mail:** maximnedostrev@gmail.com