

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НЕДОСТРЕЛОВ МАКСИМ ВАЛЕНТИНОВИЧ

УДК 504.5/.6(477.8)(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РЕГІОНИ
ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

101 – Екологія

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ М. В. Недострелов

Науковий керівник: Чугай Ангеліна Володимирівна, доктор технічних наук,
професор

Одеса – 2026

АНОТАЦІЯ

Недострелов М.В. Особливості техногенного навантаження на регіони Західної України – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія. – Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеса, 2026.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі щодо визначення особливостей факторів формування техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України. Дослідження базується на аналізі структури промислового виробництва в регіоні, визначення основних факторів техногенного впливу.

В результаті проведеного дослідження проаналізовано просторово-часову диференціацію рівня техногенного навантаження на окремі складові довкілля регіонів Західної України, виконано комплексну оцінку впливу, а також запропоновано методику визначення комплексного показника техногенного навантаження на довкілля.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані ідея, мета і завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, дані про особистий внесок здобувача, апробацію і публікацію результатів дисертації, структуру і обсяг роботи.

У **першому** розділі наведено загальну характеристику території дослідження (8 областей Західної України). Проаналізовано фізико-географічні особливості, стан ґрунтового покриву, наведено коротку характеристику природних ресурсів. Окрему увагу приділено аналізу антропогенного впливу на складові довкілля, зокрема впливу об'єктів промисловості, аграрного сектору, транспортної інфраструктури, житлово-комунального господарства та систем управління поводження з відходами.

Було відзначено, що систематичні і комплексні дослідження стану і рівня техногенного навантаження на регіони Західної України відсутні. Це може бути пов'язано з незначними показниками забруднення порівняно з іншими регіонами України. Встановлено, що специфіка природних умов (Карпатський регіон, Полісся, лісостепові території) зумовлює різну чутливість компонентів довкілля до техногенного навантаження.

У **другому** розділі виконано оцінку техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України. Узагальнено вітчизняні та зарубіжні методичні підходи до оцінки якості атмосферного повітря та інтенсивності антропогенного впливу, проаналізовано їх переваги та обмеження. Показано, що більшість існуючих методів базується на розрахунку індексів забруднення атмосфери та не завжди дозволяє врахувати структурні особливості навантаження. Застосовано декілька методів оцінки стану та техногенного впливу на довкілля, що дозволило також визначити імовірні ризики для здоров'я населення. Встановлено переважні джерела навантаження на повітряний басейн по окремих областях.

Максимальні показники техногенного навантаження відзначені для двох областей – Івано-Франківська і Львівська. Найбільша небезпека за структурою викидів відзначалась по таких забруднюючих речовинах як діоксид азоту і діоксид сірки. Високі концентрації діоксиду азоту поряд з формальдегідом формують високі показники ризику для здоров'я населення.

У **третьому** розділі здійснено оцінку техногенного навантаження на поверхневі водні об'єкти. Проаналізовано існуючі підходи до оцінки якості вод і рівня антропогенного впливу, включаючи методи розрахунку індексів забруднення та показники водокористування. Визначено, що істотний вплив на формування техногенного навантаження мають обсяги водозабору, обсяги скидів стічних вод та забруднювальних речовин у їх складі.

За показниками ефективності водокористування територія Західної України розподіляється на дві групи: 1) кращі умови – Волинська, Івано-Франківська, Рівненська, Тернопільська і Хмельницька області; 2) гірші –

Львівська і Чернівецька. За обсягами скидів стічних вод та забруднювальних речовин в їх складі максимальний внесок у формування рівня техногенного навантаження припадає на Львівську область. Також для території цієї області відзначені найбільші показники екологічної шкоди. Відзначено тенденцію зменшення обсягів скидів забруднених стічних вод.

У **четвертому** розділі виконано оцінку техногенного навантаження на ґрунтовий покрив. Розглянуто методичні підходи до оцінки рівня забруднення ґрунтів і техногенного впливу на ґрунтовий покрив і геологічне середовище, у тому числі за показниками накопичення відходів виробництва та споживання, наявності місць для розміщення звалищ і полігонів. Встановлено, що одним із найбільш значущих чинників формування загального рівня техногенного навантаження є накопичення відходів у регіонах, що створює довгострокові ризики для екологічного стану довкілля.

Визначено, що за сумарними показниками поводження з відходами «лідером» є Львівська область. При цьому за показником площі наявних полігонів виявлено неоднорідність його розподілу – зменшення площ у Волинській, Закарпатській, Львівській і Хмельницькій областях і збільшення у Рівненській і Чернівецькій областях. Також Чернівецька область характеризується високими відносними показниками наявності полігонів при незначній площі території.

У **п'ятому** розділі виконано комплексну оцінку техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України. Було використано комплексний показник техногенного впливу на навколишнє середовище, який базується на показниках викидів, скидів речовин, утворення відходів з прив'язкою до площі території і кількості населення. Отримано, що максимальні значення навантаження відзначені у Рівненській, Львівській, Івано-Франківській і Чернівецькій областях. Переважна більшість областей відноситься до третього екологічного району, тобто з підвищеним рівнем техногенного навантаження.

На основі проведених у попередніх розділах досліджень з використанням різних підходів до оцінки техногенного навантаження запропоновано та обґрунтовано методику визначення комплексного показника техногенного навантаження (*КПТН*) на довкілля та оціночну шкалу для визначення рівня навантаження. Максимальні значення *КПТН* відзначаються Львівської та Івано-Франківської областей, також значний вплив відзначається для найменшої Чернівецької області.

Встановлено, що найбільш значущими серед різних видів впливу є показники накопичення відходів, обсяги викидів у повітряний басейн та скидів забруднювальних речовин зі стічними водами. Для різних областей визначальними є різні комбінації чинників, що формують структуру техногенного навантаження.

Ключові слова: техногенне навантаження, Західна Україна, складові довкілля, індекс, індикатор, забруднення довкілля, комплексна оцінка, якість, екологічний ризик.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті, які входять до наукометричних баз даних

та фахових видань України категорії Б

1. Chugai A., **Nedostrelov M.**, Bratov K. Condition and quality of the air of the Chernivtsi region. *Environmental problems*. 2023. Vol. 8, Num. 3. P. 133 – 141. *Автору належить формулювання ідеї і задач досліджень, огляд методичних підходів.*
2. Chugai A., **Nedostrelov M.**, Lutek W. Assessment of technogenic load on the air basin of the Western Ukraine Regions. *Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, Number 2. P. 104 – 109. *Автору належать результати оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України.*
3. Чуґай А.В., **Недострелов М.В.**, Пилип'юк В.В., Техногенне навантаження на ґрунтово-геологічне середовище за показниками

утворення і накопичення відходів у регіонах Західної України: геопросторовий аналіз. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 243 – 251. *Автору належать результати оцінки техногенного навантаження на геологічне середовище регіонів Західної України.*

4. **Недострелов М.В.**, Чугай А.В. Техногенне навантаження на водні об'єкти регіонів Західної України. *Вісник КрНУ імені М. Остроградського*. 2025. Вип. 6 (155). С. 98 – 106. *Автору належать результати оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти регіонів Західної України.*
5. Чугай А.В., **Недострелов М.В.** Комплексна оцінка техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2026. Т. 57. № 1. С. 17 – 26. *Автору належить ідея виконання комплексної оцінки техногенного навантаження, виконання розрахункової частини.*

Розділи у колективних монографіях

6. Чугай А.В., **Недострелов М.В.**, Сотніченко О.В. Оцінка техногенного впливу на складові довкілля регіонів Західної України / *Екологія. Довкілля. Енергозбереження – 2024: колективна монографія* / Під ред. Ілляш О.Е. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка», 2024. С. 74 – 86. *Автору належить формулювання ідеї і задач досліджень, висновків по роботі.*

Публікації в збірниках матеріалів конференцій

7. Чугай А.В., **Недострелов М.В.** Техногенний вплив на довкілля Львівської області. *Збірник матеріалів 6 Міжнародного конгресу «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. Київ: Яроченко Я.В., 2022. С. 32.
8. **Недострелов М.В.** Оцінка окремих видів навантаження на довкілля регіонів Західної України. *Матеріали XXII наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*. Одеса: ОДЕКУ, 2023. С. 168 – 169.

9. **Недострелов М.В.**, Чугай А.В. Методичні підходи щодо оцінки якості атмосферного повітря. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів»*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2023. С. 12 – 14.
10. Чугай А.В., **Недострелов М.В.**, Сотніченко О.В. Оцінка техногенного навантаження на водні об'єкти регіонів Західної України у довоєнний період. *Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження»*. Полтава: НУ «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», 2023. С. 127 – 129.
11. **Недострелов М.** Джерела техногенного впливу на повітряний басейн окремих регіонів Західної України. *IV міжнародний науковий симпозиум в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»)*. *Збірник матеріалів*. Київ: Яроченко Я.В., 2024. С. 36 – 39.
12. **Недострелов М.В.**, Чугай А.В. Оцінка техногенного навантаження на повітряний басейн окремих областей Західної України у довоєнний період. *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців*. Одеса: ОДЕКУ, 2024. С. 165 – 167.
13. Чугай А.В., **Недострелов М.В.** Характеристика техногенного впливу на повітряний басейн регіонів Західної України. *Збірник матеріалів 8 Міжнародного конгресу «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. Київ: ГО «МНГ», 2024. С. 83.
14. Чугай А.В., Братов К.О., **Недострелов М.В.** Оцінка техногенного впливу на поверхневі води Чернівецької області. *Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса: Олді+, 2024. С. 208 – 211.

15. Недострелов М., Чугай А. Оцінка показників водокористування окремих регіонів Західної України. *Сталий розвиток басейнових екосистем: регіональний контекст: Матеріали науково-практичної конференції*. Луцьк: Вежа-Друк, 2025. С. 21 – 23.
16. Недострелов М.В., Чугай А.В. Оцінка екологічної шкоди водним об'єктам регіонів Західної України. *Сталий розвиток – стан та перспективи. V Міжнародний науковий симпозіум: зб. матер.* Львів: «Камула», 2026. С. 111 – 114.

SUMMARY

Nedostrelov M.V. Specific Features of Technogenic Load on the Western Ukraine Regions. – Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 101 – Environmental Science. – Odesa I. I. Mechnikov National University, Odesa, 2026.

The dissertation is devoted to solving a relevant scientific problem related to determining the specific features of the factors forming technogenic load on environmental components in the regions of Western Ukraine. The research is based on an analysis of the structure of industrial production in the region and the identification of the main factors of technogenic impact.

As a result of the conducted study, the spatial and temporal differentiation of the level of technogenic load on individual environmental components in the regions of Western Ukraine has been analyzed, a comprehensive assessment of its impact has been carried out, and a methodology for determining an integrated indicator of technogenic load on the environment has been proposed.

The **introduction** substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the research concept, goal and objectives, defines the object and subject of the study, outlines the scientific novelty and practical significance of the obtained results, provides information on the personal contribution of the author, the

approbation and publication of the dissertation results, as well as the structure and scope of the work.

The **first** chapter presents a general description of the study area (eight regions of Western Ukraine). The physical and geographical characteristics of the territory are analyzed, the condition of the soil cover is assessed, and a brief description of natural resources is provided. Particular attention is paid to the analysis of anthropogenic impacts on environmental components, including the influence of industrial facilities, the agricultural sector, transport infrastructure, housing and communal services, as well as waste management systems.

It was noted that systematic and comprehensive studies of the state and level of technogenic load on the regions of Western Ukraine are lacking. This may be associated with relatively lower pollution indicators compared to other regions of Ukraine. It was established that the specificity of natural conditions (the Carpathian region, Polesia, and forest-steppe territories) determines the varying sensitivity of environmental components to technogenic load.

The **second** chapter provides an assessment of the technogenic load on the atmospheric basin of the regions of Western Ukraine. Domestic and international methodological approaches to assessing air quality and the intensity of anthropogenic impact are summarized, their advantages and limitations are analyzed. It is shown that most existing methods are based on the calculation of atmospheric pollution indices and do not always allow for consideration of the structural characteristics of the load. Several methods for assessing environmental conditions and technogenic impacts were applied, which also made it possible to identify potential risks to public health. The predominant sources of pressure on the atmospheric basin were identified for individual regions.

The highest levels of technogenic load were recorded in two regions – Ivano-Frankivsk and Lviv. The greatest hazard in terms of emission structure was associated with pollutants such as nitrogen dioxide and sulfur dioxide. High concentrations of nitrogen dioxide, together with formaldehyde, contribute to elevated health risk indicators for the population.

The **third** chapter presents an assessment of technogenic load on surface water bodies. Existing approaches to evaluating water quality and the level of anthropogenic impact were analyzed, including methods for calculating pollution indices and indicators of water use. It was determined that significant factors influencing the formation of technogenic load include the volumes of water abstraction, the discharge of wastewater and the pollutants contained within it.

According to indicators of water use efficiency, the territory of Western Ukraine can be divided into two groups: 1) more favorable conditions – Volyn, Ivano-Frankivsk, Rivne, Ternopil, and Khmelnytskyi regions; 2) less favorable conditions – Lviv and Chernivtsi regions. In terms of the volume of wastewater discharges and the pollutants contained in them, the maximum contribution to the formation of the technogenic load level is associated with the Lviv region. The highest indicators of environmental damage were also recorded for this region. At the same time, a general trend toward a decrease in the volumes of polluted wastewater discharges has been observed.

The **fourth** chapter presents an assessment of technogenic load on the soil cover. Methodological approaches to evaluating the level of soil contamination and technogenic impacts on soil cover and the geological environment are considered, including indicators related to the accumulation of industrial and municipal waste, as well as the availability of landfill and waste disposal sites. It was established that one of the most significant factors influencing the overall level of technogenic load is the accumulation of waste in the regions, which creates long-term risks for the environmental condition of the natural environment.

It was determined that, according to the cumulative indicators of waste management, the Lviv region is the “leader.” At the same time, according to the indicator of the area of existing landfills, a heterogeneous spatial distribution was identified: a decrease in landfill areas in the Volyn, Zakarpattia, Lviv, and Khmelnytskyi regions, and an increase in the Rivne and Chernivtsi regions. In addition, the Chernivtsi region is characterized by relatively high indicators of landfill availability despite its comparatively small territorial area.

The **fifth** chapter presents a comprehensive assessment of technogenic load on the environment of the regions of Western Ukraine. An integrated indicator of technogenic impact on the environment was applied, based on indicators of emissions, discharges of substances, and waste generation, with reference to the area of the territory and the size of the population. The results indicate that the highest levels of load are observed in the Rivne, Lviv, Ivano-Frankivsk, and Chernivtsi regions. The majority of the regions belong to the third environmental district, characterized by an increased level of technogenic load.

Based on the studies conducted in the previous chapters using various approaches to assessing technogenic load, a methodology for determining a comprehensive indicator of technogenic load (*CITL*) on the environment and an assessment scale for determining the level of load were proposed and substantiated. The highest values of *CITL* are observed in the Lviv and Ivano-Frankivsk regions, while a significant impact is also noted for the smallest region, Chernivtsi.

It was established that among the different types of impacts, the most significant are indicators related to waste accumulation, the volumes of emissions into the atmospheric basin, and the discharge of pollutants with wastewater. For different regions, various combinations of factors are decisive in shaping the structure of technogenic load.

Keywords: technogenic load, Western Ukraine, environmental components, index, indicator, environmental pollution, comprehensive assessment, quality, environmental risk.

List of the Applicant's Publications on the Topic of the Dissertation
*Articles indexed in scientometric databases and published in Ukrainian
professional journals (Category B)*

1. Chugai A., **Nedostrelov M.**, Bratov K. Condition and quality of the air of the Chernivtsi region. *Environmental problems*. 2023. Vol. 8, N. 3. P. 133 – 141. *The author contributed to the formulation of the research idea and objectives, as well as to the review of methodological approaches.*

2. Chugai A., **Nedostrelov M.**, Lutek W. Assessment of technogenic load on the air basin of the Western Ukraine Regions. *Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, N. 2. P. 104 – 109. *The author contributed the results of the assessment of technogenic load on the atmospheric basin of the regions of Western Ukraine.*
3. Chugai A.V., **Nedostrelov M.V.**, Pylypiuk V.V. Technogenic Load on the Soil and Geological Environment in Indicators of Waste Generation and Accumulation in the Western Ukraine Regions: Geospatial Analysis. *Agrarian Innovations*. 2025. N. 32. P. 243–251. *The author contributed the results of the assessment of technogenic load on the geological environment of the regions of Western Ukraine.*
4. **Nedostrelov M.**, Chugai A. Technogenic Load on Water Bodies in the Western Ukraine Regions. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2025. Vol. 6 (155). P. 98 – 106. *The author contributed the results of the assessment of technogenic load on water bodies in the regions of Western Ukraine.*
5. Chugai A., **Nedostrelov M.** Comprehensive Assessment of Technogenic Load on the Environment of the Regions of Western Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources Management*. 2026. Vol. 57. N. 1. P. 17 – 26. *The author proposed the idea of conducting a comprehensive assessment of technogenic load and performed the calculation component of the study.*

Chapters in Collective Monographs

6. Chugai A., **Nedostrelov M.**, Sotnichenko O. Assessment of Technogenic Impact on Environmental Components of the Regions of Western Ukraine / Ecology. Environment. Energy Saving – 2024: Collective Monograph / Edited by Illiash O. National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, 2024. P. 74–86. *The author contributed to the formulation of the research idea and objectives, as well as to the preparation of the conclusions of the study.*

Publications in Conference Proceedings

7. Chugai A., **Nedostrelov M.** Technogenic Impact on the Environment of the Lviv Region. *Proceedings of the 6th International Congress “Sustainable*

Development: Environmental Protection. Energy Saving. Balanced Nature Management.” Kyiv: Yarochenko Y.V., 2022. P. 32.

8. **Nedostrelov M.** Assessment of Certain Types of Environmental Load in the Regions of Western Ukraine. *Proceedings of the 22nd Scientific Conference of Young Scientists of the Odesa State Environmental University.* Odesa: OSEU, 2023. P. 168–169.
9. **Nedostrelov M.,** Chugai A. Methodological Approaches to Assessing Atmospheric Air Quality. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Environmental and Technogenic Safety. Protection of Water and Air Basins. Waste Utilization.”* O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Kharkiv, 2023. P. 12–14.
10. Chugai A., **Nedostrelov M.,** Sotnichenko O. Assessment of Technogenic Load on Water Bodies in the Regions of Western Ukraine in the Pre-War Period. *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference “Ecology. Environment. Energy Saving.”* National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”. Poltava, 2023. P. 127–129.
11. **Nedostrelov M.** Sources of Technogenic Impact on the Atmospheric Basin of Selected Regions of Western Ukraine. *IV International Scientific Symposium within the Erasmus+ Jean Monnet Programme Module “Concept of Ecosystem Services: European Experience (EE4CES).” Proceedings.* Kyiv: Yarochenko Y.V., 2024. P. 36–39.
12. **Nedostrelov M.V.,** Chugai A.V. Assessment of Technogenic Load on the Atmospheric Basin of Selected Regions of Western Ukraine in the Pre-War Period. *Regional Environmental Protection Problems and Balanced Nature Management: Proceedings of the International Scientific Conference with the Participation of Young Scientists.* Odesa: OSEU, 2024. P. 165–167.
13. Chugai A.V., **Nedostrelov M.V.** Characteristics of Technogenic Impact on the Atmospheric Basin of the Regions of Western Ukraine. *Proceedings of the 8th International Congress “Sustainable Development: Environmental Protection. Energy Saving. Balanced Nature Management.”* Kyiv: MNG, 2024. P. 83.

14. Chugai A.V., Bratov K.O., **Nedostrelov M.V.** Assessment of Technogenic Impact on Surface Waters of the Chernivtsi Region. *Environmental State and Rational Nature Management in the Context of Sustainable Development: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference*. Odesa: Oldi+, 2024. P. 208–211.
15. **Nedostrelov M.**, Chugai A. Assessment of Water Use Indicators in Selected Regions of Western Ukraine. *Sustainable Development of Basin Ecosystems: Regional Context: Proceedings of the Scientific and Practical Conference*. Lutsk: Vezha-Druk, 2025. P. 21–23.
16. **Nedostrelov M.V.**, Chugai A.V. Assessment of Environmental Damage to Water Bodies in the Regions of Western Ukraine. *Sustainable Development – Status and Prospects: V International Scientific Symposium, Proceedings*. Lviv: Kamula, 2026. P. 111–114.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	17
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
1.1 Фізико-географічне розташування, кліматичні особливості	25
1.2 Характеристика антропогенного впливу на складові довкілля регіонів Західної України	30
Висновки до розділу 1	45
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОВІТРЯНИЙ БАСЕЙН	47
2.1 Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн	48
2.2 Оцінка техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України	64
Висновки до розділу 2	82
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ	85
3.1 Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти	86
3.2 Аналіз техногенного навантаження на водні об'єкти	99
Висновки до розділу 3	110
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ГРУНТОВО-ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	113
4.1 Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на грунтово-геологічне середовище	114
4.2 Аналіз техногенного навантаження на грунтово-геологічне середовище	129

Висновки до розділу 4	139
РОЗДІЛ 5 КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ	142
Висновки до розділу 5	151
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	154
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	158
ДОДАТКИ	177

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- AQI – індекс якості повітря США
- AQHI – індекс якості повітря з урахуванням здоров'я
- CR – канцерогенний ризик
- EEA – Європейське агентство з довкілля
- EMEP – Європейська програма моніторингу та оцінки
- EPA – охорона навколишнього середовища
- EQI – екологічний індекс якості
- FDA – функціональний аналіз даних
- HQ – коефіцієнт небезпеки
- HHRA – оцінка ризику для здоров'я людини
- Igeo – індекс геоаккумуляції
- SWAT – модель оцінки ґрунтів і води
- WQI – індекс якості води
- БСК – біохімічне споживання кисню
- ВМ – важкі метали
- ВО – водні об'єкти
- ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я
- ГДК – гранично допустима концентрація
- ГС – геологічне середовище
- ЗР – забруднююча речовина
- ІЗА – індекс забруднення атмосфери
- ІЗВ – індекс забруднення води
- ІЗГ – індекс забруднення ґрунтів
- КЗС – коефіцієнт скиду забруднених стічних вод
- КІЗА – комплексний індекс забруднення атмосфери
- КНП – коефіцієнт небезпеки підприємства
- КПЗ – комплексний показник забруднення

КПТН – комплексний показник техногенного навантаження на довкілля

МГЕС – мала гідроелектростанція

МТН – модуль техногенного навантаження

НСВ – небезпечність структури викидів

ОС – очисна споруда

ПБ – повітряний басейн

Ппв – показник площі полігонів

ПСЗ – пункт спостереження за забрудненням

СВ – стічні води

ТПВ – тверді побутові відходи

ТН – техногенне навантаження

ХСК – хімічне споживання кисню

ВСТУП

Актуальність теми. Питання техногенного впливу на довкілля сьогодні є одним з головних факторів, які визначають екологічний та соціально-економічний розвиток регіонів. Сучасні реалії свідчать про зростаючу необхідність вивчення та аналізу впливу різних галузей виробництва, транспорту, енергетики та інших сфер на природне середовище та життя мешканців, оскільки в світі спостерігається зростання свідомості щодо екологічних проблем різного рівня та можливої екологічної кризи. Оцінка техногенного навантаження є однією з ключових складових цієї проблеми.

На даний час існуючі наукові дослідження в цьому напрямі зосереджуються переважно на загальному стані справ в країні, не розглядаючи специфіку окремих регіонів. Відсутність відповідних комплексних досліджень на регіональному рівні є суттєвим недоліком при розробці ефективних стратегій регіонального управління. У зв'язку з цим виконане дослідження, яке присвячено вивченню особливостей техногенного навантаження на регіони Західної України, є важливим для розробки шляхів збалансованого природокористування, стратегій сталого розвитку заходів з мінімізації негативного техногенного впливу, що може забезпечити запобігання екологічним кризам в цих регіонах. Крім того, заслуговує на увагу потенційний вплив техногенного навантаження на здоров'я населення.

У дисертаційній роботі запропоновано комплексний підхід щодо питань оцінки техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України з метою розробки ефективних стратегій управління, спрямованих на сталий розвиток і забезпечення екологічної стійкості цих територій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає основним положенням Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2030 року». Також дисертаційна робота є складовою частиною НДР кафедри

екології та охорони довкілля Одеського національного університету імені І.І. Мечникова «Методичні підходи до оцінки екологічних ризиків внаслідок антропогенного впливу на природні складові довкілля» (№ ДР 0123U102904).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є порівняльна характеристика техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України з метою підвищення рівня екологічної безпеки і забезпечення умов сталого розвитку регіонів. Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувалися такі завдання:

- виконати аналіз стану довкілля регіонів Західної України, вивченості питань оцінки техногенного навантаження на територію у науковій літературі;
- проаналізувати сучасні вітчизняні та зарубіжні наукові підходи до оцінки техногенного навантаження на окремі складові довкілля, визначити їх переваги, обмеження та можливості інтеграції у комплексні показники;
- виконати оцінку техногенного навантаження на окремі складові довкілля регіонів Західної України, порівняльний аналіз отриманих результатів;
- розробити методику визначення комплексного показника техногенного навантаження на довкілля;
- виконати комплексну оцінку рівня техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України.

Об’єкт дослідження – техногенне навантаження на складові довкілля регіонів Західної України.

Предметом дослідження є методичні підходи та показники оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн, поверхневі водні об’єкти та ґрунтовий покрив як складові комплексного показника оцінки техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України.

Методи дослідження. В основу дисертаційного дослідження покладено результати багаторічних моніторингових спостережень за якісними характеристиками природних середовищ та показниками техногенного навантаження на довкілля території Західної України.

У відповідності з метою і завданнями роботи дослідження ґрунтуються на теоретичних методах (аналіз, синтез, системний аналіз), методах статистичної обробки даних (систематизація багаторічних моніторингових даних щодо показників забруднення і техногенного впливу на довкілля), просторово-часового аналізу (оцінка рівня техногенного навантаження на довкілля, порівняльний аналіз окремих оціночних параметрів).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- *вперше* виконано оцінку техногенного навантаження на окремі складові довкілля регіонів Західної України за багаторічний період;
- *вперше* виконано комплексну оцінку техногенного навантаження на довкілля території;
- *запропоновано* і апробовано методика визначення комплексного показника техногенного навантаження на довкілля із застосуванням окремих оціночних параметрів на прикладі території Західної України;
- *набуло подальшого розвитку* методичні підходи щодо оцінки техногенного впливу на довкілля (методи оцінки на окремі складові, методи комплексної оцінки).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що детальний аналіз рівня техногенного впливу на довкілля території дослідження є інструментом для більш ефективного планування заходів з охорони природи та регіонального розвитку. Розроблена методика визначення комплексного показника техногенного навантаження може бути використана державними природоохоронними органами, органами місцевого самоврядування та підприємствами для моніторингу стану довкілля і виявлення найбільш критичних територій у Західній Україні. Реалізація розробленої методики також є основою для прогностичних оцінок тенденції зміни стану довкілля та планування заходів щодо зменшення негативного впливу техногенних факторів.

Запропоновані підходи можуть бути інтегровані у програми екологічного планування, стратегії сталого розвитку територій та системи управління природокористуванням на регіональному рівні.

Результати роботи впроваджені у початковий процес Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, Волинського національного університету імені Лесі Українки.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є особистою науковою працею, в якій викладено авторський підхід до вирішення актуальної наукової задачі щодо визначення особливостей факторів формування техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України. Автором також узагальнено матеріали багаторічних моніторингових спостережень за показниками стану і техногенного впливу на складові довкілля. Розроблена у співавторстві з науковим керівником методика визначення комплексного показника техногенного навантаження була апробована автором до території дослідження, що дозволило визначити основні показники, які формують рівень техногенного впливу на регіони Західної України.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження були представлені та обговорені на конференціях і симпозіумах різного рівня, під час круглих столів в межах міжнародних проєктів, зокрема:

- 6 Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, НУ «Львівська політехніка», 2022);
- XXII наукова конференція молодих вчених Одеського державного екологічного університету (Одеса, ОДЕКУ, 2023);
- Міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2023);

- IV Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (Полтава, НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023);
- IV міжнародний науковий симпозиум в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES») (Славське, НУ «Львівська політехніка», 2024);
- Міжнародна наукова конференція за участю молодих науковців «Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування» (Одеса, ОДЕКУ, 2024);
- 8 Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, НУ «Львівська політехніка», 2024);
- VII Міжнародна науково-практична конференція «Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку» (Херсон, ХДАЕУ, 2024);
- круглий стіл в межах Erasmus+ SUNRISE project – as the support for the next generations of Ukrainian scientists (Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2025);
- науково-практична конференція «Сталий розвиток басейнових екосистем: регіональний контекст (Луцьк, ВНУ імені Лесі Українки, 2025);
- V Міжнародний науковий симпозиум «Сталий розвиток – стан та перспективи» (Славське, НУ «Львівська політехніка», 2026).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано у 16 наукових працях, в тому числі 2 статті у виданнях переліку категорії А в Україні, 3 статті у виданнях переліку фахових видань категорії Б, розділ у колективній монографії і 10 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій, симпозиумів.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота включає вступ, п'ять розділів, висновки та список літератури. Загальний обсяг становить 179

сторінок, з яких: 176 сторінок припадає на основний текст, що ілюстрований 36 рисунками та 23 таблицями; список використаних джерел містить 162 найменування на 17 сторінках; 2 додатки на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Фізико-географічне розташування, кліматичні особливості

Територія Західної України охоплює вісім областей – Волинську, Рівненську, Львівську, Тернопільську, Хмельницьку, Закарпатську, Івано-Франківську та Чернівецьку (рис. 1.1). Територія Західної України відрізняється за географічним положенням, природними особливостями та соціально-економічними характеристиками.



Рисунок 1.1 – Територія Західної України на карті України [1]

Географічно територія Західної України охоплює значну частину Поліської низовини, Подільської височини, а також Карпатський регіон, що формує природне і ландшафтне різноманіття. Регіон дослідження

розташований між 22° та 28° сх.д. і 47° та 52° півн.ш., має важливе стратегічне значення як із внутрішніх позицій, так і з міжнародних, межуючи з кількома державами (Польща, Словаччина, Угорщина, Румунія, Молдова). Розглянемо коротко географічне положення кожної області окремо:

- *Волинська область* – північний захід Західної України [2]; займає частину Поліської низовини, характеризується рівнинним рельєфом із лісами, болотами та численними озерами (зокрема, Світязь). Межує з Польщею на заході, Білоруссю на півночі, з Рівненською областю на сході [2];
- *Рівненська область* – північний центр регіону [3]; територія включає частину Полісся на півночі та переходить у Подільську височину на півдні. Область перетинає р. Горинь, яка є однією з найбільших у регіоні. Межує з Волинською областю на заході, Житомирською на сході, з Білоруссю на півночі [3];
- *Львівська область* – центральна частина Західної України [4]; включає рівнинні території, передгір'я та частково Карпати. Через область проходить вододіл між Балтійським і Чорним морями. Межує з Польщею на заході, Волинською областю на півночі, Тернопільською на сході, із Закарпатською на півдні [4];
- *Тернопільська область* – центральна частина регіону [5]; за формами рельєфу включає Подільську височину, річкові каньйони, численні печери та карстові утворення. Межує зі Львівською областю на заході, Хмельницькою на сході, Івано-Франківською на півдні [5];
- *Хмельницька область* – південно-східна частина Західної України [6]; розташована на Подільській височині, рельєф якої характеризується численними пагорбами та каньйонами. По території області протікають річки Дністер і Південний Буг. Межує з Тернопільською областю на заході, Вінницькою на сході, Чернівецькою на півдні [6];
- *Закарпатська область* є найзахіднішою областю України [7]; включає Карпати та Закарпатську низовину. Головні річки області – Тиса і

Латориця. Межує з Угорщиною, Словаччиною, Польщею та Румунією, а також Львівською та Івано-Франківською областями [7];

- *Івано-Франківська область* – південно-західна частина регіону [8]; являє собою гірську частину (Карпати) та передгір'я, які поступово переходять у рівнини. Найвища точка області – гора Говерла (2061 м), яка є найвищою точкою в Україні. Межує зі Львівською областю на півночі, Закарпатською на заході, Чернівецькою на сході [8];
- *Чернівецька область* – південно-західна частина України [9]; включає передгір'я Карпат і частково рівнинні території на півночі з річками Дністер і Прут. Межує з Румунією на півдні, Закарпатською областю на заході, Хмельницькою на сході [9].

Територія Західної України охоплює загальну площу приблизно 134,5 тис. км², що становить близько 22 % від загальної території України. Так, за площею регіон є одним із найбільших у країні. Окремо площі кожної області розподіляються так: Волинська область – 20,1 тис. км²; Рівненська область – 20,1 тис. км²; Львівська область – 21,8 тис. км²; Тернопільська область – 13,8 тис. км²; Хмельницька область – 20,6 тис. км²; Закарпатська область – 12,8 тис. км²; Івано-Франківська область – 13,9 тис. км²; Чернівецька область – 8,1 тис. км².

Регіон є одним із найбільш густонаселених в Україні з численними культурними й освітніми центрами, до яких відносяться Львів, Чернівці, Ужгород, Тернопіль та Хмельницький. Також велика частина населення Західної України мешкає в сільській місцевості. В цілому кількість населення Західної України станом на 2023 р. становило близько 10,5 млн. осіб. Найбільш густонаселеною областю є Львівська (понад 2,5 млн. осіб), найменша кількість населення – у Чернівецькій області (близько 900 тис. осіб).

Регіон багатий на водні об'єкти, які включають великі річки (Дністер, Прут і Тиса), а також численні малі річки. Гірські масиви Карпат сприяють туристичній привабливості регіону, а такі історичні міста як Львів, Чернівці та Івано-Франківськ є важливими культурними центрами України.

Клімат території дослідження є сприятливим для розвитку сільського господарства і туристичної галузі. Особливу роль в цьому відіграють мінеральні джерела та курорти, які приваблюють туристів з усієї України та зарубіжних країн. Західна Україна характеризується помірно-континентальним кліматом із вираженою сезонністю. Слід відзначити значну варіативність кліматичних умов залежно від рельєфу. Рівнинні території мають більш м'який клімат із теплим літом та помірно-холодною зимою, а у Карпатах панує гірський клімат із прохолодним літом та суворішим зимами. Основними кліматичними показниками на території Західної України є такі:

- середня температура влітку $+18 - +24$ °C на рівнинах і $+10 - +16$ °C у горах;
- середня температура взимку $-4 - -8$ °C, у Карпатах може знижуватись до -10 °C і більше;
- сума опадів складає $600 - 1200$ мм на рівнинах, до 1500 мм і більше в Карпатах;
- вітри переважно західного і північно-західного напрямків, що приносять вологе повітря з Атлантики.

Кліматичні особливості кожної області сприяють розвитку певних галузей господарства:

- у Волинській області – це сільськогосподарська галузь, зокрема вирощування зернових культур і льону [2];
- у Рівненській області – лісове господарство та аграрна галузь в цілому [3];
- у Львівській області – лісове господарство [4];
- у Тернопільській області – вирощування зернових культур і садівництво [5];
- у Хмельницькій області – вирощування овочевих і зернових культур [6];
- у Закарпатській області – розвиток виноградарства [7];
- у Івано-Франківській області – туристична галузь і лісове господарство [8];
- у Чернівецькій області – садівництво і сільське господарство [9].

Економічно Західна Україна є регіоном із потенціалом для розвитку різних галузей промисловості – легка та харчова промисловість, лісове господарство, туризм, деревообробна та меблева промисловість, машинобудування, видобувна галузь, виробництво товарів широкого вжитку.

Розглянемо особливості промисловості в кожній області регіону:

- *Волинська область* – основними галузями виробництва є видобуток торфу та бурого вугілля, харчова і легка промисловість. У м. Луцьк функціонує виробництво електротехнічної продукції, меблів, у м. Ковель – транспортне машинобудування [2];
- *Рівненська область* характеризується наявністю хімічної, лісової та деревообробна, харчової та легкої галузей промисловості [3];
- *Львівська область* характеризується наявністю таких галузей виробництва як машинобудування (виробництво автобусів, сільгосптехніки), деревообробка, вугільна промисловість [4];
- у *Тернопільській області* основними галузями є харчова промисловість (виробництво цукру, борошна, кондитерських виробів), легка (швейне і взуттєве виробництво), будівельна галузь [5];
- *Хмельницька область* характеризується наявністю підприємств машинобудівної галузі (виробництво сільськогосподарської техніки), харчової, будівельної галузей. У обласному центрі м. Хмельницький також розвинуто меблеве виробництво [6];
- *Закарпатська область* характеризується наявністю лісової, деревообробної, харчової промисловості [7];
- у *Івано-Франківській області* основними галузями є видобуток нафти й природного газу, харчова, лісова і деревообробна галузі. У м. Івано-Франківськ розвинуто виробництво будівельних матеріалів і легка промисловість, у м. Калуш – хімічна промисловість [8];
- *Чернівецька область* характеризується розвинутими деревообробною, харчовою, сільськогосподарською галузями, наявністю підприємств легкої промисловості [9].

В цілому промисловість Західної України характеризується різноманітністю, що обумовлено як наявними природними ресурсами, так і історичними традиціями. Такий багатогалузевий підхід сприяє збалансованому економічному розвитку регіону.

1.2 Характеристика антропогенного впливу на складові довкілля регіонів Західної України

У сучасних умовах глобалізації та екологічних змін проблеми екологічної безпеки набувають критичного значення в контексті забезпечення національної безпеки України. Постійний ризик для екосистем і здоров'я населення зумовлений значним рівнем забруднення складових довкілля. Ці проблеми посилюються через недосконалість систем екологічного управління, моніторингу довкілля та обмежену ефективність відповідних інституцій. Існуючі екологічні загрози потребують суттєвого оновлення стратегічних завдань державної екологічної політики, особливо з урахуванням впливу військових дій [10].

В останні роки Україна щорічно генерує близько 10 т відходів на душу населення, що майже вдвічі перевищує аналогічний показник у країнах ЄС. За офіційними даними загальний обсяг накопичених відходів у країні становить близько 36 млрд. т, що не враховує на сьогодні відходи руйнування, які щоденно утворюються у багатьох регіонах України. Ці показники еквівалентні понад 50 тис. т на 1 км² території країни. Недосконалість системи поводження з відходами зумовлює утворення численних несанкціонованих сміттєзвалищ, що становлять загрозу як екологічній безпеці, так і здоров'ю населення [10].

Екологічна шкода, спричинена військовими діями, є одним із найсерйозніших наслідків сучасності. Бойові дії впливають на всі компоненти довкілля: повітря, ґрунти, водні ресурси та біорізноманіття. Значною

проблемою також є брак доступу до об'єктивних даних про стан навколишнього середовища через фактичну відсутність контролю і постійні бойові дії [11].

Одним з цікавих досліджень є аналіз ключових геоecологічних проблем на прикладі географічної регіональної системи Рівненщини. Так, геосистема Рівненщини демонструє неоднозначний стан. З одного боку, природні комплекси регіону здатні до самоочищення, а з іншого відзначається значний техногенний вплив, що спричиняє трансформацію природних систем. Зокрема, зростання інтенсивності антропогенних дій призводить до формування так званих белігеративних ландшафтів (траншей, окопів), а також замінування територій, що суттєво впливає на стан природних екосистем [12].

У Тернопільській області відзначається низка ключових ecологічних проблем, які мають значний вплив на стан довкілля та здоров'я населення. До них, в тому числі, відносяться:

- дисбаланс у землекористуванні – надмірно висока частка орних земель, що становить 61,9 % від загальної площі області. Цей показник значно перевищує науково обґрунтовану норму, яка складає не більше 40 %. При цьому частка угідь під природною рослинністю є критично низькою (30 % замість рекомендованих 60 %). Такий дисбаланс призводить до деградації ґрунтів, втрати біорізноманіття та погіршення корисних властивостей екосистемних послуг;
- низький рівень лісистості – показник становить 14,5 %, що є нижчим від середнього показника по Україні (16 %) та значно поступається ecологічному оптимуму (20 %);
- забруднення водних об'єктів, що спричинено скидами промислових та побутових стічних вод (СВ). Через незадовільний стан каналізаційних мереж і неефективну роботу очисних споруд щороку у водойми скидається 2,5 – 2,7 млн. м³ недостатньо очищених або неочищених СВ, основними джерелами скидів яких є підприємства житлово-комунального господарства;

- проблеми поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) – полігони ТПВ в області перебувають у незадовільному стані. З 740 наявних полігонів паспортизовано лише 89, більшість сміттєзвалищ не відповідають санітарним нормам. Так, сміттєзвалище поблизу с. Малашівці створює ризик забруднення підземних вод Тернопільського водозабору;
- наявність накопичених отрутохімікатів – на початок 2018 р. в області було накопичено 17,8 т заборонених і непридатних пестицидів, які переважно зберігаються у непридатних для цього приміщеннях. Найбільші обсяги зафіксовано у Підволочиському (5,5 т) та Теремовлянському (11,0 т) районах [13].

У 2016 – 2019 рр. Постійний комітет Бернської конвенції затвердив 14 територій Смарагдової мережі (ТОП) у Закарпатській області. Ці території мають забезпечувати збереження видів флори і фауни європейського значення та їхніх середовищ існування. Порівняно з національними елементами екомережі, ТОП мають низку переваг, проте відсутність їх правового закріплення в Україні обмежує ефективність їх функціонування [14].

Площа цих ділянок становить 16,4 % території Закарпатської області. Найбільш значним об'єктом є Карпатський біосферний заповідник, у межах якого ідентифіковано 50 типів оселищ, що займають 82,28 % його території [15].

Порівняння територій Смарагдової мережі з природно-заповідними об'єктами Закарпатської області вказує, що більшість ТОП базуються на вже існуючих об'єктах природно-заповідного фонду (ПЗФ) і переважно розташовані в гірській частині регіону [15]. В сучасних умовах ця територія є також регіоном активного розвитку рекреаційно-туристичної діяльності. Проте відсутність достатньо розвиненої інженерної інфраструктури, зокрема каналізаційних систем, підприємств з переробки та утилізації відходів створює екологічні ризики [16].

Розглянемо більш детально стан і якість природних середовищ регіонів Західної України за офіційними даними, а також проаналізуємо публікації науковців в цьому напрямі досліджень.

За даними Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році міста Західної України не входять до п'ятірки найбільш забруднених міст України. Враховуючи, що на даний час моніторинг атмосферного повітря подовжує здійснюватися підрозділами гідрометеорологічної служби України, розглянемо відомості щодо якості атмосферного повітря території дослідження (табл. 1.1) за значенням комплексного індексу забруднення атмосфери (*KІЗА*).

Таблиця 1.1 – Значення *KІЗА* для міст Західної України у 2021 – 2024 рр.

Місто	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Луцьк	7,3	8,0	8,2	8,6
Ужгород	4,8	4,9	5,7	6,7
Івано-Франківськ	3,5	3,2	3,7	3,4
Львів	7,2	7,0	8,3	8,9
Рівне	6,8	5,8	6,0	4,6
Тернопіль	4,2	4,0	4,2	4,2
Хмельницький	3,7	3,5	2,9	2,9
Чернівці	3,0	3,0	2,3	1,9

Джерело: за даними [18 – 21].

З наведеної таблиці видно, що більшість міст Західної України згідно [21] характеризується підвищеним рівнем забруднення атмосфери при значеннях *KІЗА* = 5,0 – 7,0. Також в останні роки відзначено збільшення рівня забруднення атмосфери у містах Луцьк, Львів, Ужгород і зменшення у містах Хмельницький і Чернівці. Збільшення показників забруднення може бути пов'язано, в тому числі, зі збільшенням інтенсивності транспортних потоків через західні області країни, починаючи з 2022 р.

Спостереження, які здійснюються за транскордонним переносом забруднюючих речовин (ЗР) на двох станціях спостережень (м. Світязь, с. Світязь Шацького району Волинської обл. і М Рава-Руська, с. Шабельня Жовківського району Львівської обл.), де проводився середньодобовий відбір проб атмосферного повітря по діоксиду сірки та діоксиду азоту, показали, що середньорічні концентрації цих ЗР не перевищували діючі нормативи [21].

Питання оцінки рівня техногенного навантаження на повітряний басейн західних областей України є предметом досліджень окремих авторів. Так, у роботі [22] розглянуто вплив автомобільного транспорту на формування загального рівня забруднення атмосферного повітря у м. Львів. Для Львова вказаний вид джерел забруднення є переважним, що й актуалізує дослідження. Слід відзначити, що аналогічні дослідження проводилися для м. Львів і раніше з визначенням впливу окремих ЗР [23]. Цікавим також є підхід до створення інтерактивних карт за показниками забруднення атмосферного повітря [24], які визначають певним чином якість життя населення, а точніше, на наш погляд, наявність певних постійних джерел забруднення атмосферного повітря.

Також питання транспортного навантаження на повітряний басейн Тернопільської області розглянуто у роботі [25]. Автором проаналізовано інтенсивність впливу від різних видів автомобільного транспорту і визначено переважний вплив автотранспорту на формування рівня забруднення атмосфери в регіоні. Аналогічній проблемі присвячено дисертаційне дослідження Серкіз А.С. [26]. Автором виконано аналіз впливу навантаження автотранспортних систем на урбосистему м. Тернопіль з урахуванням загальносвітових тенденцій подальшої урбанізації та зростання кількості транспортних засобів, які за оцінками є переважними в даному регіоні.

Аналіз проблеми охорони атмосферного повітря в Закарпатській області виконаний авторами роботи [27]. Цікавим є в даному дослідженні застосування еколого-економічного підходу до оцінки стану повітряного басейну з урахуванням регіональних особливостей і проблем.

Складовою системи екологічного моніторингу є прогноз забруднення складових довкілля з метою попередження несприятливих екологічних ситуацій. Саме такий підхід застосований у роботі [28], де виконана спроба прогнозу забруднення атмосфери Хмельницької області з показниками обсягів викидів ЗР.

Слід відзначити, що в останні роки в Україні значна увага приділяється забрудненню атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом – $PM_{2,5}$. На сьогодні немає розвинутої мережі спостережень на рівні держави за вмістом цієї ЗР, а також немає відповідних нормативних показників, які б дозволили виконувати відповідні оцінки. Проте аналіз вмісту $PM_{2,5}$ здійснюється системою громадського моніторингу, а також в окремих містах за допомогою сучасних автоматизованих пунктів спостережень за забрудненням атмосфери (ПСЗ). Відомо, що частинки $PM_{2,5}$ мають значний негативний вплив на здоров'я населення. Відповідні оцінки, а також аналіз впливу запиленості повітря на рослинний покрив здійснювались для територій Рівненської [29], Закарпатської [30], Чернівецької [31] областей.

В цілому слід зауважити, що дослідження стану і рівня техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України не є систематичними. Мабуть це обумовлено невисоким рівнем техногенного впливу порівняно з іншими областями України.

Як зазначалось вище, територія Західної України має значні запаси водних ресурсів за рахунок численних гірських річок. Вони є джерелом питного водопостачання, а також використовуються для господарських потреб.

За даними Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області [32] «гідрографічна мережа регіону представлена річками двох басейнів – Прип'ять і Західний Буг. До басейну р. Прип'ять належать 131 річка, до басейну р. Західний Буг відноситься 26 річок. Загальна довжина річок складає 3734,2 км. Станом на 01.01.2025 р. в області налічується 1534 водних об'єкти, з яких 1258 ставків, 265 озер та 11 водосховищ ємністю більше 1 млн. м³».

По території Рівненської області протікає 171 річка довжиною 10 км і більше. Річки області належать до басейну правої притоки Дніпра – р. Прип'ять. Також в регіоні знаходиться 150 озер, 12 водосховищ, 1688 ставків. Найбільші водосховища – Хрінницьке на р. Стир і Млинівське на р. Іква [33].

Тернопільська область розташована «в басейні р. Дніпро (річки Горинь та Іква, площа водозбору 2,5 тис. км² або 18 % території області) і р. Дністер (річки Золота Липа, Коропець, Стрипа, Джурин, Серет, Нічлава, Збуч, площа водозбору 11,3 тис. км² або 82 % території області). Північна частина області розташована на правобережжі р. Прип'ять, до суббасейну якої належить 227 річок і струмків загальною довжиною 871 км, 3 водосховища об'ємом води 5,6 млн. м³ та 305 ставків об'ємом води 14 млн. м³» [34].

За даними Регіонального офісу водних ресурсів у Хмельницькій області регіон розташований на території трьох річкових басейнів – р. Дніпро (суббасейн р. Прип'ять), р. Південний Буг і р. Дністер. Загальна кількість річок в області складає 3733 довжиною 12880 км [35].

Не менш водозабезпеченими є і інші регіони Західної України. Так, водні ресурси Закарпатської області «належать до басейну р. Тиса. Всього в області протікає 9426 рік сумарною довжиною 19723 км. Поверхневий стік на території області формують правобережні притоки р. Тиса – річки Тересва, Тересля, Ріка, Боржава, що впадають в р. Тису, та річки Уж і Латориця. Найбільше озеро в області – оз. Синевір. Також нараховується 9 водосховищ та 59 ставків. Загальний об'єм всіх штучних водосховищ 60,5 млн. м³» [36].

У Івано-Франківській області найбільшими річками є р. Дністер і р. Прут. В цілому «загальна кількість водотоків на території області нараховує 8321 річку загальною довжиною 15656 км» [37].

На території Львівської області налічується 3553 ставків, водосховищ, озер, кар'єрів та інших водойм об'ємом 554,1 млн. м³. Також в регіоні розташовано 1972 річок загальною довжиною 9410 км. Річки відносяться до басейну р. Дністер (в т.ч. річки Стрий і Сірет), суббасейнів р. Прип'ять (Стир, Іква), р. Західний Буг, р. Сян [38].

По території Чернівецької області протікає 4240 річок, в області розташовані 1150 ставків, 4 водосховища, в тому числі Дністровське. Річкова мережа області належить до басейнів річок Прут і Сірет (відповідно 60 % і 25,5 % території). Річки басейну Дністра представлені невеликими водотоками, які складають 14,5 % загальної площі [39].

Таким чином, наявність розгалуженої річкової мережі, інших водних об'єктів, їх використання для різних господарських цілей формують і відповідний рівень навантаження на водні об'єкти.

Стан водних об'єктів регіонів західної України, аналіз показників водокористування, а також оцінки якості вод для різних видів водокористування є предметом дослідження багатьох авторів.

Значну увагу приділяється дослідженню басейну р. Прип'ять у Волинській області. Так, у роботі [40] виконано аналіз водогосподарської діяльності в басейні річки з метою оптимізації водокористування. Авторами визначено основні джерела забруднення річкових вод, що впливає на якість вод і формує певний рівень навантаження. Також оцінці антропогенного навантаження на долину р. Прип'ять присвячено дослідження [41]. Авторами розраховано індукційний коефіцієнт антропогенного навантаження, який враховує якісні показники, а також використання водних і земельних ресурсів. Отримано, що стан басейну можна вважати задовільним. Останнім сучасним дослідженням антропогенних змін долини р. Прип'ять є робота [42]. Якісні показники басейну р. Прип'ять проаналізовані у дослідженні [43]. Автором також визначено основні джерела надходження СВ у річкові води. Загальна оцінка екологічного стану та використання водних ресурсів Волинської області виконана авторами роботи [44]. Визначено коефіцієнт скиду забруднених стічних вод, значення якого вказує на низький рівень навантаження на водні об'єкти регіону. Оцінку стану водних екосистем регіону за рівнем антропогенного навантаження також виконано у роботі [45]. Ще одним об'єктом дослідження в регіоні є р. Стир. Так, у роботі [46] проаналізовано вміст важких металів (ВМ) у водах р. Стир в межах м. Луцьк і прилеглих

водних об'єктах. Виявлено, що найбільш забрудненими є гідравлічно пов'язані з р. Стир Гнідавське болото і Теремнівські ставки.

Комплексна оцінка якості вод р. Чорна Тиса (Закарпатська область) виконана у авторах дослідження [47]. Визначено, що в цілому води річки характеризуються задовільним станом, але зазначено на необхідність посилення контролю за якістю вод. Пізніше аналогічне дослідження було виконано для басейну р. Біла Тиса [48]. Отримані результати також вказують на задовільний стан вод. Причинами підвищених концентрації ВМ, на думку авторів, є особливості гідрогеологічних умов території. Аналіз показників водокористування у басейні р. Латориця здійснено у роботі [49]. Річка відноситься до транскордонних річок Закарпаття. Отримано, що водний об'єкт характеризується зменшенням показників навантаження, проте значною проблемою є незадовільний стан очисних споруд. Питанням оцінки якості питних вод у м. Ужгород та інших населених пунктах регіону було присвячено дослідження авторів роботи [50]. Встановлено, що значна кількість водогонів в регіоні не відповідає діючим вимогам, що безпосередньо впливає на якість питних вод. Авторами запропоновано ряд заходів щодо поліпшення ситуації, які розповсюджуються і на сільські населені пункти області.

Обмеженими, на жаль, є дослідження щодо стану і якості водних об'єктів в Івано-Франківській області. Проте однією з останніх є робота колективу авторів щодо встановлення функціональних залежностей між значеннями нормативів комплексних показників якості вод і довжиною річки та висотою місцевості над рівнем моря [51]. Оцінку якості вод на території Івано-Франківської області у межах комплексного дослідження було виконано у роботі [52]. Встановлено, що «якість природних вод, що використовуються для пиття і знаходяться у відкритих водоймах Івано-Франківської області, у багатьох випадках не відповідає нормативним вимогам. Основними причинами цього були як природні фактори (гідрологічні умови), так і вплив антропогенних чинників». До антропогенних чинників, в першу чергу, віднесено вплив сільськогосподарського сектору. Також аналізу якісних

показників присвячена робота [53] щодо оцінки якості вод р. Прут в межах м. Яремче. В цілому якість вод на ділянці, що аналізувалась, відповідає нормативним вимогам.

Значну увагу приділяється у науковій літературі дослідженням якості і стану поверхневих вод Львівської області. Детальна оцінка по 46 створах спостережень на території області була виконана у роботі [54]. Оцінка якості вод с. Стрий в межах регіону по гідробіологічним показникам [55] показала, що рівень токсичності вод можна характеризувати як середній і вище середнього. У роботі [56] виконана екологічна оцінка вод р. Дністер по всій течії, в тому числі і в межах Львівської області. Авторами встановлено, що «для верхів'я р. Дністер (с. Розвадів Львівської області) характерні значно вищі значення індексу забруднення води (*ІЗВ*). Також води басейну р. Дністер здебільшого помірно забруднені та перебувають під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем». Слід відзначити, що гідрологічний потенціал Львівської області сьогодні розглядається як основа для розвитку об'єктів відновлювальної енергетики. Цим питанням присвячені роботи [57 – 59], де авторами зазначено, що «Львівська область володіє суттєвим гідроенергетичним потенціалом щодо будівництва МГЕС. Понад половину потенціалу припадає на басейн р. Стрий». Визначено фактори негативного впливу при розміщенні МГЕС. Також, враховуючи умови сьогодення визначено вплив військової діяльності на плануємі об'єкти відновлювальної енергетики. Також розглянуто соціально-економічні чинники, які визначають розвиток і функціонування таких об'єктів в регіоні, в тому числі МГЕС.

Питанням оцінки екологічного стану р. Стир під впливом антропогенної діяльності на території рівненської області присвячено дисертаційне дослідження І.Л. Толочик [60]. Автором визначено, що на території регіону антропогенну складову якості води формують як природні, так і антропогенні чинники. Але на наш погляд, природні чинники є саме природним джерелом формування певного рівня навантаження, яке ніяк не можна віднести до

антропогенного фактору. Оцінка стану басейну р. Іква, в тому числі з урахуванням показників водоспоживання, інформації про основні джерела забруднення водного об'єкту, виконана у роботі [61]. Оцінку якості поверхневих вод в області на початку 2010-х рр. із застосуванням диференційованих підходів було виконано у роботі [62].

Дослідженню впливу антропогенного навантаження на стан ґрунтів, а також водних об'єктів на території Рівненської і Тернопільської областей присвячена робота [63]. Оцінка якості вод виконувалась для питних потреб. Встановлено відповідність нормативним вимогам якісних показників за основними параметрами. Екологічний стан поверхневих вод Тернопільської області проаналізовано у роботі [64]. Автором визначено показники скидів СВ, а також виконано оцінку якості вод на основі розрахунку екологічного індексу. У роботі [65] наведена загальна характеристика водогосподарського комплексу Тернопільської області. Більш детальна характеристика водних об'єктів регіону з урахуванням гідрографічних особливостей, а також показників водопостачання і аналізу екологічного стану наведено у дослідженні [66]. Розглянуто р. Сірет як основний водний об'єкт м. Тернопіль, яка за оцінками характеризується незадовільним екологічним станом. Також результати оцінки екологічного стану р. Сірет представлені у роботі [67]. Авторами встановлено, що «рівень забруднення не досягає критичних меж, характерних для інших регіонів України». Джерелами антропогенного впливу на водні об'єкти в регіоні є скиди СВ, надмірне господарське використання водних ресурсів, недостатньо ефективна робота очисних споруд.

Водні об'єкти Хмельницької області в останні роки не є об'єктом значної уваги дослідників. Слід відзначити фундаментальні роботи таких авторів як Говорун В.Д. і Тимощук О.О. (2010) [68], Хільчевського В.К. (2011) [69]. Серед останніх публікацій можна виділити роботу [70], у якій проаналізовано води з колодязів, водопровідної мережі та джерела у сільській місцевості регіону. В цілому встановлено відповідність нормативам питного та побутового призначення.

Оцінці стану та якості водних ресурсів Чернівецької області в останні роки присвячено фундаментальне дослідження Шевчука Ю.Ф. (2019) [71]. Надано детальну характеристику водних ресурсів регіону, визначено основні джерела забруднення та виконано оцінку якості поверхневих вод для різних видів водокористування. Також запропоновано комплекс заходів щодо поліпшення стану водних об'єктів в області. Деякі аспекти антропогенного впливу на стан водних об'єктів регіону також розглянуті у роботі [72].

Узагальнюючою роботою щодо оцінки впливу антропогенної діяльності на стан поверхневих вод регіонів Західної України є дослідження [73]. Проаналізовано стан окремих водних об'єктів Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської, Хмельницької областей. Було визначено, що на формування якісних показників вод впливають і природні, і антропогенні фактори, в тому числі внаслідок інтенсивної сільськогосподарської діяльності.

Аналіз публікацій щодо навантаження на ґрунтовий покрив проводився за показниками утворення відходів в регіоні. В цілому, за даними [17] «особливістю структури утворення відходів в Україні, у зв'язку з сировинною орієнтацією економіки, є висока частка у їх складі відходів добувної промисловості – понад 85 %. На інші види економічної діяльності припадає менше 15 %. Найбільша кількість відходів утворюється на підприємствах гірничометалургійної, вугільної, хімічної промисловості та енергетики. У структурі загальних обсягів утворення відходів за категоріями матеріалів домінують мало небезпечні мінеральні відходи IV класу небезпеки». Слід зазначити, що відповідно до Закону України «Про управління відходами» 2022 р. визначається лише 2 класи відходів: небезпечні відходи і відходи, що не є небезпечними.

Значну проблему в Україні представляє утворення ТПВ. На рис. 1.2 наведено відомості щодо обсягів утворення ТПВ по регіонах України. Як видно, найбільші показники утворення серед регіонів Західної України відзначались у Тернопільській, Львівській і Волинській областях. Львівська

область увійшла у перелік регіонів з найбільшим техногенним навантаженням – 10,5 тис. т ТПВ на 1 км².

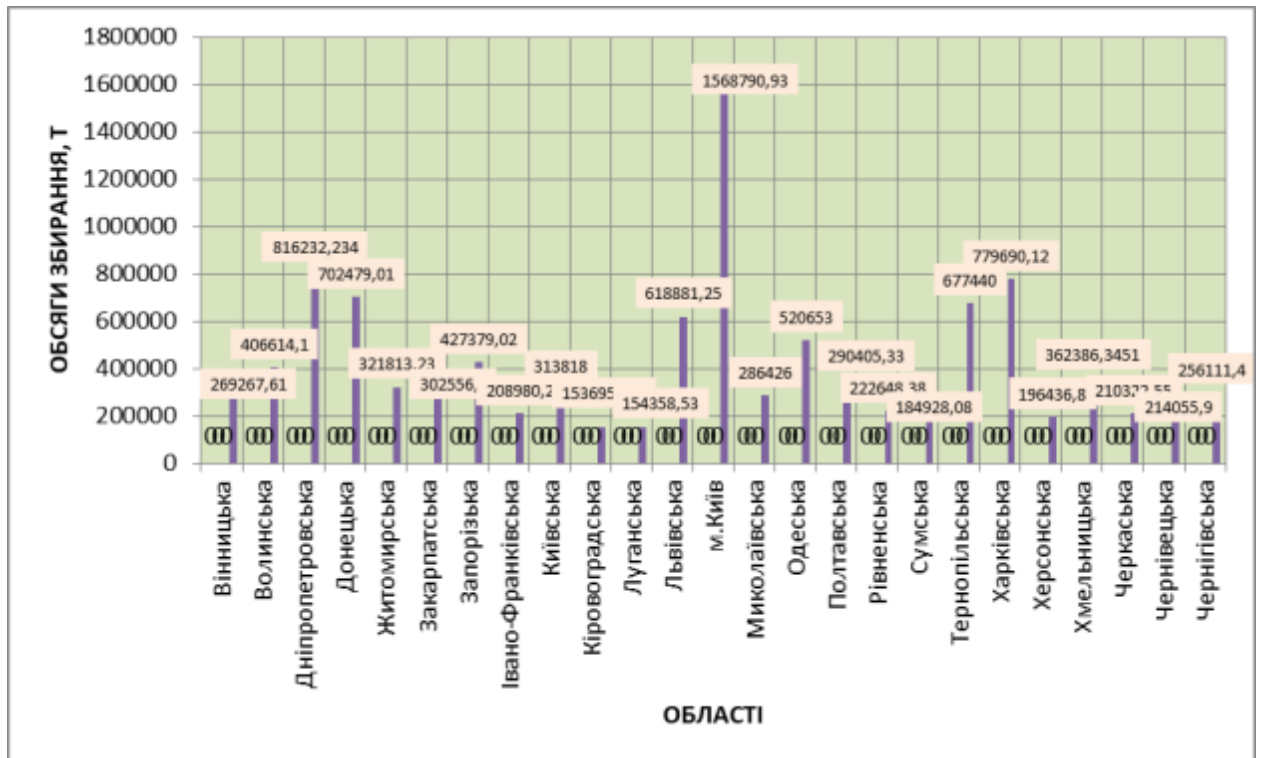


Рисунок 1.2 – Обсяги утворення ТПВ по регіонах України у 2021 р. [17]

За показниками накопичення відходів станом на 2021 р. серед західних областей України (рис. 1.3) найбільші значення відзначаються у Хмельницькій, Львівській і Рівненській областях.

В цілому питання поводження з відходами є досить актуальними для всіх регіонів України. Додаткову складову в цьому напрямі складає питання організації поводження з відходами руйнування, що набуло значущості у зв'язку зі збройною агресією росії. Фактично у кожному регіоні розроблено відповідну програму або план, зміст яких спрямований саме на вирішення вказаних проблем.

Таким документом є «Регіональний план управління відходами у Волинській області до 2030 року» [75].

Аналогічний документ був розроблений для Закарпатської області [76]. Також цікавим є аналітичний документ щодо прогнозу розвитку ситуації в

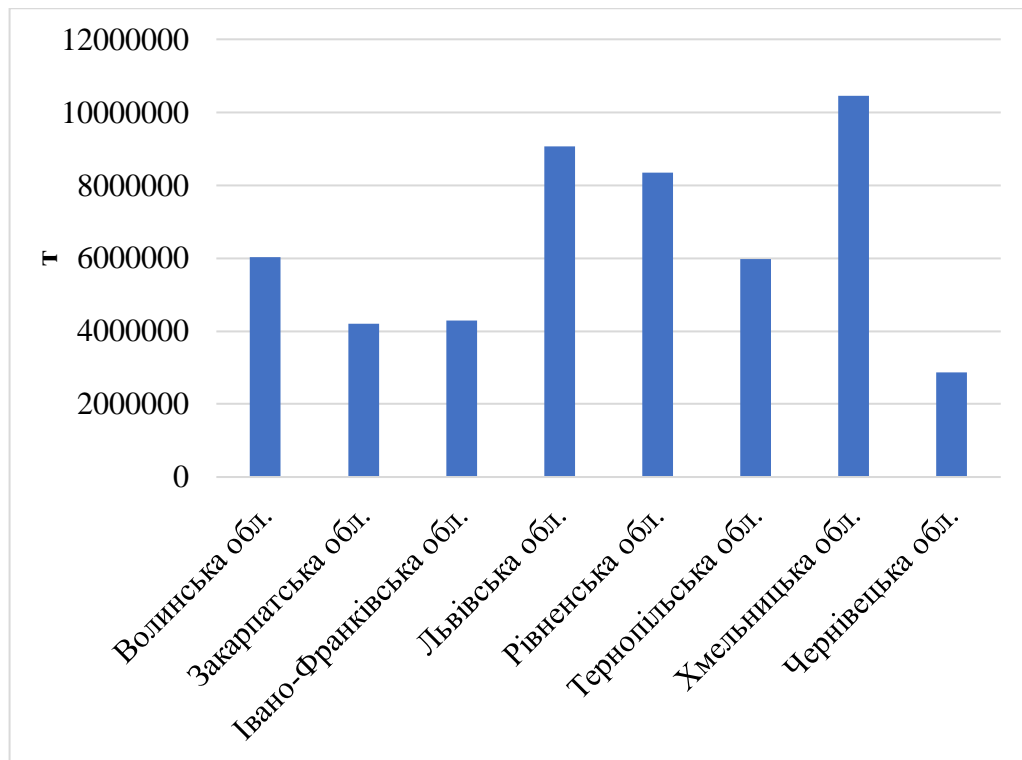


Рисунок 1.3 – Обсяги накопичення ТПВ у регіонах Західної України у 2021 р.

[17]

регіоні у сфері поводження з відходами [77]. Також проблема розглядається і у наукових публікаціях. Так, у роботі [78] розглянуто проблему утворення ТПВ у гірських районах Закарпаття. Авторами запропоновано основні напрями реалізації гнучкої системи поводження з відходами, враховуючи транскордонний статус території Закарпаття. Аналіз Стратегій поводження з відходами і основи їх складання показані у роботі [79] на прикладі Закарпатської області.

Аналітичний огляд системи поводження з відходами в Івано-Франківській області наведено у роботі [80]. В цілому визначено, що стан поводження з відходами в регіоні є незадовільним. Вказано на перевантаження полігонів, їх невідповідність санітарним нормам, наслідком чого може бути забруднення підземних вод. При цьому слід відзначити, що в області проводяться постійні дослідження щодо можливостей переробки і використання ТПВ як вторинного ресурсу, в тому числі використання їх в якості додаткового джерела енергії [81]. Питанням удосконалення системи

поводження з ТПВ в м. Івано-Франківськ присвячено дослідження [82]. Авторами проаналізовано регіональні стратегії і вказано на актуальні питання, які потребують вирішення для покращення ситуації в регіоні. Також слід відзначити, що Розпорядженням Івано-Франківської ОДА [83] від 12 березня 2024 р. № 117 було утворено робочу групу із розроблення Регіонального плану управління відходами в Івано-Франківській області до 2030 року.

Значну увагу проблемі утворення і накопичення відходів приділяється вченими стосовно Львівської області. Комплексно це питання розглянуто у роботі [84], де авторами було зазначено на збільшення показників утворення відходів в області, проаналізовано основні показники поведження з відходами і запропоновано заходи щодо вирішення проблеми з урахуванням світового досвіду. Подібний аналіз у той же період був здійснений для м. Львів і області в цілому [85]. Авторами запропоновано «формування комплексної інфраструктури утилізації ТПВ в межах Львівської області». З метою ефективної експлуатації полігонів ТПВ у дисертаційному дослідженні Лозинського В.А. (2019) обґрунтовано здійснення геоінформаційного моніторингу полігонів ТПВ на прикладі Львівського міського полігону [86]. На сьогодні в регіоні розпочато роботу над Регіональним планом управління відходами.

У Рівненській області розроблений і діє Регіональний план управління відходами Рівненської області на період до 2030 року [87]. Серед наукових публікацій можна виділити роботу Станкевича В.В. зі співавторами [88], а також численні обговорення на конференціях і форумах з питань поведження з відходами різного рівня.

Регіональний план управління відходами до 2030 року діє і в Тернопільській області [89]. Також проблему поведження з відходами розглянуто у роботі [90], де вказано на необхідність сортування відходів, а також підвищення екологічної свідомості населення. Проблеми і перспективи поведження з ТПВ в регіоні в цілому розглянуто у публікації [91]. Авторами

поряд з аналізом поточної ситуації виконано розрахункові оцінки утворення біогазу внаслідок накопичення ТПВ.

У Хмельницькій області у 2021 р. було також розглянуто Регіональний план управління відходами до 2030 р. [92].

Комплексним дослідженням з питань управління та поводження з відходами в регіонах Західної України є робота [93]. Автором розглянуто показники утворення відходів у 4 областях – Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська і Чернівецька. Визначено, що за абсолютними значеннями найбільші показники утворення відходів характерні для Львівської області, а за відносними – для Івано-Франківської. Проблема поводження з ТПВ найбільш актуальною є для Закарпатської і Львівської областей.

Висновки до розділу 1:

Наведений короткий опис території дослідження, особливостей фізико-географічного розташування і антропогенного впливу на складові довкілля дозволяють зробити такі висновки:

- територія Західної України має важливе стратегічне з внутрішніх та міжнародних позицій, межуючи з кількома державами;
- гірські масиви Карпат сприяють туристичній привабливості регіону; такі історичні міста як Львів, Чернівці та Івано-Франківськ є важливими культурними центрами України;
- Західна Україна – регіон із потенціалом для розвитку різних галузей промисловості;
- за офіційними даними міста Західної України не входять до п'ятірки найбільш забруднених міст України; більшість з них характеризується підвищеним рівнем забруднення атмосфери;
- дослідження стану і рівня техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України не є систематичними, що може бути обумовлено невисоким рівнем техногенного впливу порівняно з іншим областями України;

- територія Західної України має значні запаси водних ресурсів за рахунок численних гірських річок; вони є джерелом питного водопостачання, а також використовуються для господарських потреб.
- на формування якісних показників вод території дослідження впливають і природні, і антропогенні фактори, в тому числі інтенсивна сільськогосподарська діяльність;
- за показниками утворення відходів найбільші значення відзначались у Тернопільській, Львівській і Волинській областях, за показниками накопичення – у Хмельницькій, Львівській і Рівненській областях;
- сьогодні у більшості областей Західної України розроблено регіональні плани управління відходами.

Загалом слід відзначити, що систематичні і комплексні дослідження стану і рівня техногенного навантаження на регіони Західної України відсутні. Це може бути пов'язано з незначними показниками забруднення порівняно з іншими областями України. Проте регіон зазнає певного антропогенного впливу на всі складові довкілля.

РОЗДІЛ 2

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОВІТРЯНИЙ БАСЕЙН

В умовах поглиблення кліматичних змін, інтенсивної антропогенної діяльності та деструктивного впливу воєнних дій на довкілля зростає актуальність комплексного аналізу техногенного навантаження на основні компонентів навколишнього середовища. Атмосферне повітря як найбільш вразлива і водночас найбільш мобільна складова природного середовища потребує особливої уваги з огляду на обсяги викидів шкідливих речовин, що продукуються промисловими підприємствами, транспортною інфраструктурою, аграрним сектором та іншими джерелами забруднення. Західні регіони України, що історично поєднують промислові, рекреаційні й транскордонні функції, перебувають під впливом значного техногенного навантаження, яке має як локальні, так і регіональні прояви.

Сучасні екологічні виклики, спричинені інтенсифікацією господарської діяльності, зростанням обсягів споживання енергоресурсів, розбудовою логістичних мереж та урбанізацією, посилюють рівень забруднення атмосферного повітря. Традиційні фактори негативного впливу на довкілля в останні роки посилюються загостренням екологічної ситуації через воєнні дії, що супроводжуються руйнуванням промислових об'єктів, інфраструктури, пожежами. Все це створює додаткове техногенне навантаження на повітряний басейн. У багатьох регіонах України, включаючи західні області, фіксується перевищення нормативів вмісту ЗР, що безпосередньо впливає на стан здоров'я населення та функціонування природних екосистем.

У зв'язку з цим важливого значення набуває розвиток і впровадження сучасних підходів до оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн, що базуються на поєднанні кількісних показників, просторового аналізу, використанні інтегральних індексів та модулів забруднення. Розгляд і адаптація відповідних методик до умов Західної України дозволить отримати

більш точні оцінки ступеня антропогенного впливу, що, у свою чергу, стане основою для формування ефективних заходів управління якістю повітря та розробки регіональних екологічних стратегій.

2.1 Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн

Важливим кроком для вдосконалення національних методик моніторингу та управління якістю атмосферного повітря є вивчення закордонного досвіду у сфері оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн. У багатьох країнах світу сформовані розвинені системи екологічного моніторингу, що базуються на комплексних підходах із застосуванням інтегральних індексів, моделей розповсюдження ЗР та геоінформаційних технологій. Аналіз міжнародних практик дозволяє визначити найефективніші методології, які можуть бути адаптовані з урахуванням специфіки українських регіонів. Особливу увагу приділено країнам Європейського Союзу, де впроваджено жорсткі стандарти екологічного контролю і комплексні стратегії зменшення техногенного впливу. При цьому слід зазначити, що техногенне навантаження на атмосферне повітря можна визначати саме за показниками (індексами) навантаження, а також за індексами якості (індексами забруднення). Останні у розрахунках враховують вміст окремих ЗР у повітрі, і їх опосередковано можна також вважати показниками техногенного навантаження.

Одним з відомих індексів є індекс якості повітря (*AQI*) США. Це «індекс Агентства з охорони навколишнього середовища (EPA) для інформування про якість повітря» [94], є найпоширенішим способом оцінки стану повітря. Використовується в США, Європейському Союзі, Китаї, Індії тощо.

Індекс AQI – це інструмент ЕРА для комунікації щодо якості зовнішнього повітря та здоров'я населення. AQI має шість кольорових категорій, кожна з яких відповідає певному діапазону значень індексу (рис. 2.1).

AQI Basics for Ozone and Particle Pollution			
Daily AQI Color	Levels of Concern	Values of Index	Description of Air Quality
Green	Good	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Yellow	Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Orange	Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Red	Unhealthy	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Purple	Very Unhealthy	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Maroon	Hazardous	301 and higher	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.

Рисунок 2.1 – Базова інформація про AQI для озону та пилового забруднення [94]

Для кожної ЗР значення $AQI = 100$ зазвичай відповідає концентрації в повітрі, яка дорівнює рівню короточасного національного стандарту якості повітря для захисту громадського здоров'я. Значення AQI на рівні 100 або нижче вважаються задовільними. Коли значення AQI перевищують 100, якість повітря стає шкідливою: спочатку для певних чутливих груп населення, а з подальшим підвищенням AQI – для всіх людей.

Даний індекс розраховується за спеціальною інтерполяційною формулою для кожної ЗР окремо, після чого обирається найгірше значення (найбільше), яке й визначає загальний AQI :

$$AQI_i = \frac{I_{hi} - I_{lo}}{C_{hi} - C_{lo}} * (C_i - C_{lo}) + I_{lo}, \quad (2.1)$$

де AQI_i – значення індексу якості повітря для i -ої ЗР;

C_i – фактична концентрація ЗР в повітрі;

C_{hi}, C_{lo} – верхня і нижня межі діапазону концентрації, у який потрапляє C_i ;

I_{hi}, I_{lo} – відповідні значення AQI для меж C_{hi} і C_{lo} .

Кінцеве значення AQI – це максимальне з усіх розрахованих AQI :

$$AQI_{total} = \max (AQI_1, AQI_2, \dots, AQI_n). \quad (2.2)$$

ЕРА встановлює AQI для п'яти основних ЗР повітря, які регулюються Законом про чисте повітря (Clean Air Act). Для кожної з цих ЗР ЕРА встановило національні стандарти якості повітря з метою захисту громадського здоров'я:

- озон у приземному шарі;
- пилове забруднення (також відоме як зважені частинки, зокрема $PM_{2.5}$ і PM_{10});
- чадний газ;
- діоксид сірки;
- діоксид азоту [94].

Однак даний показник має свої недоліки. Наприклад, чинний AQI в Індії не враховує вплив ЗР на здоров'я, що зумовлює потребу у розробці індексу якості повітря з урахуванням здоров'я ($AQHI$) [95].

При вивченні цього питання виявилось, що загальний (об'єднаний) індекс якості повітря з урахуванням здоров'я ($AQHI$) може неточно відображати реальні ризики для здоров'я населення в окремих містах. Тому було запропоновано структуру для створення місто-специфічного $AQHI$, який точніше відображає місцеву якість повітря та пов'язані з нею ризики для здоров'я на основі даних про забруднення повітря та здоров'я у двох забруднених і густонаселених містах північної Індії – Делі та Варанасі (Делі у 2013 – 2017 рр., Варанасі у 2009 – 2016 рр.). Отримано, що єдиний об'єднаний $AQHI$ може неправильно відображати місцеву якість повітря та пов'язані з нею ризики для здоров'я. Оскільки значення $AQHI$ базуються на оцінках

надлишкового ризику смертності, «місто-специфічний *AQHI* забезпечує точніше відображення місцевих впливів забруднення на здоров'я та сприяє ефективнішим заходам у сфері громадського здоров'я» [95]. Такий підхід сприятиме більш ефективному моніторингу та реалізації цільових заходів для охорони громадського здоров'я.

Також слід зазначити, що *AQI* часто критикують за те, що він не враховує варіативність між складовими компонентами. Держави постійно моніторять якість повітря, збираючи дані із численних моніторингових станцій. У цьому контексті важливу роль відіграють «Європейські настанови щодо якості повітря», встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ), які служать основою для уніфікації протоколів (WHO TEAM 2021). Однак ці настанови зазвичай зосереджуються на окремих ЗР, хоча «на практиці люди зазнають одночасного впливу декількох хімічних речовин, які можуть мати сумарний, синергічний або антагоністичний ефект» [96].

Одним із головних недоліків вважається втрата інформації про особливості кожної ЗР, зокрема їхню часову динаміку і взаємозв'язки. *AQI*, по суті, є «статичним» індикатором, який сумує дані у визначений момент, ігноруючи коливання, тренди та кумулятивні ефекти. Ще одна суттєва проблема – це нездатність *AQI* вказати, які саме ЗР становлять найбільшу небезпеку, і як саме вони змінюються в часі.

У відповідь на це було запропоновано альтернативний підхід до побудови індексів якості повітря на основі функціонального аналізу даних (FDA – Functional Data Analysis). На відміну від традиційних методів, FDA дозволяє розглядати концентрацію ЗР як неперервні функції у часі, що значно краще відображає реальні динамічні процеси. Даний метод було апробовано на реальних даних у регіоні Тоскана (Центральна Італія). Було проаналізовано багаторічні часові ряди основних ЗР включно з PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO , O_3 тощо [96].

Так, було підтверджено, що FDA:

- більш чутливі до коливань;

- краще виявляють ризики, навіть тоді, коли традиційний *AQI* ще не сигналізує про небезпеку;
- забезпечують краще розуміння структури та динаміки забруднення;
- дозволяють проводити довгострокове прогнозування впливу забруднення та оцінювати ефективність екологічної політики [96].

Незважаючи на ефективність, підхід має свої обмеження:

- складність обчислень – потребує складного математичного апарату та обчислювальних ресурсів;
- неоднозначність вибору функціональної бази – різні способи згладжування можуть дати різні результати;
- залежність від методу стандартизації – потребує тонкого налаштування залежно від задачі [96].

Запропонований у дослідженні підхід до оцінки якості повітря за допомогою функціонального аналізу даних дає змогу суттєво підвищити інформативність і точність індексу *AQI*. Він дозволяє не лише виявити критичні ситуації, а й зрозуміти динаміку та взаємозв'язки між ЗР, що особливо важливо в умовах змін клімату та зростання індустріалізації.

Індекс якості повітря *AQI* є ефективним засобом для оперативної оцінки стану повітря та інформування населення про рівень забруднення. Його простота, візуальна доступність і можливість швидкого порівняння даних у просторі й часі роблять його корисним для комунікації та управлінських рішень. Водночас *AQI* має низку обмежень, зокрема втрату деталізації, ігнорування взаємозв'язків між ЗР та недостатню чутливість до динаміки змін (табл. 2.1). Це знижує його аналітичну цінність у довгостроковому екологічному плануванні. Тому для більш комплексного підходу до моніторингу якості повітря доцільно поєднувати *AQI* з багатофакторними або функціональними методами аналізу.

Для підготовки національних інвентаризацій викидів ЗР в атмосферу використовується методологія «EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (методика інвентаризації викидів ЗР), яка розроблена в межах

Таблиця 2.1 – Переваги і недоліки використання *AQI*

Переваги	Недоліки
Простий, зручний для розуміння, дає швидке уявлення про стан повітря: кольорове кодування допомагає швидко ідентифікувати рівень забруднення	Може приховувати складність ситуації через надмірне спрощення: не відображає детальної інформації про конкретні ЗР
Полегшує ухвалення управлінських рішень, особливо в екстрених ситуаціях	Рішення можуть бути прийняті на основі сумарного показника без урахування локальних особливостей
Дозволяє порівнювати рівень забруднення в різних містах і часових періодах	Відсутність єдиної міжнародної методики ускладнює порівняння між країнами
Використовує стандартизовані граничні значення для основних ЗР	Не враховує варіативність та асоціації між ЗР
Відображає ризики для здоров'я населення, особливо чутливих груп	Не враховується сукупний ефект усіх ЗР на здоров'я
Легко адаптується до національних стандартів і локальних даних	Складно застосувати до довгострокових трендів
Підходить для мобільних додатків, табло, онлайн-ресурсів	Вимагає точного та своєчасного моніторингу, що не завжди можливо у менш розвинених регіонах
Довго використовується у багатьох країнах (наприклад, США, Китай, ЄС)	Критикується за статичність та нечутливість до реальних змін у довкіллі

Джерело: за автором.

програми ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) під егідою Конвенції ООН про транскордонне забруднення повітря (CLRTAP) та Європейського агентства з довкілля (ЕЕА). Її використовують усі країни-члени ЄС [97].

Розроблено посібник, який має дві головні функції:

- надати чіткі процедури для складання інвентаризацій викидів, які відповідають критеріям якості ТСССА (прозорість, узгодженість, повнота, порівнюваність і точність);

- запропонувати методи оцінки та коефіцієнти викидів для фахівців різного рівня підготовки [98].

Посібник слугує як загальний довідник, а також є обов'язковим інструментом для країн-учасниць Конвенції LRTAP та держав-членів ЄС, зокрема для виконання вимог Директиви ЄС щодо зобов'язань зі скорочення викидів (NEC Directive). Інвентаризації, підготовлені за цим посібником, охоплюють ЗР, що спричиняють:

- ацидифікацію та утворення озону в тропосфері;
- вплив на здоров'я людей та екосистеми через небезпечні речовини;
- погіршення якості повітря;
- руйнування та забруднення будівель і споруд [98].

Дана методика не містить єдиної універсальної формули розрахунку викидів, оскільки охоплює багато секторів та різні ЗР. Проте для базових розрахунків викидів у більшості категорій використовується така стандартна формула:

$$E = A * EF * (1 - ER), \quad (2.3)$$

де E – обсяг викидів;

A – рівень активності;

EF – кількість викидів на одиницю активності;

ER – коефіцієнт ефективності систем контролю/зменшення викидів, де $ER = 0$ – відсутність очищення, $ER = 0,9$ – 90 % очищення.

Як було зазначено вище, ця методологія є обов'язковим стандартом для всіх держав-членів ЄС. На основі методики ЕМЕР/ЕЕА у 2021 р. було проведено дослідження щодо оцінки транспортного забруднення повітря в повіті Бреїла, Румунія [99].

Метою дослідження був аналіз складу ЗР, джерел та їх впливу на якість повітря в Бреїльському повіті у 2015 – 2019 рр. Серед заходів зменшення викидів були переорієнтація з автомобільного транспорту на залізницю,

автобуси та велосипеди. Відзначено, що якість повітря залишається недостатньою попри загальне зниження викидів окремих речовин з 1990 р.:

- SO_x – значне зниження завдяки десульфуризації;
- NO_x – зменшення на 49 % у 2019 р. відносно 1990 р.;
- NH_3 та $PM_{2.5}$ – помірне зниження [99].

Також підкреслено важливість щорічної інвентаризації викидів відповідно до вимог Конвенції LRTAP та директив ЄС (2016/2284). Зазначено, що «найбільшими джерелами надходження CO і SO_2 в Європі були Румунія, Франція, Німеччина, Італія, Болгарія, Іспанія та Велика Британія» [99].

Однак дана методика також має свої недоліки. Дослідження відносно Нордичних країн Європи [100] показують, що у деяких секторах дані описані занадто загально та не враховується специфіка окремих країн. Було введено та порівняно високороздільну інвентаризацію викидів Nordic Inventory з загальноєвропейськими підходами на кшталт CAMS-REGv4.2. Аналіз показав, що CAMS-REGv4.2 здатна відтворювати просторові закономірності, подібні до скандинавської інвентаризації для обраних секторів, водночас роздільна здатність нової інвентаризації дозволяє проводити більш детальну оцінку впливу, ніж CAMS-REGv4.2, яка має роздільність $0,1^\circ \times 0,05^\circ$ (довгота – широта, що приблизно відповідає $5,5 \times 3,5 - 6,5$ км у скандинавських країнах, натомість нова відповідає 1×1 км). Подальші дослідження авторів включали більш детальне вивчення забруднення $PM_{2.5}$ на основі нової методики [101].

На основі аналізу автори вважають, що керівництво ЕМЕР/ЕЕА повинно надавати окремі рекомендації щодо проксі для різних підкатегорій сектору техніки та позашляхової техніки, замість того, щоб об'єднувати їх у ширші групи. Автори пропонують оновити методику із просторового картування, додавши окремі рекомендації та пріоритет використання фактичних транспортних даних там, де є така можливість.

ЕМЕР/ЕЕА Air Pollutant Emission Inventory Guidebook є важливим інструментом для стандартизації підходів до оцінки викидів ЗР у повітря в межах Європи. Його основною перевагою є уніфікованість методик, що

дозволяє проводити порівняння для різних країн та забезпечує відповідність нормативним вимогам ЄС. Проте, у випадку локальних оцінок або для секторів зі складною структурою застосування Посібника може бути обмеженим через занадто загальні рекомендації. Іншим недоліком є обмеження у використанні детальних проксі-даних, які часто недоступні в національних статистиках. Водночас гнучкість Посібника дозволяє адаптувати його до локальних умов, якщо є доступ до більш точних даних (табл. 2.2). Загалом, це є надійним базовим інструментом, але потребує доповнення регіонально специфічними методиками для досягнення високої точності.

Узагальнюючи, можна сказати, що міжнародні методики оцінки техногенного впливу, а саме визначення *AQI* і методика інвентаризації викидів, є цінними інструментами у сфері моніторингу, оцінки стану та техногенного навантаження на повітряний басейн. Вони відзначаються простотою, наочністю та зручністю для оперативної комунікації з населенням, забезпечують стандартизований підхід до обліку викидів. Проте мають і специфічні обмеження: їх аналітична глибина є недостатньою для довгострокового планування, вони потребують адаптації під локальні умови через надмірну узагальненість окремих рекомендацій і можливі прогалини у даних.

Український досвід оцінювання техногенного навантаження на повітряний басейн формувався під впливом особливостей промислової структури країни, значної концентрації важкої промисловості та енергетики. Протягом останніх десятиліть в Україні було розроблено низку методичних підходів та нормативних документів, спрямованих на моніторинг, аналіз та прогнозування стану атмосферного повітря. Ці методики базуються як на традиційних показниках викидів ЗР, так і на індикаторах, що враховують регіональні особливості, метеорологічні умови та просторову диференціацію забруднення. Важливим напрямом є гармонізація національних підходів з міжнародними стандартами, що дозволяє підвищити порівнянність даних і якість екологічної політики. Таким чином, українська практика у цій сфері

Таблиця 2.2 – Переваги і недоліки використання ЕМЕР/ЕЕА Air Pollutant Emission Inventory

Переваги	Недоліки
Забезпечує уніфікований підхід до оцінки викидів у всіх країнах Європи	Стандартизовані підходи можуть не враховувати національні або регіональні особливості
Містить чіткі рекомендації для більшості секторів, включаючи транспорт, енергетику, промисловість	Деякі сектори (наприклад, «мобільна техніка та позашляхове обладнання») мають надто загальні рекомендації, без розподілу на підкатегорії
Посібник є публічно доступним і регулярно оновлюється, що сприяє прозорості	Методики складні для розуміння без спеціальної підготовки, що обмежує використання неспеціалістами
Дозволяє зіставляти викиди різних країн на єдиній основі	Методології можуть не охоплювати всі новітні наукові підходи або локальні практики
Відповідає потребам звітності за Конвенцією CLRTAP та директивами ЄС	Менш придатна для локальних оцінок на міському або муніципальному рівнях
Сприяє зрозумілості при обміні інформацією між країнами	Не завжди узгоджується з термінологією інших глобальних систем, таких як EDGAR або GAINS
Можлива інтеграція нових джерел даних (нічне освітлення, супутникові знімки)	Ускладнене впровадження оперативних змін при появі нових технологій або джерел забруднення

Джерело: за автором.

поєднує власні наукові напрацювання та адаптовані світові методики для забезпечення комплексної оцінки впливу антропогенних факторів на атмосферу.

Одним з показників, який найчастіше використовується для оцінки стану повітряного басейну, є методика, що базується на нормуванні моніторингових даних до величини гранично допустимої концентрації (ГДК) за результатами

вимірювань на мережі ПСЗа. У цьому випадку визначається індекс забруднення атмосфери (*I*_{ЗА}):

$$I = \left(\frac{q_p}{ГДК_{mp}} \right)^{C_i},$$

або $I = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i},$ (2.4)

де q_p та \bar{q} – відповідно максимальна та середня концентрації ЗР в атмосферному повітрі, мг/м³;

C_i – константа, що має значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класу небезпеки ЗР і дозволяє привести ступінь шкідливості i -ої ЗР до ступеня шкідливості SO_2 [102].

Для порівняльної оцінки рівня забруднення у декількох населених пунктах можна використовувати *KI*_{ЗА} – це показник, що кількісно відображає рівень забруднення повітря у місті, спричинений наявністю n різних забруднювальних речовин. Його значення обчислюють за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i} \right)_i. \quad (2.5)$$

Як різновид *KI*_{ЗА} часто використовують індекс I_5 , який враховує п'ять найбільших значень одиничних *I*_{ЗА} серед усіх ЗР, вміст яких аналізується. Значення I_5 дозволяє визначити клас забруднення атмосфери:

- $I_5 < 2,5$ – чисте повітря;
- $I_5 = 2,5 - 7,5$ – слабо забруднене повітря;
- $I_5 = 7,6 - 12,5$ – забруднене повітря;
- $I_5 = 12,6 - 22,5$ – сильно забруднене повітря;
- $I_5 = 22,6 - 52,5$ – високе забруднення;
- $I_5 > 52,5$ – екстремально забруднене повітря [102].

Ця методика, свого роду, «побратим» індексу якості повітря *AQI*, який використовують в Австралії. При його визначенні враховуються концентрації озону (O_3), діоксиду азоту (NO_2), діоксиду сірки (SO_2), оксиду вуглецю (CO) та завислих частинок. Розрахункова формула має вид:

$$I_P = (C_P / C_{Ps}) \cdot 100 \%, \quad (2.6)$$

де I_P – індекс забруднення;

C_P – концентрація ЗР;

C_{Ps} – стандартна концентрація ЗР [102].

За значеннями *AQI* виділяють 5 категорій якості повітря (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Категорії якості атмосферного повітря за значенням *AQI* (Австралія) [102]

Категорія	Діапазон <i>AQI</i>
Дуже добра (<i>VG</i>) якість повітря	0 – 33
Добра (<i>G</i>) якість повітря	34 – 66
Нормальна (<i>F</i>) якість повітря	67 – 99
Погана (<i>P</i>) якість повітря	100 – 149
Дуже погана (<i>VP</i>) якість повітря	≥ 150

Джерело: [102].

Спроба порівняння двох індексів виконана у роботі [103]. Було здійснено порівняння *IЗА* та *AQI* для міст Львів, Івано-Франківськ та Ужгород за даними моніторингу 2019 р. Через відсутність спостережень за O_3 в цих регіонах для оцінки використали показники вмісту NO , концентрації якого були значними. Результати розрахунків показали, що методика визначення *IЗА* поділяє якість повітря лише на дві категорії – «чиста» або «забруднена» атмосфера, тоді як *AQI* має п'ять градацій, що дає змогу деталізувати оцінку. Так, «чистому» повітрю за *IЗА* відповідають градації *AQI* від «дуже доброго» до «нормального», а «забрудненому» – «поганий» та «дуже поганий» стан.

Розрахунок I_5 для всіх досліджених міст показав наявність лише однієї категорії – «слабке забруднення». Також було зазначено, що «відмінністю AQI від I_5 є неврахування класу небезпеки речовини. При цьому вважаємо, що оцінка за вмістом O_3 є необхідною, враховуючи токсичність даної ЗР. Проте у багатьох містах України відзначаються високі концентрації в атмосферному повітря формальдегіду, що є важливим при оцінці за значенням при оцінці за I_5 » [103].

У роботі [104] проведено порівняльний аналіз трьох індексів оцінки стану повітря та порівняння підходів до визначення якості атмосферного повітря на прикладі м. Чернівці. Це місто належить до територій з низьким рівнем забруднення, основним джерелом якого є викиди автотранспорту.

Як альтернатива KI_5 розглядався індекс небезпеки забруднення I_n :

$$I_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2}, \quad (2.7)$$

де k – перевищення $ГДК$ певної ЗР [102].

Отримані результати показали, що значення I_n і KI_5 характеризуються схожими тенденціями, що підтверджує його придатність для оцінювання. Хоча при його розрахунку не враховується клас небезпеки речовин, цей індекс можна використовувати для порівняльного аналізу стану атмосферного повітря в різних регіонах [104].

Так, I_5 є ефективним інструментом для оцінки стану повітряного басейну, що визначає загалом рівень техногенного навантаження. Розрахунок I_5 або його різновидів/аналогів дозволяє швидко отримати узагальнену характеристику рівня забруднення за кількома речовинами одночасно та порівнювати різні регіони між собою. Однак ці методики мають обмеження, зокрема не враховують токсичність окремих речовин, в деяких випадках клас небезпеки, а також накопичувальні та синергетичні ефекти забруднень (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Переваги та недоліки використання *ІЗА/КІЗА*

Переваги	Недоліки
Відносно прості у розрахунку, дозволяють швидко отримати узагальнений показник	Можуть бути надто спрощеними для складних систем
Дають можливість оцінити рівень забруднення за кількома речовинами одночасно	Часто не враховують токсичність або клас небезпеки речовин
Об'єднують вплив різних ЗР в один інтегральний показник	Іноді важко інтерпретувати
Є можливість проводити порівняльний аналіз між територіями	Результати залежать від якості та повноти вихідних даних
Можна адаптувати під різні набори ЗР	-
Використання нормативних значень <i>ГДК</i> для нормалізації даних	Не враховують накопичувальні та синергетичні ефекти забруднення

Джерело: за автором.

На сьогоднішній день в Україні фактично відсутній уніфікований підхід до комплексної оцінки стану довкілля під впливом техногенного навантаження. Існує низка різних методик, які дозволяють визначати показники впливу на довкілля в цілому, а також на окремі його складові.

У дослідженні Є.В. Хлобистова та ін. [105] наведено методику розрахунку показників, які використовуються для інтегральної оцінки стану довкілля з метою районування будь-якої території за рівнем економічної безпеки та екологічного стану. Було запропоновано визначати інтегральний бальний показник екологічного стану ($P_{\text{нідсумок}}$) згідно формули:

$$P_{\text{нідсумок}} = \frac{(P_{\text{вода}}^i + P_{\text{атм}}^i + P_{\text{зем}}^i)}{3}, \quad (2.8)$$

де $P_{\text{вода}}^i$, $P_{\text{атм}}^i$, $P_{\text{зем}}^i$ – інтегральний бальний показник стану водних ресурсів, атмосферного повітря та земельних ресурсів [105].

Зведений показник якості атмосферного повітря обчислюють за такою формулою:

$$P_{атм} = 0,001 * m * I, \quad (2.9)$$

де $P_{атм}$ – визначається у тонах умовного навантаження;

m – фактична маса викиду шкідливих речовин за рік усіма джерелами на території досліджуваного регіону, тис. т;

I – регіональний коефіцієнт, що враховує рівень впливу соціально-економічних і природно-кліматичних факторів, еколого-економічні наслідки техногенного навантаження по регіонах України [105].

Ще одним поширеним в Україні показником оцінки рівня техногенного навантаження на довкілля є «модуль техногенного навантаження (MTH). Він розраховується як сума вагових обсягів усіх видів відходів – твердих, рідких та газоподібних, що утворюються на промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктах протягом року, віднесена до площі адміністративного району або області, де розташовані ці об'єкти». Визначається цей показник у тис. т/км² на рік [106]. З урахуванням методики розрахунку MTH було вдосконалено підхід до оцінювання та введено практику визначення окремих модулів навантаження для різних компонентів довкілля [107]. До них належать:

- «модуль техногенного навантаження на повітряний басейн ($M_{ПБ}$) – розраховується за обсягами викидів забруднювальних речовин від стаціонарних та пересувних джерел (сума двох показників);
- модуль техногенного навантаження на водні об'єкти ($M_{ВО}$) – визначається за обсягами скидів стічних вод і вмістом у них забруднювальних речовин (без сумування);
- модуль техногенного навантаження на геологічне середовище ($M_{ГС}$) – оцінюється за кількістю відходів, утворених і накопичених у регіоні (може враховувати суму двох значень)» [107].

Використання таких модулів для оцінювання та порівняння стану окремих компонентів довкілля є багатоступеневим процесом, що включає: формування вихідної бази даних, обчислення модулів з урахуванням площі регіону та побудову графічних матеріалів для просторово-часового аналізу.

На наш погляд, інтегральний показник стану атмосферного повітря ($P_{атм}$) та модуль техногенного навантаження на повітряний басейн ($M_{ПБ}$) є важливими та доповнюючими один одного інструментами для оцінки техногенного впливу на довкілля. $P_{атм}$ забезпечує комплексну оцінку з урахуванням соціально-економічних, природних та екологічних факторів, що робить його корисним для стратегічного аналізу та планування. Водночас, $M_{ПБ}$ фокусується безпосередньо на обсягах викидів ЗР, що дає змогу оперативно відстежувати техногенне навантаження. Недоліки кожного з показників, такі як складність розрахунку для $P_{атм}$ і обмеженість у врахуванні факторів для $M_{ПБ}$, можуть бути компенсовані їх спільним застосуванням (табл. 2.5, 2.6). Тому ефективна оцінка стану повітряного басейну потребує використання обох показників у комплексі, що дозволить отримати більш повну і точну картину техногенного впливу.

Таблиця 2.5 – Переваги та недоліки використання $P_{атм}$

Переваги	Недоліки
Враховує екологічні, соціально-економічні та природні фактори, що впливають на стан повітря	Складність розрахунку через неоднозначність параметрів
Визначає стан атмосферного повітря	Може бути менш чутливим до оперативних змін у короткостроковій перспективі
Підходить для стратегічного оцінювання та довгострокового моніторингу	Інтерпретація результатів може бути складною для користувачів
Можливість порівнювати регіони з урахуванням їх особливостей	Потребує уніфікованих даних і методології для коректного порівняння

Джерело: за автором.

Таблиця 2.6 – Переваги та недоліки використання *M_{ПБ}*

Переваги	Недоліки
Конкретно фокусується на техногенному навантаженні через показники викидів	Не враховує соціально-економічні та природні умови, лише антропогенний вплив
Висока чутливість до змін у обсягах забруднюючих речовин	Обмежена інформативність щодо впливу на здоров'я
Зручний для оперативного оцінювання техногенного впливу	Менш придатний для оцінки комплексного стану довкілля
Дає чітке уявлення про рівень техногенного навантаження між регіонами	Результати можуть бути непорівнянними через відмінності у даних про джерела викидів
Простий у розрахунку і швидкий у застосуванні	Не враховує накопичувальні ефекти та взаємодію ЗР

Джерело: за автором.

2.2 Оцінка техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України

Оцінка техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України проводилась із застосуванням декількох методичних підходів. В якості вихідних даних були використані матеріали Регіональних доповідей, Екологічних паспортів регіонів, інша статистична інформація щодо показників якості і стану повітряного басейну за багаторічний період.

Як було зазначено вище, інструментом для оцінки стану повітряного басейну, що в цілому визначає рівень техногенного навантаження, можуть слугувати індекси забруднення атмосфери. На даний час застосовуються різні підходи до визначення індексів, що стало частиною дослідження (п. 2.1).

Нами було проведено порівняння результатів розрахунків *I_{ЗА}*, *I₅* та *AQI* для регіонів Західної України. Оскільки спостереження за вмістом *O₃* в даних

регіонах не проводяться, для оцінки було використано дані про вміст ЗР, концентрація якої була максимальною. Такий підхід наближає можливість порівняння AQI з I_5 . Аналіз проводився за період 2014 – 2023 рр. Вихідна інформація була розділена на 2 періоди – 2014 – 2018 рр. і 2019 – 2023 рр. У табл. 2.7 наведено результати порівняльного аналізу.

Як було зазначено вище, за значенням $IЗА$ якість атмосферного повітря може характеризуватися лише двома категоріями: «атмосфера чиста» або «атмосфера забруднена». І це суттєво звужує характеристику стану повітряного басейну окремими ЗР. У роботі зазначено [103], що «умовам «чистої» атмосфери за значенням $IЗА$ відповідають градації за AQI від «дуже доброго» стану до «нормального», умовам «забрудненої» атмосфери – градації «поганий» і «дуже поганий» стан». Так, у переважній більшості міст Західної України стану «атмосфера чиста» за $IЗА$ відповідав стан «дуже добра» або «добра» за AQI . Слід також відзначити, що при значенні $IЗА = 1$ атмосфера вважається чистою. А при значенні $AQI = 100$, яке відповідає $IЗА = 1$, якість атмосферного повітря класифікується як «погана».

За значенням I_5 стан повітряного басейну характеризувався категоріями «слабко забруднене» – «забруднене». Переважним був стан слабко забрудненого повітря. Основними ЗР у більшості міст були формальдегід і діоксид азоту.

Показники « $IЗА$ та AQI характеризується схожими принципами розрахунку, які враховують фактичну концентрацію ЗР і норматив якості. Відмінністю AQI від $IЗА$ є неврахування класу небезпеки речовини. Також слід зазначити, що оцінка за вмістом O_3 є необхідною, враховуючи токсичність даної ЗР. Проте у багатьох містах України відзначаються високі концентрації в атмосферному повітря формальдегіду, що є важливим при оцінці за значенням при оцінці за I_5 . Тому, на нашу думку, індекс AQI можна використовувати як альтернативний показник для оцінки стану повітряного басейну» [103].

Окремі питання особливостей оцінки стану і якості повітряного басейну представлено у роботі [104].

Таблиця 2.7 – Оцінка стану атмосферного повітря на основі розрахунку I_{BA} , I_5 , AQI на прикладі регіонів Західної України (порівняльний аналіз)

Індекс	Рік	Пил	SO_2	CO	NO_2	$HCHO$
<i>м. Луцьк</i>						
I_{BA}	2014-2018	0,53 чиста	0,04 чиста	0,13 чиста	2,85 забруднена	3,12 забруднена
AQI		53,3 добра	3,8 дуже добра	10,4 дуже добра	285,0 дуже погана	240,0 дуже погана
I_5		8,39 забруднене				
I_{BA}	2019-2023	0,54 чиста	0,05 чиста	0,15 чиста	1,97 забруднена	2,33 забруднена
AQI		53,6 добра	4,6 дуже добра	12,2 дуже добра	197,4 дуже погана	191,4 дуже погана
I_5		7,17 слабо забруднене				
<i>м. Ужгород</i>						
I_{BA}	2014-2018	0,57 чиста	0,04 чиста	0,86 чиста	1,26 забруднена	4,25 забруднена
AQI		56,5 добра	3,8 дуже добра	84,4 нормальна	126,2 погана	304,6 дуже погана
I_5		7,69 забруднене				
I_{BA}	2019-2023	0,53 чиста	0,22 чиста	0,37 чиста	1,4 забруднена	2,68 забруднена
AQI		53,4 добра	22,4 дуже добра	33,0 дуже добра	140,2 погана	213,6 дуже погана
I_5		5,48 слабо забруднене				
<i>м. Івано-Франківськ</i>						
I_{BA}	2014-2018	1,56 забруднена	0,23 чиста	0,56 чиста	1,0 чиста	0,45* чиста
AQI		156,0 дуже погана	23,0 дуже добра	52,5 добра	100,0 погана	45,0 добра
I_5		3,8 слабо забруднене				
I_{BA}	2019-2023	0,94 чиста	0,18 чиста	0,64 чиста	1,31 забруднена	0,55* чиста
AQI		94,4 нормальна	17,6 дуже добра	60,8 добра	131,0 погана	54,8 добра
I_5		3,62 слабо забруднене				

Продовження табл. 2.7

Індекс	Рік	Пил	SO ₂	CO	NO ₂	НСНО
<i>м. Львів</i>						
<i>ІЗА</i>	2014-2018	1,12 забруднена	0,28 чиста	0,74 чиста	1,11 забруднена	3,44 забруднена
<i>AQI</i>		111,9 погана	28,0 дуже добра	71,8 нормальна	111,0 погана	258,4 дуже погана
<i>I₅</i>		6,83 слабо забруднене				
<i>ІЗА</i>	2019-2023	0,91 чиста	0,19 чиста	0,66 чиста	1,22 забруднена	3,78 забруднена
<i>AQI</i>		91,0 нормальна	18,7 дуже добра	63,3 добра	122,0 погана	278,0 дуже погана
<i>I₅</i>		7,09 слабо забруднене				
<i>м. Рівне</i>						
<i>ІЗА</i>	2014-2018	0,43 чиста	0,03 чиста	0,49 чиста	0,71 чиста	2,79 забруднена
<i>AQI</i>		42,6 добра	3,2 дуже добра	45,2 добра	71,0 нормальна	220,0 дуже погана
<i>I₅</i>		6,74 слабо забруднене				
<i>ІЗА</i>	2019-2023	0,29 чиста	0,03 чиста	0,35 чиста	0,96 чиста	2,79 забруднена
<i>AQI</i>		29,0 дуже добра	3,0 дуже добра	31,0 дуже добра	95,8 нормальна	220,0 дуже погана
<i>I₅</i>		6,17 слабо забруднене				
<i>м. Тернопіль</i>						
<i>ІЗА</i>	2014-2018	0,56 чиста	0,08 чиста	0,79 чиста	1,17 забруднена	0,6 чиста
<i>AQI</i>		56,2 добра	8,4 дуже добра	76,8 нормальна	116,6 погана	67,2 нормальна
<i>I₅</i>		3,52 слабо забруднене				
<i>ІЗА</i>	2019-2023	0,64 чиста	0,1 чиста	0,84 чиста	1,22 забруднена	0,82 чиста
<i>AQI</i>		63,8 добра	9,5 дуже добра	82,2 нормальна	121,5 погана	86,0 нормальна
<i>I₅</i>		3,99 слабо забруднене				

Продовження табл. 2.7

Індекс	Рік	Пил	SO ₂	CO	NO ₂	НСНО
<i>м. Хмельницький</i>						
<i>IЗА</i>	2014-2018	0,54 чиста	0,45 чиста	0,55 чиста	1,34 забруднена	1,47 забруднена
<i>AQI</i>		54,3 добра	44,9 добра	51,4 добра	134,5 погана	134,6 погана
<i>I₅</i>		4,36 слабо забруднене				
<i>IЗА</i>	2019-2023	0,5 чиста	0,47 чиста	0,68 чиста	1,11 забруднена	0,89 чиста
<i>AQI</i>		49,8 добра	47,2 добра	65,2 добра	110,6 погана	91,2 нормальна
<i>I₅</i>		3,64 слабо забруднене				
<i>м. Чернівці</i>						
<i>IЗА</i>	2014-2018	0,31 чиста	0,05 чиста	0,26 чиста	0,74 чиста	1,29 забруднена
<i>AQI</i>		30,6 дуже добра	5,2 дуже добра	22,0 дуже добра	74,0 нормальна	122,0 погана
<i>I₅</i>		3,6 слабо забруднене				
<i>IЗА</i>	2019-2023	0,53 чиста	0,05 чиста	0,14 чиста	0,64 чиста	1,07 забруднена
<i>AQI</i>		52,5 добра	5,2 дуже добра	11,4 дуже добра	64,0 добра	105,0 погана
<i>I₅</i>		3,27 слабо забруднене				

Примітка: * враховано вміст NO

Джерело: за автором.

Для оцінки рівня техногенного навантаження на повітряний басейн застосовано дві раніше описані методики – методика розрахунку показника $P_{атм}$ і показника $M_{ПБ}$.

На попередньому етапі було проаналізовано динаміку показників викидів ЗР у повітряний басейн регіонів Західної України. Слід відзначити, що по деяких регіонах (Волинська і Тернопільська області) буда відсутня інформація в окремі роки (2005 – 2009 рр.). Також з 2016 р. в офіційній

статистиці фактично відсутня інформація щодо викидів ЗР від пересувних джерел. Тому в окремих випадках ці дані були проінтерпольовані з урахуванням відомостей про викиди у попередні роки.

Проаналізовано показники викидів від стаціонарних і пересувних джерел. Враховуючи значний обсяг вихідної інформації, було розраховано середні значення показників викидів за 2005 – 2023 рр. (рис. 2.2). З представленого рисунку видно, що максимальні показники викидів відзначались у двох областях – Івано-Франківська і Львівська, мінімальні – у Чернівецькій області. Переважними джерелами викидів у більшості областей є пересувні. Їх внесок у формування загального рівня забруднення складав в середньому від 53 (Львівська область) до 90 % (Чернівецька область). Лише в Івано-Франківській області стаціонарні джерела суттєво впливають на рівень забруднення атмосфери (більше 80 % внеску).

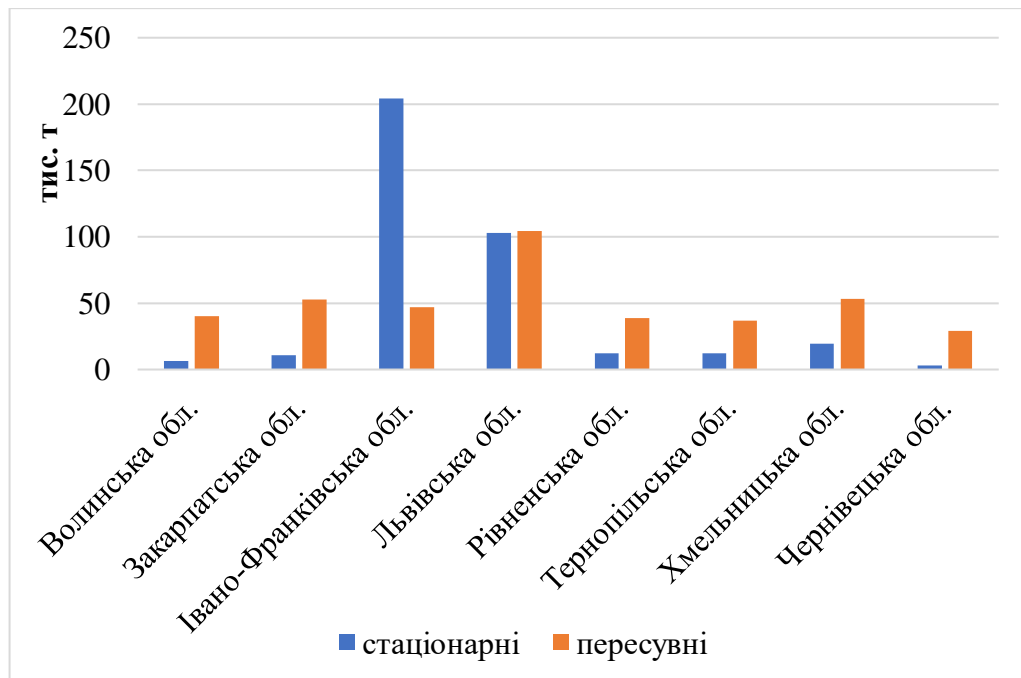


Рисунок 2.2 – Середні показники викидів ЗР в атмосферне повітря від стаціонарних і пересувних джерел по регіонах Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

Аналіз динаміки зміни сумарних показників викидів (рис. 2.3) показав, що за період дослідження відзначається загальна тенденція до зменшення обсягів викидів ЗР. Максимум відзначався у 2007 – 2008 р. У подальші роки показники поступово зменшувались, і станом на 2023 р. їх значення склали 50 % від показників 2007 р. Вказана тенденція є наслідком зменшення викидів як від стаціонарних, так і від пересувних джерел на території Західної України.

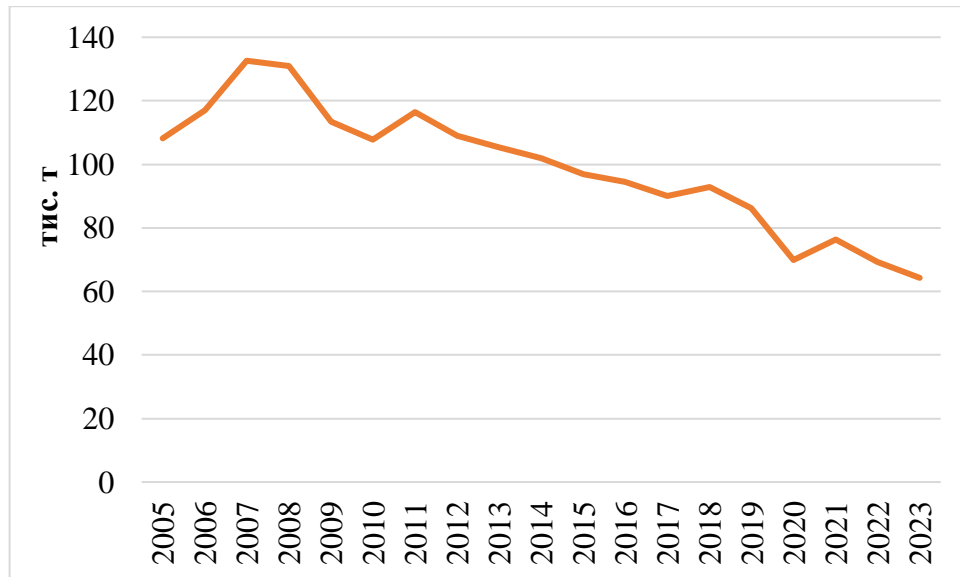


Рисунок 2.3 – Динаміка викидів ЗР у повітряний басейн регіонів Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

На основі відомостей про викиди ЗР у повітряний басейн було розраховано показник стану атмосферного повітря $P_{атм}$ для окремих областей (рис. 2.4). Як видно, максимальні показники за період дослідження відзначаються у Івано-Франківській і Львівській областях, мінімальні – у Волинській, Рівненській і Чернівецькій. Фактично у всіх областях відзначається тенденція до зменшення навантаження. Найбільш суттєве зменшення характерно для Волинської, Закарпатської, Рівненської і Чернівецької областей. У роботі [108] була виконана подібна оцінка для періоду 2017 – 2021 рр. За значенням показника $P_{атм}$ територія Західної України за вказаний період була розподілена на 3 групи. Так, «до I групи з мінімальними показниками навантаження на повітряний басейн увійшли

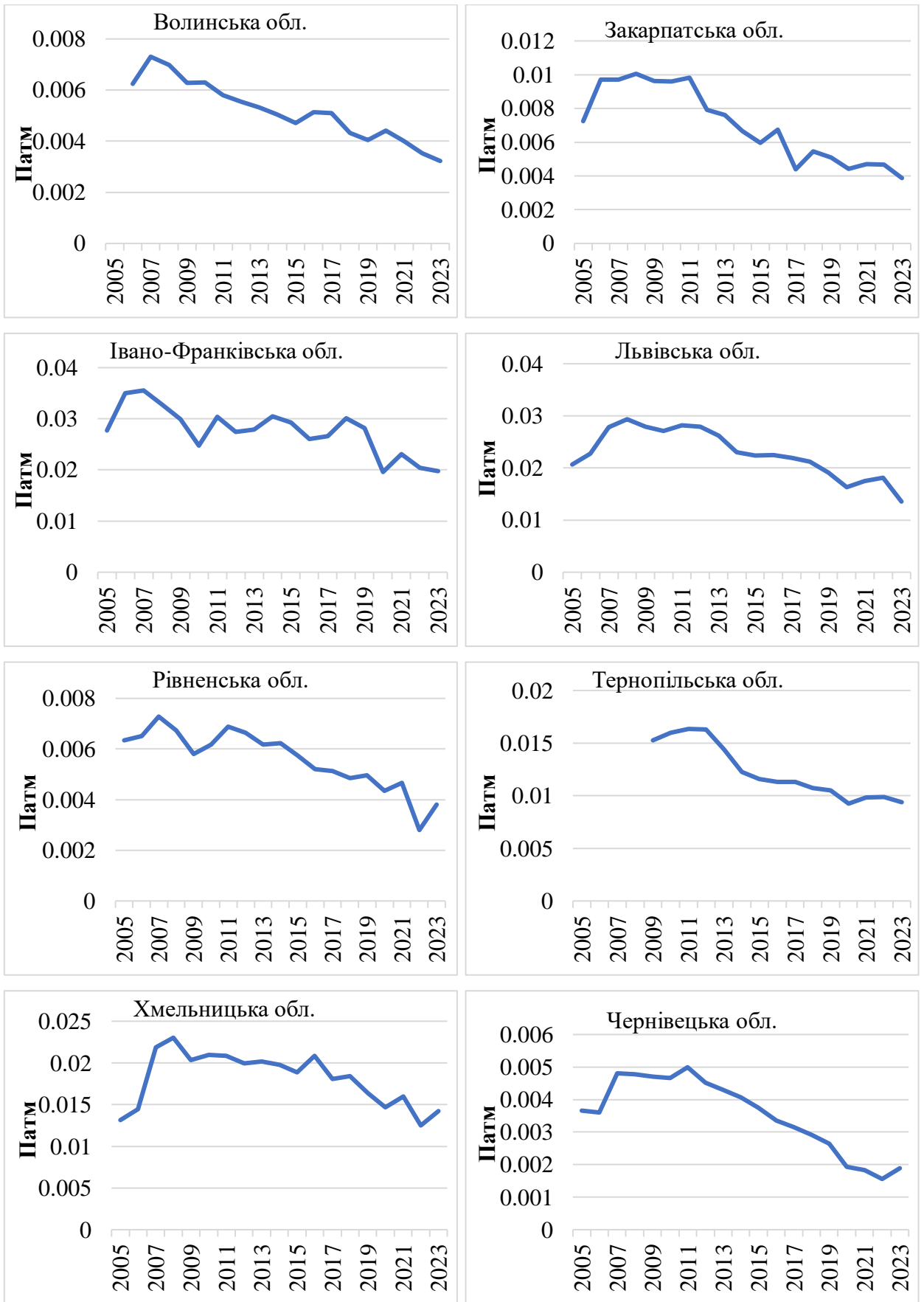


Рисунок 2.4 – Значення показника P_{atm} для регіонів Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

Волинська, Закарпатська, Рівненська та Чернівецька області. До II групи з показниками середнього навантаження Тернопільська і Хмельницька області. До III групи з максимальними показниками впливу було віднесено Івано-Франківську і Львівську області» [108]. Фактично аналіз за більш значний період підтвердив раніше отримані результати (рис. 2.5). Виключення складає Закарпатська область, яка у 2006 – 2011 рр. характеризувалась більш високими показниками навантаження порівняно з подальшими роками.

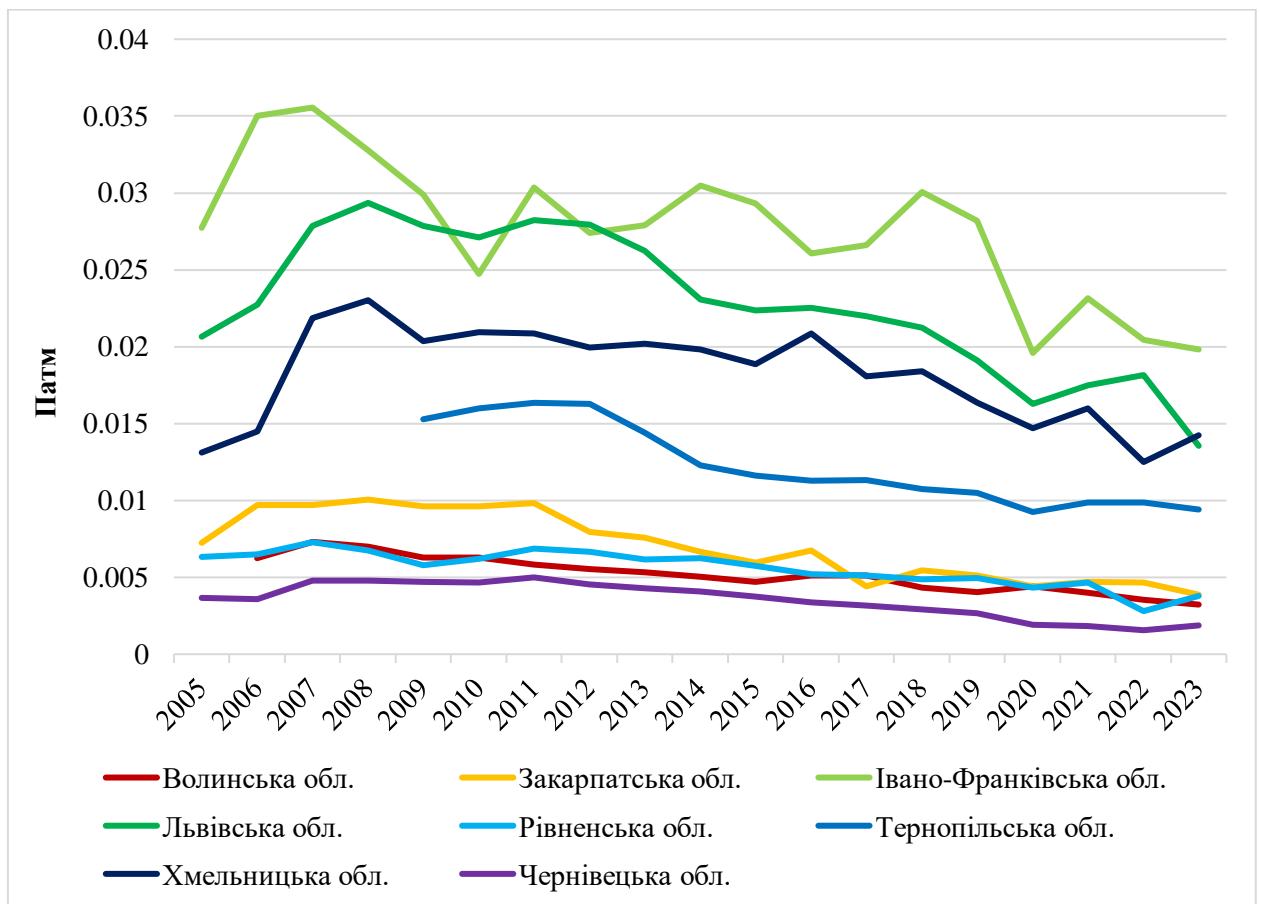


Рисунок 2.5 – Узагальнення результатів розрахунку показника $P_{атм}$ для західних областей України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

Ще одним показником, який дозволяє визначити техногенний вплив на повітряний басейн, є модуль техногенного навантаження на повітряний басейн $M_{ПБ}$. Як зазначено вище, він може визначатися за показниками викидів від стаціонарних і пересувних джерел окремо або як загальний показник навантаження.

Попередньо було проаналізовано основні стаціонарні джерела впливу по регіонах Західної України. Окремі дані були наведені у роботі [109]. В останні роки основними стаціонарними джерелами забруднення по окремих областях такі:

- у Волинській області – Локачинський ЦВНТК ГПУ «Львівгазвидобування» ПАТ «Укргазвидобування», ДП «Волиньторф», ТзОВ «Птахокомплекс Губин», ТзОВ «Луцька аграрна компанія», ТзОВ «Кроноспан УА» [2];
- у Закарпатській області – АТ «Закарпатгаз», компресорні станції Росош Ужгород, Хуст, Воловець Закарпатського ЛВГ, газо-вимірювальна станція Берегове Закарпатського ЛВГ [7, 109];
- у Івано-Франківській області – Бурштинська ТЕС і Калуська ТЕЦ Нова [109];
- у Львівській області – ВП «Добротвірська ТЕС» (ПАТ «ДТЕК Західенерго»), ДП «Львіввугілля», ТОВ «Радехівський цукор», ДП «Юсенко Україна», Стрийське виробниче управління підземного 1,216 зберігання газу - ДКС-Б «Волиця» [4, 109];
- у Рівненській області – ПрАТ «Рівнеазот», «Волинь-цемент» філія ПрАТ «Дікергофф цемент Україна», ПрАТ «Вералія Україна», ПрАТ «Кроноспан Рівне», ТзОВ «ОДЕК Україна», ПрАТ «Костопільський завод скловиробів», ТзОВ «Свиспан Лімітед», ТзОВ «Укрмолпродукт», Рівненське ЛВУМГ, ТзОВ «Любомирське вапняно-силікатне підприємство», ТзОВ «Вирівський кар'єр», ПрАТ «Рокитнівський скляний завод» [3];
- у Тернопільській області – ТОВ «Радехівський цукор», ПАП «Агропродсервіс», ТОВ «Бучачагрохлібпром», ДП «Кременецьке управління з постачання та реалізації газу», Бердичевське ЛВУМГ КС Тернопіль смт. В. Березовиця [5];

- у Хмельницькій області – ПАП «Подільський цемент», ТОВ «Понінківська картонно паперова фабрика Україна», ТОВ «Наркевицький цукровий завод», ТОВ «Старокостянтинівцукор» [6];
- у Чернівецькій області – переважний забруднювач Чернівецький олійно-жировий комбінат, СТЗОВ «Котелеве», ПАТ «Чернівецький цегельний завод» № 3, МКП «Чернівцітеплокомуненерго» та ін. [9, 109].

На рис. 2.6 наведено динаміку зміни показника $M_{ПБ}$ за сумарними показниками викидів від стаціонарних і пересувних джерел. Як видно з представленого рисунку, максимальні значення модуля відзначаються для Івано-Франківської і Львівської областей. У інших регіонах показник приймає значення на порядок нижче. Динаміка зміни $M_{ПБ}$ у всіх областях фактично відповідає динаміці зміни показника $P_{атм}$.

Було проведено порівняння показників викидів ЗР по регіонах Західної України з отриманими значеннями $M_{ПБ}$ (рис. 2.7). Отримано, що при незначній різниці у показниках викидів, рівень навантаження на повітряний басейн Львівської області фактично на порядок нижче порівняно з Івано-Франківською. Слід також відзначити, що Чернівецька область при мінімальних показниках викидів характеризується значенням $M_{ПБ}$, порівняними з показниками для Хмельницької і Тернопільської областей. При цьому показники викидів в даних областях перевищують відповідні для Чернівецької області в 1,5 – 2 рази. Така ж ситуація відзначається при порівнянні Закарпатської і Хмельницької областей – більш низькі показники викидів відповідають більш високому рівню техногенного навантаження на повітряний басейн.

Також було проведено порівняння двох показників навантаження – $P_{атм}$ і $M_{ПБ}$, враховуючи, що в основу розрахунку обох параметрів закладено сумарні показники викидів ЗР. Результати порівняльного аналізу наведено на рис. 2.8. Як видно, результати оцінки за показником $P_{атм}$ переважно відповідають отриманим результатам за показником $M_{ПБ}$ за виключенням даних по Тернопільській і Хмельницькій областях. Така відмінність обумовлена

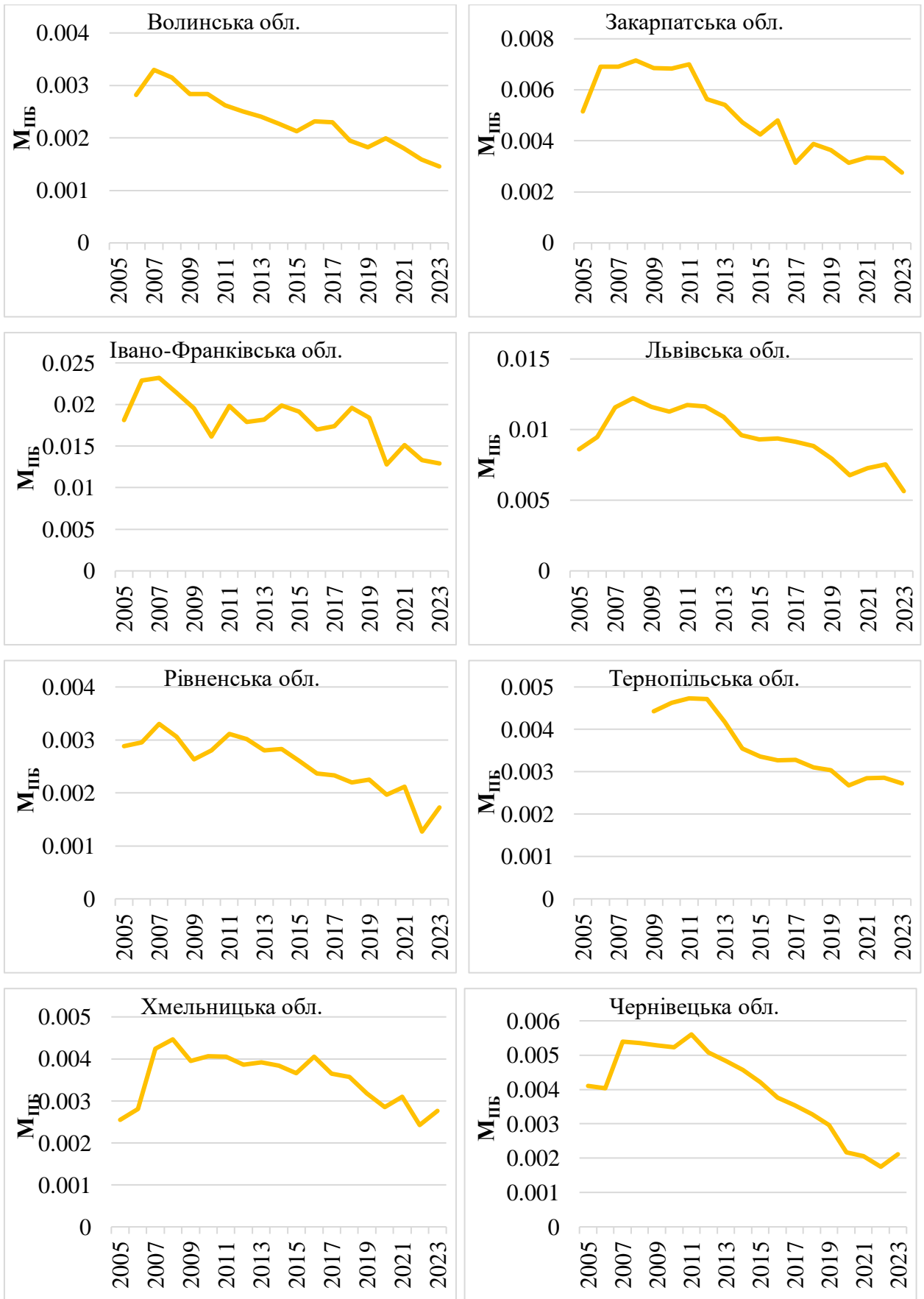


Рисунок 2.6 – Значення показника $M_{ПБ}$ для регіонів Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

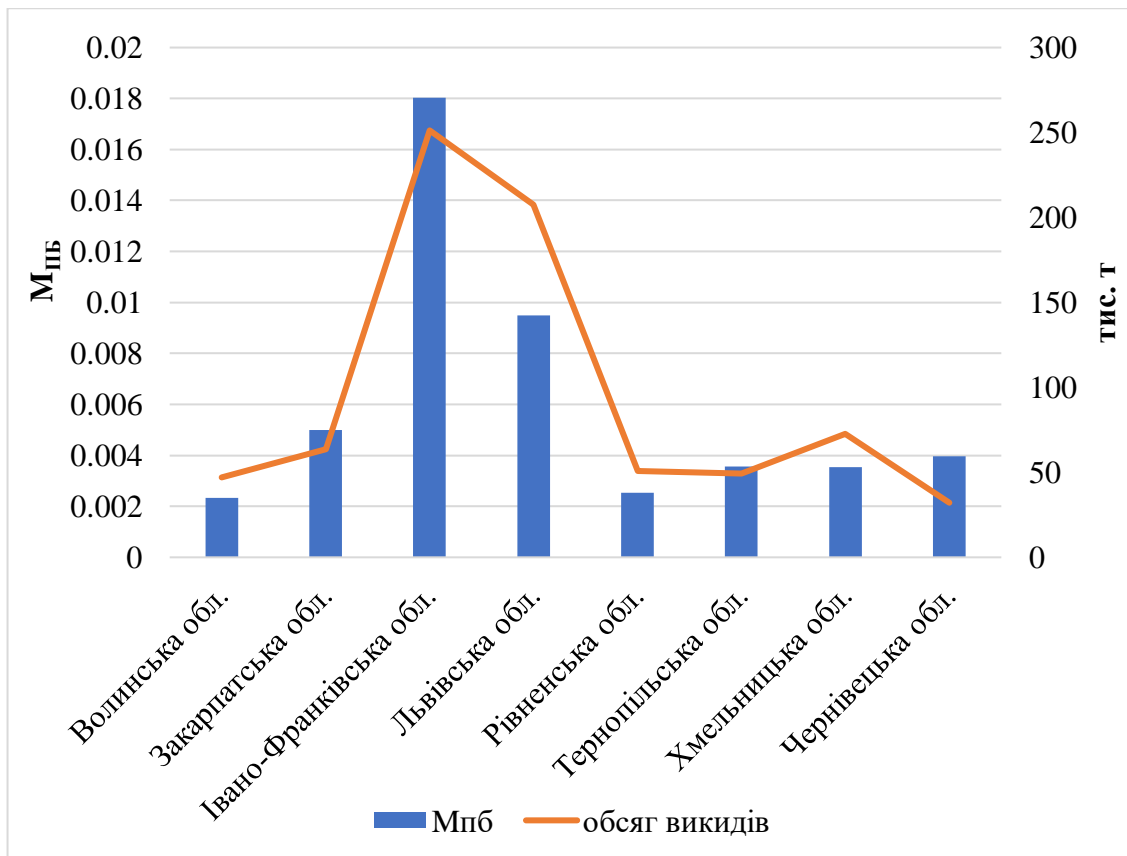


Рисунок 2.7 – Середні показники викидів ЗР та значення $M_{пб}$ для регіонів Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

врахуванням соціально-економічних і природних особливостей через врахування коефіцієнту I . Але в цілому обидва показники дають схожі результати, що свідчить про можливість використання однієї з методик, виходячи з наявної вихідної інформації.

Окремі результати дослідження щодо оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України наведено у публікаціях [110 – 112].

Крім показників, які враховуються загальні показники викидів ЗР, можна використовувати дані щодо викидів по окремих ЗР. Така деталізація в межах значної території можливо не є необхідною. Але існують окремі показники, які дозволяють визначити вплив з урахуванням викидів окремих поллютантів. Таким показником можна вважати показник небезпечності структури викидів (HCB). Показник було запропоновано у роботі [113], де наведено результати

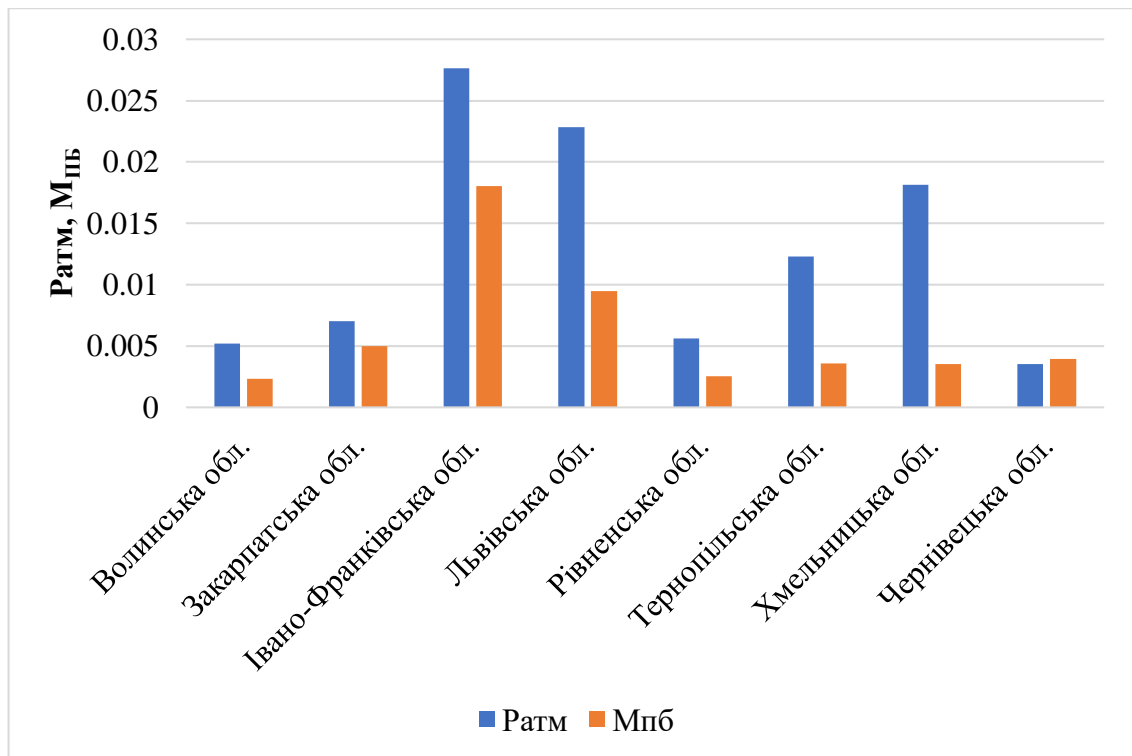


Рисунок 2.8 – Показники техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

дослідження щодо визначення впливу стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря Київської агломерації. Авторами «проведено аналіз викидів визначених підприємств за видами шкідливих домішок, обчислено коефіцієнти небезпечності підприємств (*КНП*)». Як додатковий показник оцінки впливу стаціонарних джерел поряд з *КНП* запропоновано визначати *НСВ*, «який дозволяє оцінити потенційну загрозу складу домішок незалежно від обсягів викидів» [113].

Нами зроблено спробу оцінити структуру викидів від стаціонарних джерел у регіонах Західної України. Згідно з методикою, показник *НСВ* розраховується за формулою:

$$НСВ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i}{ГДК_{c.d.}} \right)^{a_i}, \quad (2.10)$$

де q_i – обсяг викиду i -ої речовини, т, який чисельно дорівнює значенню її частки у структурі викидів (сума значень q_i у структурі викидів становить:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = 1);$$

n – кількість ЗР, які викидаються підприємством [113].

Для оцінки було використано інформацію про показники викидів по чотирьох основних ЗР – пил, діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю. Оцінювались сумарні обсяги викидів від усіх стаціонарних джерел окремих областей. Вихідна інформація була обмежена в окремі роки (відсутність даних на початку загального періоду дослідження, а також в окремих областях в період військових дій в Україні). Результати оцінки наведено на рис. 2.9.

Аналіз представленого рисунку показує, що у Волинській області найбільшу небезпеку у переважній більшості років складали викиди діоксиду азоту. Також високі значення відзначались за викидами діоксиду сірки у 2011 – 2017 рр. і пилу у 2010, 2018 – 2020 рр. У Закарпатській області основну небезпеку становлять викиди діоксиду азоту. Виключення складає 2012 р., коли викиди пилу складали майже 75 % від загального обсягу. Дані по Івано-Франківській і Львівській областям були досить обмежені у часі. Відзначається переважання викидів діоксиду сірки. У Львівській області 2021 р. характеризується переважанням викидів діоксиду азоту, проте при загальній тенденції наявні дані можуть бути частково помилковими. Рівненська, Тернопільська і Хмельницька області характеризуються переважанням викидів діоксиду азоту. У Хмельницькій області, починаючи з 2015 р., збільшилася частка викидів діоксиду сірки. У Чернівецькій області у різні роки ситуація різнилась. До речовин, частка яких складала максимальні показники, відносяться діоксид сірки і діоксид азоту.

В цілому серед основних ЗР найбільші показники викидів відзначались по таких речовинах як діоксид азоту і діоксид сірки.

Рівень техногенного навантаження на повітряний басейн формує рівень впливу на здоров'я населення. Тому з урахуванням даних про забруднення атмосферного повітря в окремих містах було визначено ризик для здоров'я людини.

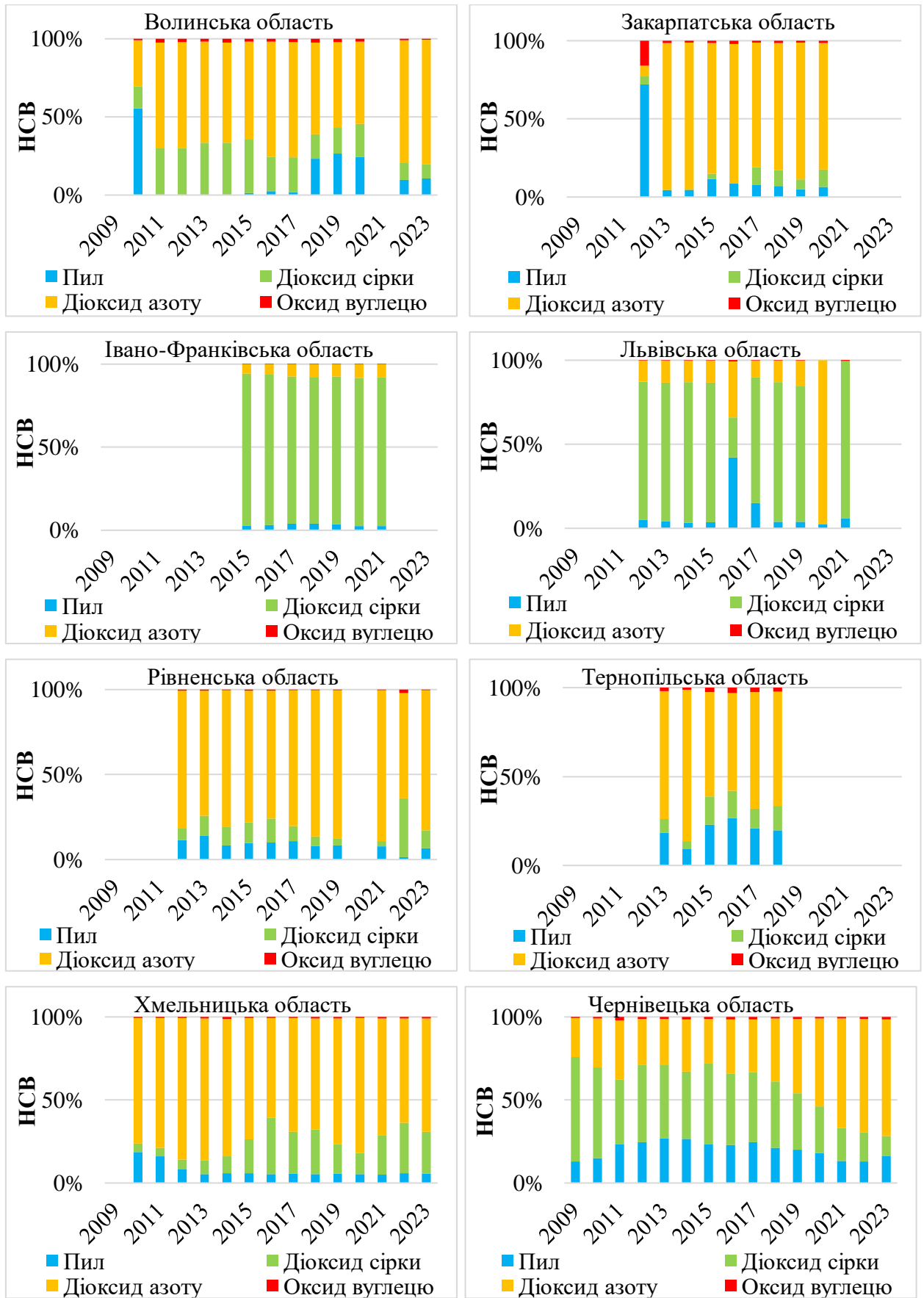


Рисунок 2.9 – Значення показника *НСВ* для регіонів Західної України у 2005 – 2023 рр. (за автором)

Відомо, що оцінка ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин проводиться на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки:

$$HQ = LADI / Rf, \quad (2.11)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки, безрозмірна величина;

Rf – референтна (безпечна) доза, мг/кг [114].

Авторами роботи [115] запропоновано в тих випадках, коли відсутня інформація щодо референтної (безпечної) дози Rf застосовувати таку формулу:

$$HQ = Ci / C_{ГДК}, \quad (2.12)$$

де Ci – середня концентрація i -ої забруднюючої речовини, мг/м³.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів для оцінки комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (2.13)$$

де HQ_i – коефіцієнти небезпеки для окремих ЗР [115, 116].

Згідно з методикою, за значенням HQ виділяються три градації характеристики ризику (табл. 2.8).

Оцінка ризику для здоров'я населення через забруднення атмосфери виконана за період 2014 – 2023 р. На першому етапі було розраховано показник HQ для кожної ЗР. Було визначено перелік речовин, які могли створювати імовірність розвитку неканцерогенних ефектів для здоров'я людини ($HQ > 1$). Результати наведено у табл. 2.9. Як видно, найчастіше до таких речовин відносились діоксид азоту і формальдегід. Також в окремих областях (Волинська, Рівненська, Чернівецька) небезпеку для здоров'я людини представляли деякі специфічні ЗР.

Таблиця 2.8 – Класифікація рівнів неканцерогенного ризику для здоров'я населення

Характеристика ризику	Коефіцієнт небезпеки (HQ)
Ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий	< 1
Гранична величина, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна	1
Імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ	> 1

Джерело: [117]

Таблиця 2.9 – Перелік ЗР, які сприяли розвитку неканцерогенних ефектів внаслідок забруднення атмосферного повітря регіонів Західної України

Область	Забруднюючі речовини	
	2014 – 2018 рр.	2019 – 2024 рр.
Волинська область	діоксид азоту, фенол, формальдегід	діоксид азоту, фенол, формальдегід
Закарпатська область	діоксид азоту, оксид вуглецю, формальдегід	діоксид азоту, формальдегід
Івано-Франківська область	пил	діоксид азоту
Львівська область	пил, діоксид азоту, формальдегід	пил, діоксид азоту, формальдегід
Рівненська область	фтористий водень, формальдегід	фтористий водень, формальдегід
Тернопільська область	діоксид азоту	діоксид азоту
Хмельницька область	діоксид азоту, формальдегід	діоксид азоту, формальдегід
Чернівецька область	хлористий водень, формальдегід	формальдегід

Джерело: за автором.

Результати оцінки комбінованого впливу ЗР щодо можливості розвитку неканцерогенних ефектів для регіонів Західної України наведено на рис. 2.10. Як видно з рисунку, найбільші показники комбінованого впливу відзначаються для таких міст як Луцьк, Ужгород, Львів і Рівне. Слід відзначити, що кількість показників, які враховувались при розрахунках, дещо розрізнялась. Проте, наприклад, при врахуванні дев'яти ЗР у м. Хмельницький отриманий сумарний ефект значно нижче, ніж у м. Луцьк, де враховано 7 ЗР. Також в останні роки майже у всіх областях відзначається тенденція до незначеного зменшення вмісту ЗР, що сприяє зменшенню виникнення ризиків для здоров'я населення [112].

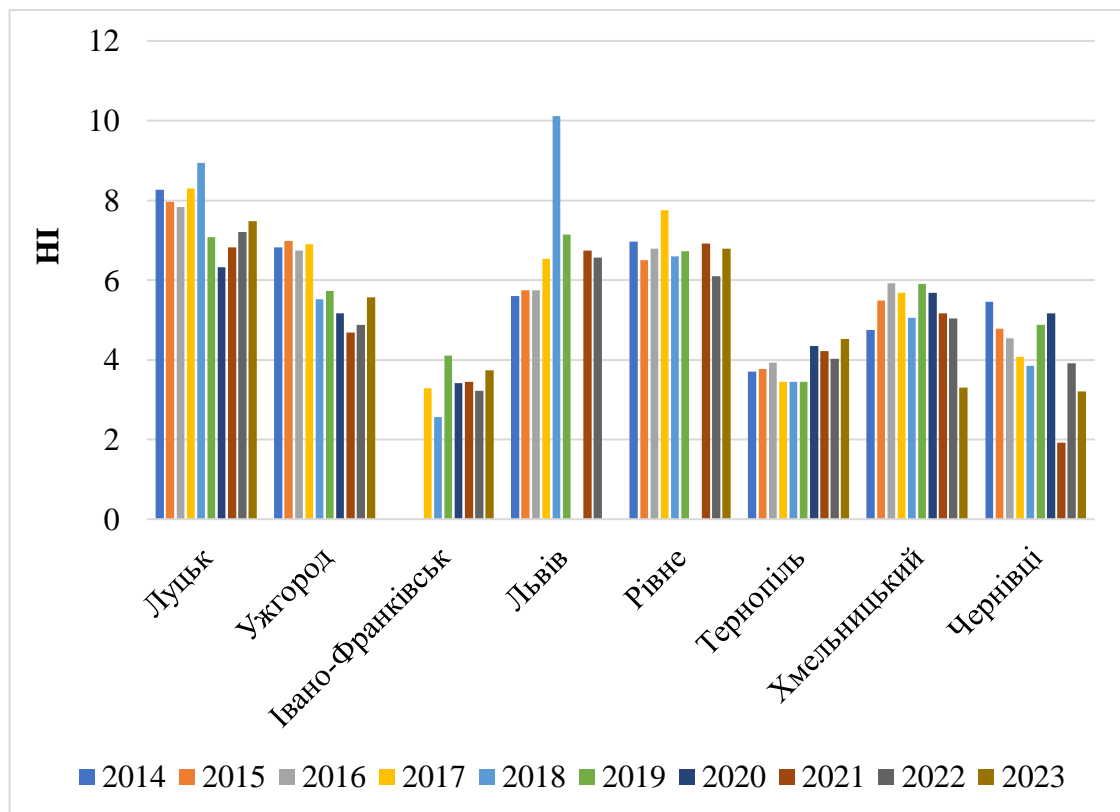


Рисунок 2.10 – Оцінка комбінованого впливу ЗР на розвиток неканцерогенних ефектів для регіонів Західної України у 2014 – 2023 рр.

Висновки до розділу 2:

Наведено огляд методичних підходів до оцінки стану і техногенного навантаження на повітряний басейн з урахуванням вітчизняного та

зарубіжного досвіду, виконано оцінку рівня техногенного навантаження на окремі регіони Західної України. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

- для оцінки стану і якості атмосферного повітря застосовуються різноманітні індекси забруднення, кожний з яких має певні переваги або недоліки;
- врахування закордонного досвіду є важним кроком до імплементації екологічного законодавства в європейський простір;
- фактично відсутній уніфікований підхід до оцінки стану складових довкілля під впливом техногенного навантаження, в тому числі повітряного басейну;
- порівняння результатів розрахунків I_{3A} , I_5 та AQI показала, що за значенням I_{3A} якість атмосферного повітря може характеризуватися лише двома категоріями: атмосфера «чиста» або «забруднена»; умовам «чистої» атмосфери за значенням I_{3A} відповідають градації за AQI від «дуже доброго» стану до «нормального», умовам «забрудненої» атмосфери – градації «поганий» і «дуже поганий» стан»;
- у переважній більшості міст Західної України стану «атмосфера чиста» за I_{3A} відповідав стан «дуже добра» або «добра» за AQI ;
- I_{3A} та AQI характеризується схожими принципами розрахунку, які враховують фактичну концентрацію ЗР і норматив якості, відмінністю AQI від I_{3A} є неврахування класу небезпеки речовини, AQI можна використовувати як альтернативний показник для оцінки стану повітряного басейну;
- максимальні показники викидів ЗР відзначались у двох областях – Івано-Франківська і Львівська, мінімальні – у Чернівецькій області, переважними джерелами викидів у більшості областей є пересувні;
- за значенням $P_{атм}$ максимальні показники за період дослідження відзначаються у Івано-Франківській і Львівській областях, мінімальні – у Волинській, Рівненській і Чернівецькій. Фактично у всіх областях

відзначається тенденція до зменшення навантаження. Найбільш суттєве зменшення характерно для Волинської, Закарпатської, Рівненської і Чернівецької областей;

- за значенням показника $M_{ПВ}$ максимальні значення модуля також відзначаються для Івано-Франківської і Львівської областей; при незначній різниці у показниках викидів рівень навантаження на повітряний басейн Львівської області фактично на порядок нижче порівняно з Івано-Франківською; Чернівецька область при мінімальних показниках викидів характеризується значенням $M_{ПВ}$, порівняними з показниками для Хмельницької і Тернопільської областей;
- за показником HCB по областях Західної України серед основних ЗР найбільша небезпека відзначались по таких речовинах як діоксид азоту і діоксид сірки;
- оцінка ризику для здоров'я населення через забруднення атмосфери показала, найчастіше ризик міг бути спричинений вмістом діоксиду азоту і формальдегіду, а також деякими специфічними ЗР; найбільші показники комбінованого впливу відзначаються для таких міст як Луцьк, Ужгород, Львів і Рівне.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ

Водні ресурси посідають одне з ключових місць у структурі природного середовища та відіграють фундаментальну роль у забезпеченні сталого розвитку регіонів. Вони є основою функціонування господарського комплексу, задоволення потреб населення у питній воді, підтримки сільського господарства, промисловості та енергетики. Західна Україна, що характеризується високою густотою річкової мережі, різноманіттям гідрологічних режимів і значним потенціалом підземних вод, відзначається особливою чутливістю водних систем до антропогенного впливу. Умови гірських та передгірних територій зумовлюють швидке поширення ЗР, а транскордонне розташування річкових басейнів створює додаткові виклики у сфері екологічної безпеки та управління якістю води.

Техногенне навантаження на водні об'єкти формується під впливом широкого спектра джерел. До основних з них належать промислові підприємства, які здійснюють скиди ЗР у поверхневі води, підприємства комунального господарства, аграрний сектор із надмірним використанням мінеральних добрив та пестицидів, а також транспортна інфраструктура. Наслідком цих процесів стає зростання концентрацій важких металів, органічних сполук, нафтопродуктів і біогенних елементів, що призводить до зниження здатності водойм до самоочищення та деградації водних екосистем. Забруднення води прямо впливає на здоров'я населення, підвищуючи ризики розвитку захворювань, та опосередковано позначається на соціально-економічному розвитку регіонів.

Дані спостережень у сфері контролю за станом водних ресурсів охоплюють обмежену кількість пунктів контролю, нерідко не враховують просторову неоднорідність впливу, а результати мають вибіркової і

фрагментарний характер. У багатьох випадках моніторинг спрямований переважно на фіксацію факту перевищення гранично допустимих концентрацій, тоді як комплексна оцінка інтегрального техногенного навантаження залишається недостатньо розробленою. Така ситуація вимагає використання сучасних методик, які дозволяють здійснювати кількісний аналіз впливу, враховувати особливості регіональних екосистем та забезпечувати можливість порівняння результатів у просторі й часі. «Серед перспективних напрямів оцінки техногенного навантаження на водні ресурси виокремлюють застосування інтегральних індексів забруднення, модулів антропогенного тиску, а також методів просторово-часового аналізу, включаючи інструменти геоінформаційних систем» [102].

3.1 Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти

Важливе значення має адаптація закордонного досвіду, зокрема практик ЄС, де діє жорстка система стандартів щодо охорони водних ресурсів та впроваджуються комплексні басейнові підходи до управління. У багатьох країнах ЄС та світу розроблені інтегровані методики моніторингу, що ґрунтуються на поєднанні хімічних, біологічних та просторових показників. Значна увага приділяється басейновому принципу управління водними ресурсами, який дозволяє враховувати як локальні, так і транскордонні впливи. Запозичення і поєднання таких методик з українськими реаліями здатне забезпечити більш об'єктивну оцінку стану водних об'єктів Західної України та сприяти розробці ефективних управлінських рішень.

На даний час відсутній єдиний підхід до оцінки техногенного впливу на водні об'єкти. Так, оцінка рівня забруднення може характеризувати не лише

якісний стан, а й фактично свідчити про рівень впливу на певний водний об'єкт.

Одним з найбільш поширених індексів для характеристики стану води у зарубіжній практиці є індекс якості води (*WQI*) [118]. Він ґрунтується на поєднанні фізичних, хімічних та біологічних показників у єдине числове значення в діапазоні від 0 до 100 і передбачає чотири основні етапи:

- вибір параметрів;
- перетворення вихідних даних до єдиної шкали;
- надання вагових коефіцієнтів;
- агрегування субіндексів [118].

Першу методику індексного оцінювання розробив Хортон Р. в 1965 р. [119]. Вона передбачала використання десяти показників: «очистка стічних вод, розчинений кисень, *pH*, коліформи, електропровідність, вуглецеві екстракти, лужність, хлориди, температура, видиме забруднення» [119]. Кожному параметру надавалися бали від 0 до 100 залежно від концентрації або рівня якості, а також вагові коефіцієнти, що визначали їхній вплив на загальний індекс. Ця методика стала базою для подальших досліджень та оновлень іншими авторами в різних країнах.

Протягом ХХ ст. багато організацій та вчених, що займались контролем водних ресурсів, почали активно застосовувати індекси якості води для оцінювання стану водних об'єктів, в тому числі річкових вод. У 1970 р. Браун Р. з колегами запропонували новий *WQI*, який охоплював дев'ять змінних: «розчинений кисень, коліформи, *pH*, температуру, біохімічне споживання кисню (*БСК*), загальні фосфати, концентрації нітратів, каламутність та вміст твердих речовин» [120]. Методику було удосконалено у 1982 р., коли Стайнхарт С. та співавтори створили екологічний індекс якості (*EQI*) для екосистем Великих озер Північної Америки. До складу індексу включили також дев'ять показників: «електропровідність, хлориди, загальний фосфор, фекальні коліформи, хлорофіл А, завислі речовини, видиме забруднення, а також токсичні неорганічні та органічні речовини» [121].

На основі цих досліджень розроблялись індекси і в інших країнах. Так, «у середині 1990-х рр. у провінції Британська Колумбія (Канада) розробили новий індекс якості води (*BCWQI*), що згодом був удосконалений і у 2001 р. прийнятий Канадською радою міністрів навколишнього середовища як офіційний індекс ССМЕ *WQI*. У 2003 р. був розроблений *WQI* для р. Кея (Тайвань). Спершу індекс охоплював 13 показників (зокрема ВМ *Cd, Pb, Cu, Zn*), але пізніше їх скоротили до дев'яти найбільш значущих. У Малайзії у 2007 р. створено власний індекс (*MWQI*), що включав шість показників (розчинений кисень, *БСК*, хімічне споживання кисню (*ХСК*), аміачний азот, завислі речовини та *pH*). Подальші розробки включають індекси в Аргентині, що використовували 8 – 10 показників (кольоровість, завислі речовини, розчинений кисень, *БСК*, *ХСК*, хлориди, коліформи, фосфати, нітрати, мийні засоби, ентерококи тощо). Найновішим є індекс, розроблений у 2017 р. для прибережної акваторії Яви (Індонезія). *West Java Water Quality Index (WJWQI)* базувався на 13 змінних, серед яких температура, завислі речовини, *ХСК*, розчинений кисень, нітрити, фосфати, детергенти, феноли, хлориди та ВМ. Після статистичного відбору залишено дев'ять параметрів, яким було присвоєно ваги за експертними оцінками. Індекс має п'ять класів якості: від «дуже низької» (5–25) до «відмінної» (90–100)» [118].

Для виконання загальної оцінка використовується така формула:

$$I = \prod_{s=1}^n q_i^{w_i}, \quad (3.1)$$

де n – число параметрів;

q_i – частковий індекс i -го параметра (визначається за «кривими якості»);

w_i – вага i -го параметра [102].

Характерною рисою індексу, як було зазначено вище, є використання вагових коефіцієнтів, які показують важливість кожного показника у формуванні інтегральної оцінки та визначені на основі узагальнення експертних думок. Для *WQI* ці коефіцієнти наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники, які враховуються при розрахунку *WQI*, та відповідні їм вагові коефіцієнти

Параметр	Ваговий коефіцієнт
Насиченість киснем, %	0,17
Фекальні колиформи, кл/100 мл	0,16
<i>pH</i>	0,11
<i>BCK₅</i> , мг/дм ³	0,11
Зміна температури відносно точки, яка знаходиться на 1 милію вище за течією, °C	0,10
Загальні фосфати	0,10
Азот нітратний, мг <i>NO₃⁻</i> , мг/дм ³	0,10
Мутність, JTU's	0,08
Сума іонів, мг/дм ³	0,07
<i>n</i> = 9	$\Sigma = 1$

Джерело: [102].

Розраховані значення індексів класифікуються за рівнями та категоріями якості (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Визначення стану води за допомогою *WQI*

<i>WQI</i>	Клас	Стан якості води
100 – 90	1	Відмінний
< 90 – 70	2	Добрий
< 70 – 50	3	Опосередкований
< 50 – 25	4	Поганий
< 25 – 0	5	Дуже поганий

Джерело: [102].

Як можна бачити вище, часто зарубіжні дослідники оновлюють і удосконалюють базову методику згідно локальних норм та викликів. Наприклад, у дослідженні, розробленому Міністерством довкілля та природних ресурсів Філіппін [122], проведено зіставлення системи DENR-

WQI із новим термодинамічним підходом *Gibbs-WQI* на основі даних поверхневих вод, зібраних у м. Ілоїло. В цілому, «створення індексу *Gibbs-WQI* було зумовлене потребою визначати випадки, коли прибережні води, віднесені за *DENR-WQI* до придатних, фактично містили надмірні концентрації фекальних колиформ. Особливістю *Gibbs-WQI* є застосування ентропійних розрахунків для оцінки відхилень від еталонних термодинамічних станів, що підвищує можливості своєчасного виявлення аномалій» [122].

У межах дослідження проаналізовано 287 проб води, у яких визначали вміст фекальних колиформ, фосфатів та розчиненого кисню з використанням методів комп'ютерної обробки даних у Python. Хоча *DENR-WQI* відповідає вимогам національних стандартів, результати показали, що *Gibbs-WQI* демонструє вищу чутливість та ефективність у моніторингу в реальному часі. Тому автори радять комбінувати обидва підходи для підвищення якості контролю й управління водними ресурсами. У перспективі дослідники підкреслюють необхідність розробки прогностичних моделей із використанням просторово-часового аналізу та машинного навчання.

Метою іншого дослідження факультету екологічних наук та інженерії Клузького університету ім. Бабеша-Бойяї (Румунія) було застосування комплексного підходу для оцінки впливу СВ із румунських очисних споруд (ОС) на якість поверхневих вод та їхню придатність для зрошення [123]. Стічні води з ОС становлять потенційну загрозу для поверхневих водойм. Крім того, все ширше використання очищених стоків для зрошення привертає увагу через питання їхньої придатності та можливі наслідки для стану ґрунтів, сільськогосподарської продуктивності й здоров'я населення. Для цього було проаналізовано низку фізико-хімічних показників і розроблено індекс якості води з використанням методу головних компонентів. Додатково придатність води для іригації оцінювалась за ключовими параметрами: електропровідність; загальна кількість розчинених речовин; каламутність; *BCK₅* та спеціалізованими індексами (коефіцієнт адсорбції натрію *SAR*; індекс

проникності; залишковий карбонат натрію; відсотковий вміст натрію; коефіцієнт Келлі).

У ході дослідження було виявлено, що «частина проб поверхневих вод не відповідала нормативам за каламутністю, концентрацією Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} і PO_4^{3-} , що перешкоджало віднесенню до найвищого класу якості. Такі відхилення переважно спостерігалися восени та здебільшого у пробах, відібраних нижче за точку скиду. Це вказує на потенційний вплив СВ. Натомість показники електропровідності, вмісту розчинених речовин, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} та HCO_3^- стабільно залишалися в межах допустимих значень. Відзначено й сезонні коливання, що зумовлені змінами водного стоку та антропогенними чинниками» [123].

Розрахунок *WQI* підтвердив загалом високий рівень якості води, однак середні значення нижче за місця скиду ($WQI = 47$) наближалися до межі другого класу. Застосування методу головних компонентів для визначення вагових коефіцієнтів дало змогу мінімізувати суб'єктивність та отримати більш надійні результати. Водночас іригаційні індекси свідчили про значне перевищення натрію, що становить ризик для родючості ґрунтів і розвитку культур [123].

У підсумку застосування *WQI* у поєднанні з додатковими статистичними та спеціалізованими індексами формує цілісну систему оцінювання, яка поєднує простоту інтерпретації з науковою обґрунтованістю (табл. 3.3). Такий підхід дозволяє не лише контролювати стан водних об'єктів, а й оцінювати можливості повторного використання очищених СВ у сільському господарстві. Подальші дослідження мають бути спрямовані на врахування просторово-часової динаміки забруднення та впровадження алгоритмів машинного навчання, що підвищить адаптивність моніторингових систем до викликів змін клімату та появи нових забруднювачів.

Прикладом комплексної оцінки стану вод і ґрунтів є модель оцінки ґрунтів і води (SWAT). Це «інструмент басейнового масштабу, створений для кількісного визначення впливу різних практик землекористування на великі та

Таблиця 3.3 – Переваги та недоліки використання *WQI*

Переваги	Недоліки
Узагальнює великий набір параметрів у єдиний інтегральний показник, що полегшує оцінку та порівняння	Зведення даних до одного індексу може спрощувати картину й приховувати окремі локальні проблеми
Забезпечує зрозумілу та доступну інтерпретацію для науковців, управлінців і населення	Значення індексу можуть варіювати залежно від набору показників і обраної методики розрахунку
Може інтегруватися з іншими індикаторами та статистичними методами, підвищуючи об'єктивність оцінки	Не завжди враховує просторово-часову динаміку забруднення
Є ефективним інструментом для прийняття управлінських рішень у сфері охорони водних ресурсів	Висока залежність від якості та повноти вихідних даних
Можливість адаптації для оцінки не лише якості води, а й придатності для повторного використання у сільському господарстві	Необхідність постійного оновлення методики відповідно до нових забруднювачів та змін клімату

Джерело: за автором.

складні водозбірні території» [124]. Це відкрита гідрологічна модель, яка включає такі складові: погодні умови, поверхневий стік, підземний стік, інфільтрацію, випаровування та транспірацію, втрати води під час передачі, акумуляцію у ставках і водосховищах, ріст сільськогосподарських культур та зрошення, рух підземних вод, руслові процеси, надходження поживних речовин і пестицидів, а також перенесення водних мас.

SWAT є безперервною моделлю, що працює зі щоденним кроком розрахунків на рівні басейну. Її головна мета – «прогнозування довгострокових наслідків управління земельними ресурсами та визначення впливу термінів агротехнічних операцій протягом року (наприклад, сівозміни, строки посіву й збору врожаю, поливи, норми й періодичність внесення добрив і пестицидів). Модель застосовується для моделювання циклів води й поживних речовин у сільськогосподарських ландшафтах і дозволяє оцінити екологічну

ефективність найкращих практик землекористування та альтернативних управлінських рішень» [125].

Як і у випадку з *WQI*, модель SWAT часто використовується як основа для розробки подальших більш глибоких методик. Наприклад, у дослідженні від Департаменту біосистем та сільськогосподарської інженерії Університету штату Оклахома та партнерів (США) представлено SWAT-IRR – новий алгоритм зрошення, розроблений для «покращення симуляції впливу різних систем та режимів зрошення на гідрологічні потоки у зрошуваних сільськогосподарських районах. SWAT-IRR дозволяє явно моделювати три типи зрошення: поверхневе, дощування та краплинне із урахуванням таких параметрів як ефективність внесення води, ефективність доставки, коефіцієнт поверхневого стоку та додатковий параметр корекції площі для краплинного зрошення» [126].

SWAT-IRR надає чотири варіанти симуляції для різних потреб користувачів:

- Опція 0 – стандартний алгоритм зрошення оригінальної моделі SWAT;
- Опція 1 – покращує контроль симуляції зрошення під час вегетаційного періоду;
- Опція 2 – розширює представлення процесів зрошення та їх впливу на гідрологічні потоки;
- Опція 3 – додатково використовує підхід USDA NRCS curve number для оцінки поверхневого стоку, замінюючи коефіцієнт поверхневого стоку в оригінальній моделі [126].

Застосування SWAT-IRR на експериментальному водозборі Fort Cobb Reservoir Experimental Watershed у центральній частині Оклахоми показало ефективність алгоритму у покращенні симуляцій зрошення. «Порівняння між оригінальною моделлю SWAT та SWAT-IRR, а також між різними варіантами SWAT-IRR, підтвердило підвищену точність контролю та відтворення процесів зрошення, а також здатність моделі враховувати різні джерела води й системи її внесення» [126].

Модель дозволяє працювати як у ручному, так і в автоматичному режимі, надаючи можливість вибору різних джерел води для зрошення. Ці функції дозволяють детально моделювати графіки зрошення та реакцію водного балансу, що є критично важливим для оцінки адаптивних стратегій управління сільськогосподарським водокористуванням. Використання SWAT-IRR сприяє оцінці впливу зрошення та систем землеробства на кількість і якість води, допомагаючи захищати водні ресурси та підвищувати кліматичну стійкість водозборів.

Так само в роботі Університету Тулузи (Франція) було проаналізовано 75 досліджень із використанням SWAT у басейнах з частковим або повним карстовим геологічним складом, що показало ефективність модифікованих моделей для гідрологічної оцінки. «Карстові водні ресурси є важливим джерелом прісної води, задовольняючи потреби майже 25 % населення світу. Карстові водоносні горизонти відзначаються складними характеристиками поповнення, особливостями накопичення та динамікою потоків. Водночас вони піддаються ризику виснаження та погіршення якості через природні фактори та антропогенний вплив» [127]. Це сприяло активному впровадженню гідрогеологами інноваційних чисельних підходів для кращого розуміння функціонування карстових басейнів та підтримки ефективного управління водними ресурсами карстових територій. Модифікації SWAT дозволяють включати специфічні особливості карсту та підземної гідрології, що забезпечує точніше відображення компонентів карстового водоносного горизонту. Проте існуючі методики потребують подальшого вдосконалення для точного відтворення гетерогенності та нелінійності потоків і накопичення води в карстових системах.

Зазначимо, що «серед обмежень модифікованих моделей, таких як Karst-SWAT та KSWAT, наявні відсутність явного врахування епікарсту, дифузного та концентрованого поповнення глибоких водоносних горизонтів. Модель SWAT_IGF покращила деякі обмеження двох резервуарів, враховуючи подвійне функціонування поповнення та накопичення води в карстових

системах. Проте вона все ще використовує лінійне співвідношення стоку і накопичення для матриці та каналів і не відображає функцію епікарсту. Моделі з трьома резервуарами (Wang et al., Geng et al.) включають функції епікарсту, матриці та каналів, формуючи більш повну підземну карстову систему, проте потоки між резервуарами все ще моделюються лінійно. Моделі SWAT-B&B, SWAT-karst, KarstSWAT та модифікована модель Zhou et al. дозволяють симулювати швидке інфільтрування через провальні воронки, але знову ж таки використовують лінійні моделі для підземних потоків і не враховують різні функції накопичення та поповнення основних компонентів карсту. Деякі спеціалізовані моделі, як SWAT-ML, SWAT-CF, Торо-SWAT та SWAT-WA+, орієнтовані на басейни з тріщинуватими потоками або змінними поверхневими площами, проте вони не моделюють повну підземну динаміку епікарст-матриця-канали. Нелінійна модель ISWAT не враховує дифузне та концентроване поповнення і не відображає накопичення та стік трьох основних карстових підсистем» [127].

Модифіковані моделі SWAT є потужним інструментом для управління водними ресурсами у зрошуваних регіонах, дозволяючи оцінювати вплив різних систем зрошення та графіків поливу на гідрологічні потоки, врожайність та доступність води. Моделі забезпечують детальне відображення поверхневих та підземних водних ресурсів, а також динаміки водного циклу, що робить її ефективним інструментом для планування адаптації до змін клімату та розробки стратегій сталого водокористування. У майбутньому доцільно інтегрувати просторово розподілені дані про випаровування з супутникових спостережень та багатоджерельні дані про опади для підвищення точності моделювання поповнення водоносних горизонтів (табл. 3.4).

Також окремі роботи зарубіжних дослідників присвячені оцінці навантаження на умови існування гідробіонтів. Так, у роботі [128] розроблено індекс загальної інтенсивності антропогенного впливу (ТАPI), який є комбінацією найбільш розповсюджених факторів впливу. До переліку цих

Таблиця 3.4 – Переваги та недоліки використання SWAT

Переваги	Недоліки
Можливість використання для водозборів різних масштабів; глобальна придатність	Потребує додаткових даних про підземні потоки
Можливість оцінки впливу змін клімату, агротехніки та землекористування; аналіз «що якщо»	Висока складність налаштування та обробки великих обсягів даних; обмежена точність для екстремальних подій без інтеграції субдобових даних
Підтримка планування адаптивного водокористування та оцінки ризиків	Для точного моделювання потрібні додаткові супутникові та наземні дані

Джерело: за автором.

факторів було включено показники евтрофікації, рівень закислення вод, гідроморфологічні показники, рівень господарського використання водного об'єкту, вміст ЗР, рівень рибогосподарського використання, наявність інтродуцентів. Казахськими науковцями [129] при визначенні ступеня впливу на річки республіки було використано в якості основного показника навантаження ступінь безповоротного водоспоживання. Даний показник характеризується коефіцієнтом використання водних ресурсів, що дорівнює відношенню відсотка загального споживання води до відновлюваних водних ресурсів. Зазначимо, що переважна більшість наукових досліджень в цьому напрямі засновано на використанні окремих гідрохімічних показників. Також як додаткові параметри можуть використовуватися і інші показники. Наприклад, у роботі [130] крім вмісту окремих показників якості вод аналізувалися джерела скиду комунально-побутових і промислових СВ, наявність фермерських господарств. Тобто перелік параметрів, які використовуються у зарубіжній практиці для оцінки рівня техногенного навантаження на водні об'єкти, досить різноманітний.

В українській практиці також застосовуються різні індекси для оцінки стану і якості водних об'єктів, в тому числі поверхневих вод. До них можна віднести індекс забруднення води, екологічний індекс, комбінаторний індекс

забруднення, комплексний індекс стану вод та ін. [102]. Всі вони дозволяють виконати комплексну оцінку якості і стану поверхневих вод.

Крім того розроблено ряд методик щодо оцінки саме техногенного навантаження на водні об'єкти. Досвід розробки таких методик формувався під впливом високої концентрації промислових об'єктів, аграрного сектору та значного водокористування в енергетиці й комунальному господарстві. Поступово було розроблено низку методик та нормативних документів, спрямованих на моніторинг, оцінку та прогнозування якості води й рівня антропогенного тиску на водні екосистеми. Суттєве значення мають як традиційні показники викидів і скидів ЗР, так і сучасні підходи, що враховують регіональні особливості, сезонні коливання та просторову диференціацію забруднення. Українська практика поєднує національні наукові напрацювання та адаптовані міжнародні методики, що дозволяє забезпечити більш комплексний підхід до управління водними ресурсами.

Одним з таких методів є оцінка ефективності водоспоживання і водовідведення в регіоні [102]. З цією метою розраховуються такі коефіцієнти:

- «коефіцієнт ефективності водопостачання:

$$K_1 = \frac{Q_{заб} - Q_{втр.тр.}}{Q_{заб}}, \quad (3.2)$$

- коефіцієнт ефективності водовідведення:

$$K_2 = 1 - \frac{Q_{б/оч.}}{Q_{ск} - Q_{н/чис}}, \quad (3.3)$$

- комплексний коефіцієнт оцінки ефективності водокористування:

$$K = K_1 * K_2, \quad (3.4)$$

де $Q_{заб}$. – забір води з природних водних джерел для використання, млн. м³;

$Q_{втр.тр.}$ – втрати води при транспортуванні, млн. м³;

$Q_{б/оч.}$ – скидання СВ без очищення, млн. м³;

$Q_{ск}$ – скидання СВ у водні об'єкти, млн. м³;

$Q_{н/чис.}$ – обсяг нормативно-чистих (які не потребують очищення) СВ, що скидаються у водні об'єкти, млн. м³» [102].

Застосування коефіцієнтів K_1 , K_2 та K дозволяє оцінити ефективність водокористування в регіонах України з урахуванням як обсягів споживання, так і відведення води. Аналіз літературних джерел показує, що показники водовідведення (K_2) загалом кращі, ніж водоспоживання (K_1), що свідчить про відносно ефективнішу систему відведення води. Комплексний коефіцієнт K є інтегральним показником і дозволяє виявити регіони з найбільш напруженими умовами водокористування. Використання цих коефіцієнтів є доцільним для моніторингу регіональних відмінностей та виявлення пріоритетних напрямів оптимізації водокористування, однак вони є доволі узагальненими значеннями через брак даних в деяких регіонах (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Переваги та недоліки використання коефіцієнтів водовідведення та водоспоживання

Переваги	Недоліки
K_1 : Дозволяє оцінити рівень ефективності використання водних ресурсів у постачанні	Не враховує якість води та екологічний стан
K_2 : Відображає ефективність відведення використаних вод; показує динаміку навантаження на водні об'єкти	Не завжди відображає реальний вплив на довкілля, якщо не враховано рівень очистки
K : Інтегральна характеристика, що поєднує K_1 і K_2 ; зручний для порівняння рівня навантаження по регіонам	Залежить від точності складових коефіцієнтів; може маскувати проблеми окремих показників

Також у роботі [131] запропоновано визначати інтегральний коефіцієнт екологічної шкоди. Авторами запропоновано його визначення від господарської діяльності підприємств. Але на нашу думку його можна

використовувати і для оцінки екологічної шкоди господарської діяльності в регіоні в цілому. Розрахункова формула для визначення шкоди водним об'єктам має вид:

$$K_{ESH} = \sqrt[n]{\frac{B_1}{ГДК_1} \cdot \frac{B_2}{ГДК_2} \cdot \dots \cdot \frac{B_n}{ГДК_n}}, \quad (3.5)$$

де B_1, B_2, \dots, B_n – фактичні обсяги скидів i -ої ЗР у водні об'єкти [131].

Також, як було зазначено у розділі 2, одним з поширених показників оцінки рівня техногенного навантаження на довкілля є МТН. Модуль техногенного навантаження на водні об'єкти M_{BO} визначається як відношення загального річного обсягу скиду СВ або ЗР у складі СВ до площі досліджуваної території [107].

3.2 Аналіз техногенного навантаження на водні об'єкти

Для оцінки рівня техногенного навантаження використані матеріали Регіональних доповідей, Екологічних паспортів регіонів щодо показників водоспоживання, водовідведення, скидів СВ і ЗР у поверхневі водні об'єкти за період з 2006 по 2023 рр.

На початковому етапі було проаналізовано динаміку водозабору та скидів СВ у поверхневі водні об'єкти в регіонах Західної України. Вихідна інформація у найбільш повному обсязі була представлена, починаючи з 2009 р.

На рис. 3.1 наведено динаміку зміни показників водозабору. Як видно, максимальні значення відзначаються для двох областей – Львівської і Рівненської, мінімальні – для Закарпатської, а також Волинської і Тернопільської в останні 5 – 7 років. В цілому майже у всіх областях

відзначається тенденція до зменшення показників водозабору за досліджуваний період.

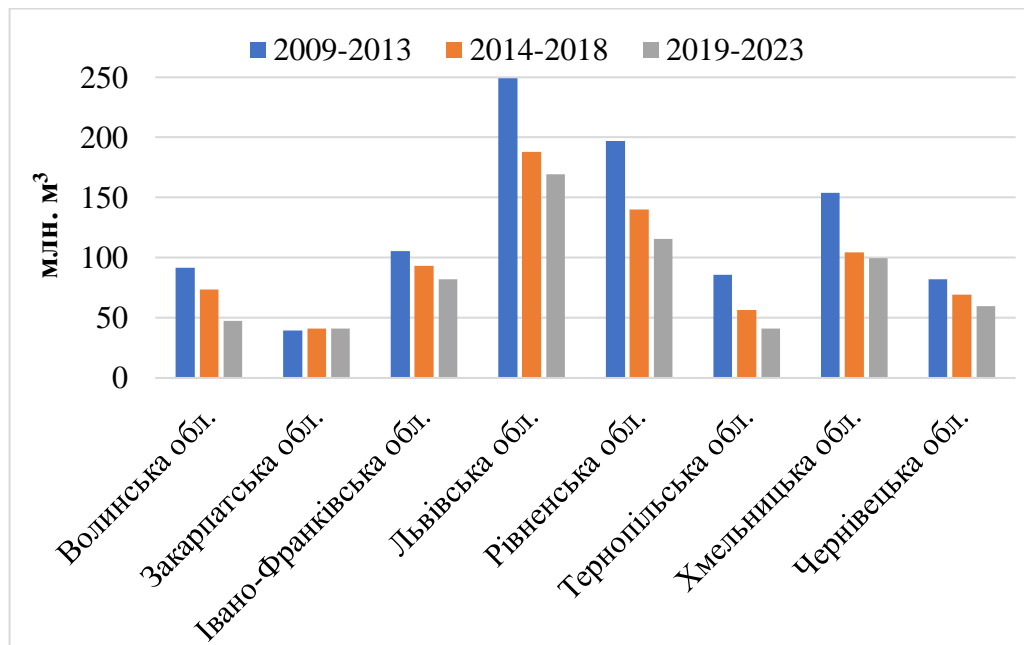


Рисунок 3.1 – Динаміка зміни показників водозабору в регіонах Західної України у 2009 – 2023 рр. (за автором)

За показниками скидів СВ (рис. 3.2) найбільші обсяги скидів відзначаються у Львівській області. Дещо нижчі значення обсягів відзначались у Рівненській і Івано-Франківській областях. Також слід відзначити, що у переважній більшості регіонів обсяги скидів СВ зменшувались за період дослідження [132].

На рис. 3.3 наведено результати оцінки техногенного навантаження на поверхневі водні об'єкти регіонів Західної України на основі розрахунку показників водопостачання та водовідведення. Отримано, що найкращі умови водопостачання (коефіцієнт K_1) відзначаються у Рівненській, Тернопільській і Хмельницькій областях, найгірші – у Львівській області. У переважній більшості областей відзначається погіршення умов водопостачання за період дослідження, особливо в Чернівецькій області. За показниками водовідведення (коефіцієнт K_2) найгірші умови характерні для Тернопільської

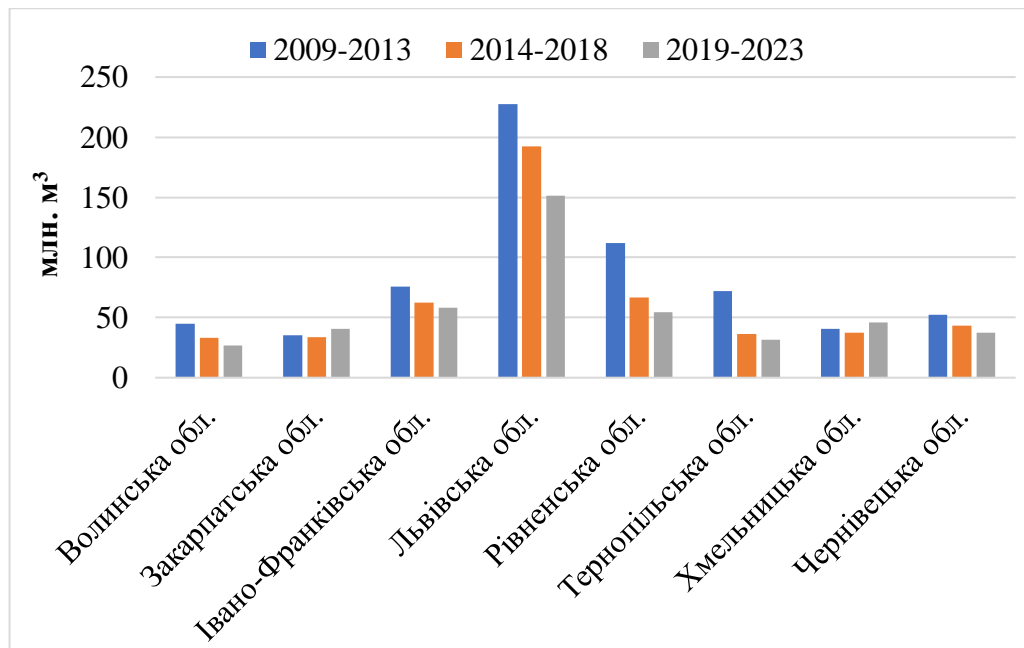


Рисунок 3.2 – Динаміка зміни обсягів скиду СВ в регіонах Західної України у 2009 – 2023 рр. (за автором)

і Чернівецької областей. Для інших регіонів показники суттєво не відрізняються. В цілому показники водовідведення значно краще, ніж показники водопостачання [132].

За значенням комплексного коефіцієнту K (рис. 3.4) оцінки ефективності водокористування територія Західної України фактично розподіляється на дві групи: кращі умови – Волинська, Івано-Франківська, Рівненська, Тернопільська і Хмельницька області, гірші – Львівська і Чернівецька. Аналогічні результати були отримані авторами у роботі [108].

На рис. 3.5 – 3.6 наведено результати оцінки техногенного навантаження на основі розрахунку показника M_{BO} . На жаль, для деяких областей інформація щодо скидів СВ і ЗР у їх складі була відсутня в окремі роки. Як видно, за показниками скидів СВ (рис. 3.5) найбільшого техногенного впливу зазнає Львівська область. Значні показники навантаження відзначаються і для Чернівецької області. Волинська і Хмельницька області характеризуються мінімальними показниками впливу [132].

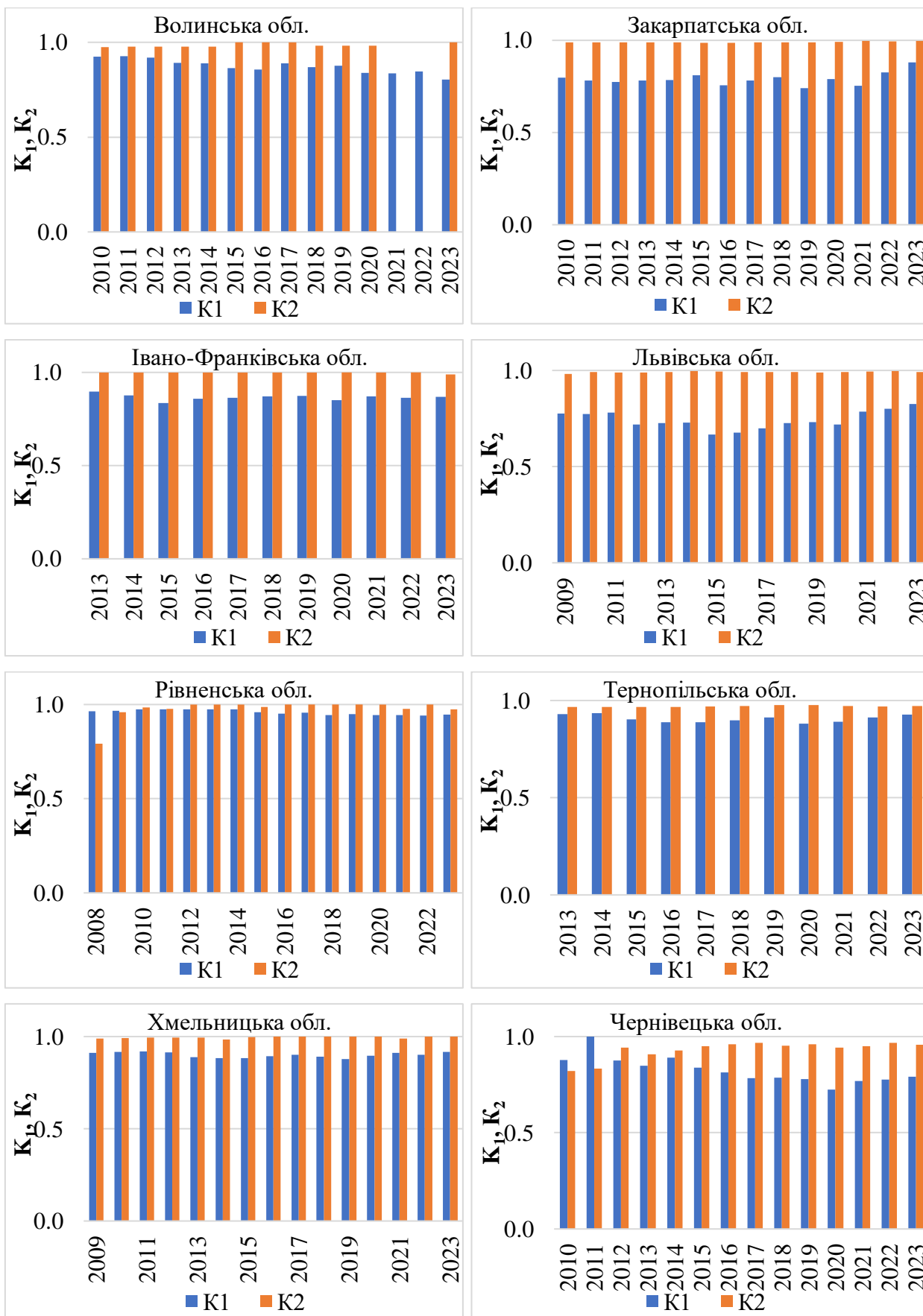


Рисунок 3.3 – Динаміка зміни показників водопостачання та водовідведення в регіонах Західної України у 2006 – 2023 рр. (за автором)

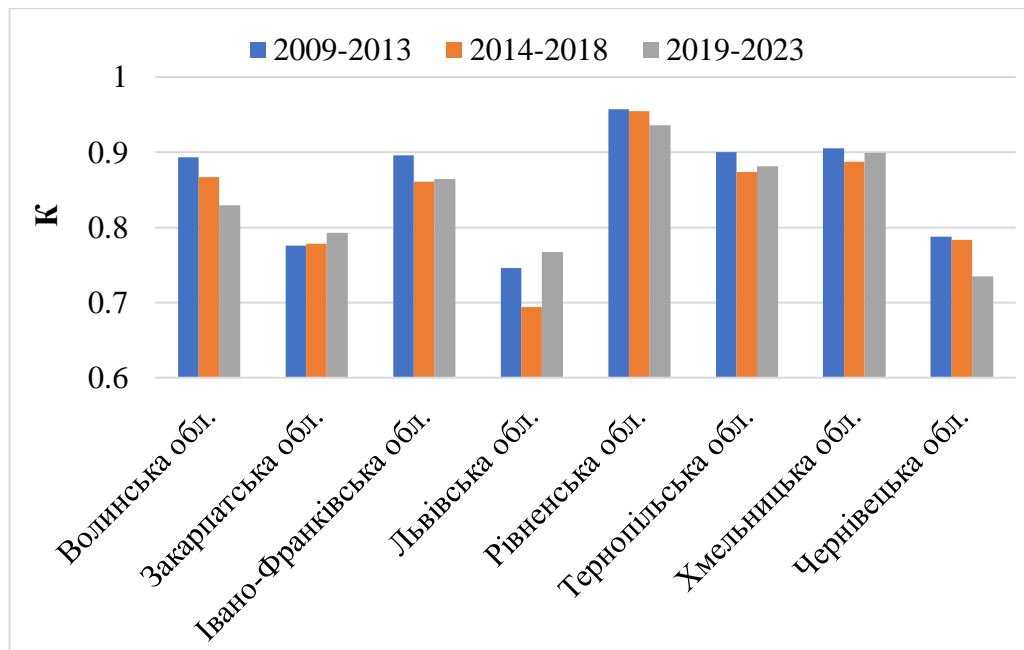


Рисунок 3.4 – Оцінка ефективності водокористування в регіонах Західної України у 2006 – 2023 рр. (за автором)

За обсягами скидів ЗР у складі СВ (рис. 3.6) також максимальні показники відзначаються для Львівської області, дещо нижче – для Івано-Франківської. Всі інші регіони Західної України характеризуються незначними показниками впливу. Відзначається загальна тенденція до зменшення скидів СВ і ЗР для переважної більшості областей [132].

Було виконано порівняння показників скидів з отриманими значеннями M_{BO} . На рис. 3.7 наведено значення осереднених показників скидів СВ і розрахункових значень M_{BO} за період 2009 – 2023 рр. З представленого рисунку видно, що максимальні значення скидів СВ і показника M_{BO} відзначаються для Львівської області. При цьому у деяких областях (Івано-Франківська, Тернопільська, Чернівецька) відзначаються більш високі рівні навантаження при менших показниках скидів СВ порівняно з окремими іншими областями [132].

Результати порівняльного аналізу обсягів скидів ЗР у складі СВ і значень M_{BO} наведений на рис. 3.8. В цілому тенденція зміни обсягів скидів відповідає тенденції зміни модуля. Виключення складають Закарпатська,



Рисунок 3.5 – Динаміка зміни показника M_{BO} за обсягами скидів СВ для регіонів Західної України у 2006 – 2023 рр. (за автором)

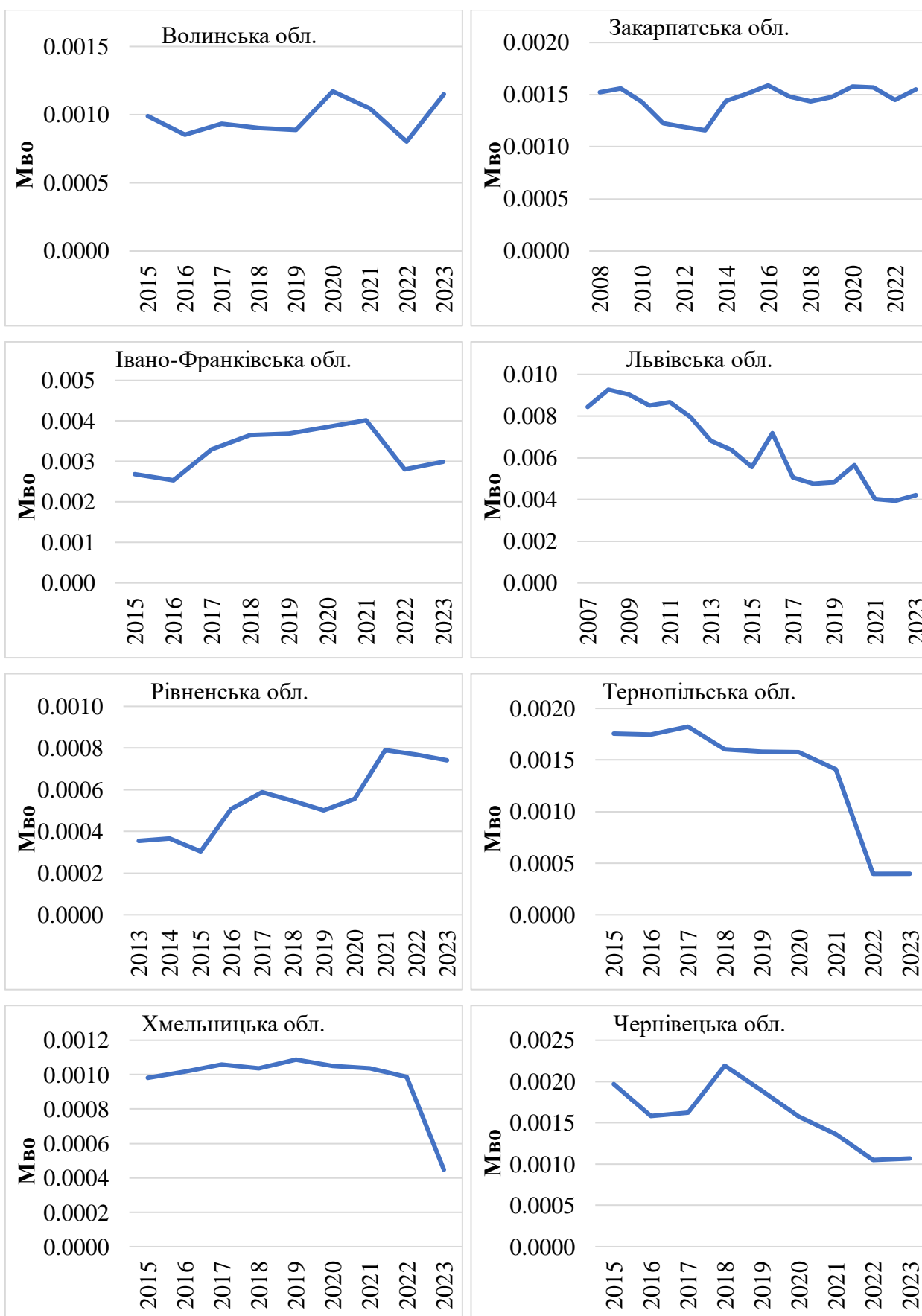


Рисунок 3.6 – Динаміка зміни показника M_{BO} за обсягами скидів ЗР у складі СВ для регіонів Західної України у 2006 – 2023 рр. (за автором)

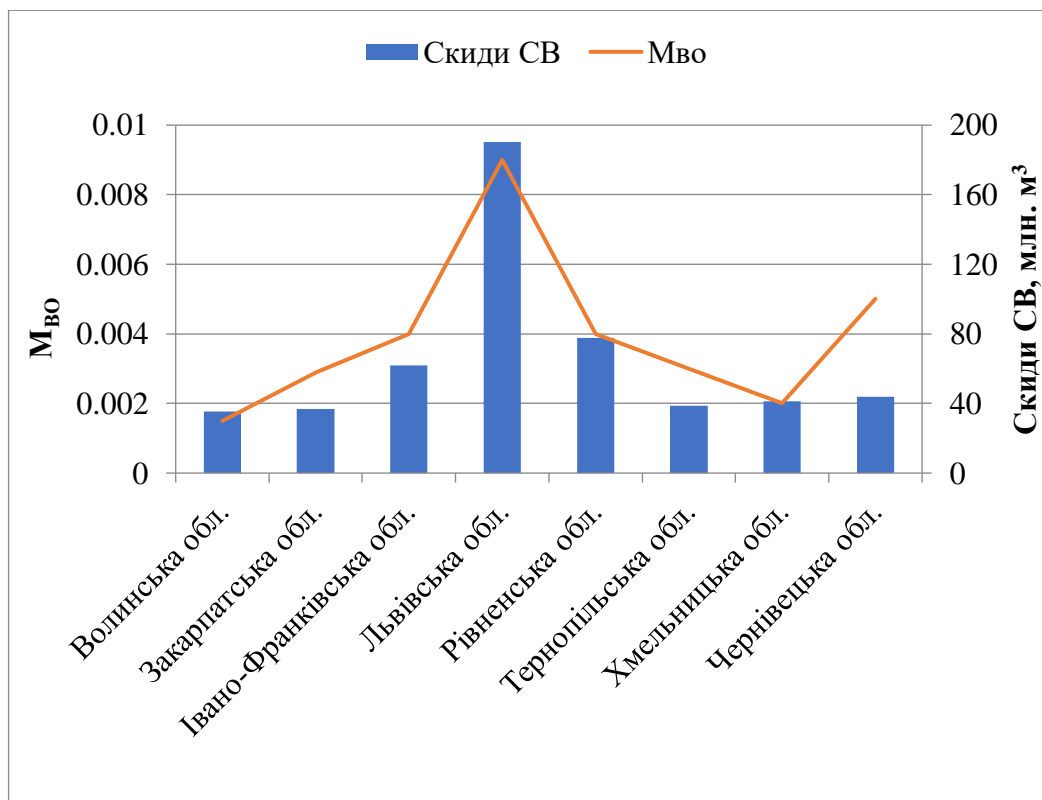


Рисунок 3.7 – Осереднені значення обсягів скидів СВ і розрахункових значень M_{BO} для регіонів Західної України у 2009 – 2023 рр. (за автором)

Хмельницька і Чернівецька області. Максимальні значення M_{BO} та обсягів скидів ЗР також відзначаються для м. Львів [132].

Також виконано порівняльний аналіз внеску окремих областей Західної України у формування рівня техногенного навантаження за обсягами скидів СВ і ЗР з урахуванням отриманих значень M_{BO} (рис. 3.9). Отримано, що максимальний внесок формує Львівська область. При чому за обсягами скидів ЗР він складає майже 40 %. Також значний внесок характерний для Чернівецької (не зважаючи на незначну площу), Івано-Франківської і Рівненської областей (в даному регіоні за обсягами скидів СВ) [132].

Відзначимо, що окремі результати оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти регіонів Західної України за показниками ефективності водокористування і модулем техногенного навантаження M_{BO} наведені у публікаціях автора [108, 132 – 135].

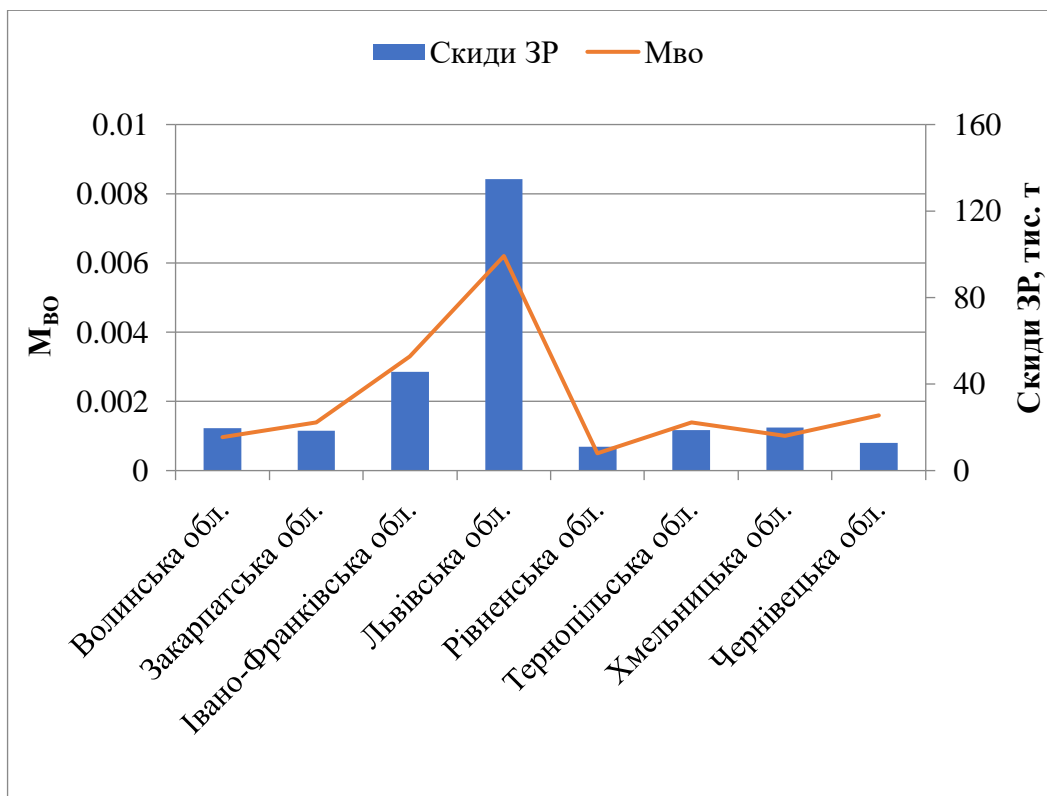


Рисунок 3.8 – Осереднені значення обсягів скидів ЗР і розрахункових значень M_{BO} для регіонів Західної України у 2009 – 2023 рр. (за автором)

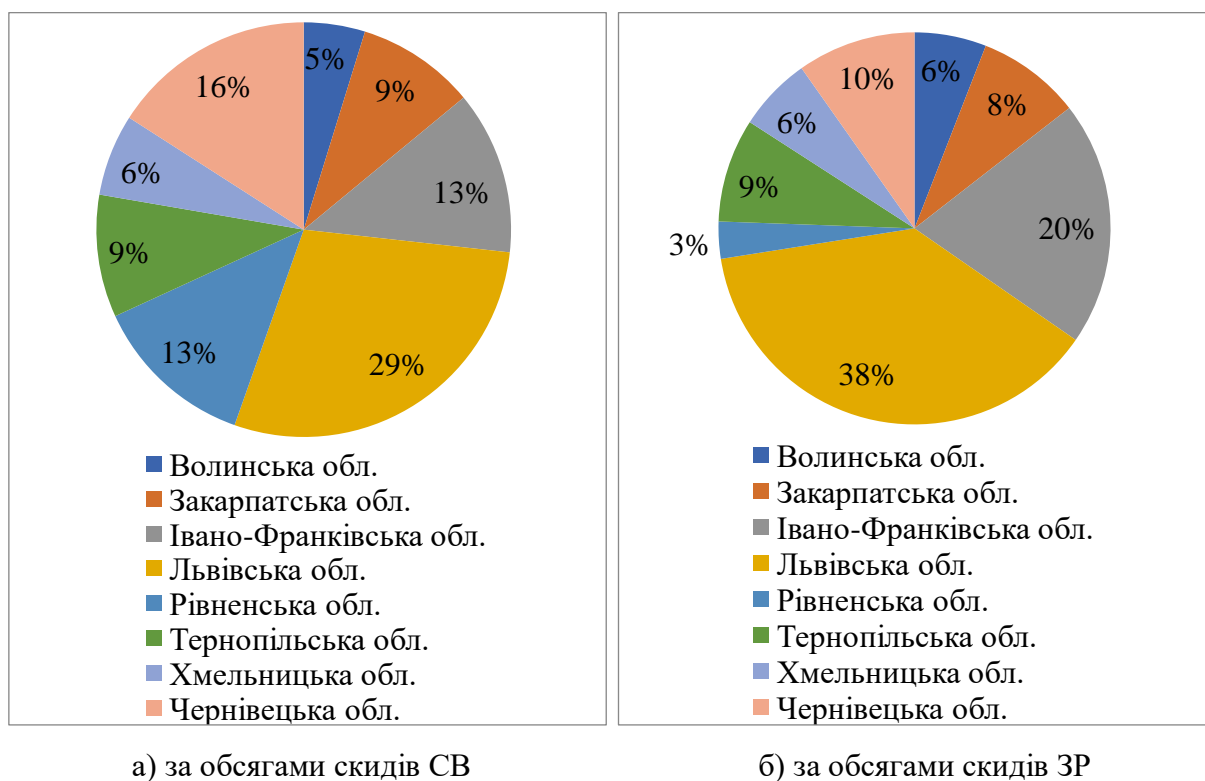


Рисунок 3.9 – Внесок окремих регіонів у формування рівня техногенного навантаження на поверхневі водні об'єкти Західної України (за автором)

На рис. 3.10 наведено результати розрахунку ще одного показника – $K_{ЕШ}$. Вихідна інформація у розрізі років дещо різнилась. Для переважної більшості областей вона була представлена 2015 – 2023 рр., а для деяких регіонів (Закарпатська і Львівська області) значно більшим періодом – з 2007 р. Також різнився і перелік показників, які аналізувались у складі скидів СВ. Але з урахуванням того, що розрахунок показника включає інформацію про кількість ЗР, результати розрахунку можна вважати порівняними.

Аналіз представленого рисунку показує, що динаміка зміни показника по різних областях суттєво різниться. Так, у Волинській області відзначалось різке зменшення у 2021 – 2022 рр. за рахунок зменшення скидів сполук азоту і фосфору, а також сухого залишку у складі СВ. Неоднорідним є розподіл показника у Закарпатській області. За період дослідження відзначається збільшення екологічної шкоди водним об'єктам. У Львівській області відзначалось збільшення $K_{ЕШ}$ у 2007 – 2011 рр. з подальшим зменшенням до 2014 р. Речовинами, обсяги яких суттєво зменшились у скидах, є хлориди і сульфати. Незначне поступове зменшення екологічної шкоди відзначається для водних об'єктів Рівненської і Чернівецької областей. У Тернопільській області відзначено різке зменшення показника у 2021 – 2022 рр. за рахунок зменшення вмісту у СВ азоту амонійного і сухого залишку. Максимальні показники екологічної шкоди відзначались у 2007 – 2013 рр. у Львівській області, мінімальні – у Івано-Франківській, Хмельницькій і Чернівецькій областях.

Отримані результати були осереднені і узагальнені за декілька періодів (рис. 3.11). В цілому найбільша екологічна шкода водним об'єктам відзначалась для території Львівської області у 2009 – 2013 рр. Волинська, Закарпатська, Рівненська і Тернопільська області характеризуються значно нижчими показниками шкоди, які фактично відповідають рівню Львівської області у 2014 – 2023 рр. Значення показника $K_{ЕШ}$ в інших областях нижче, ніж у вище зазначених регіонах.

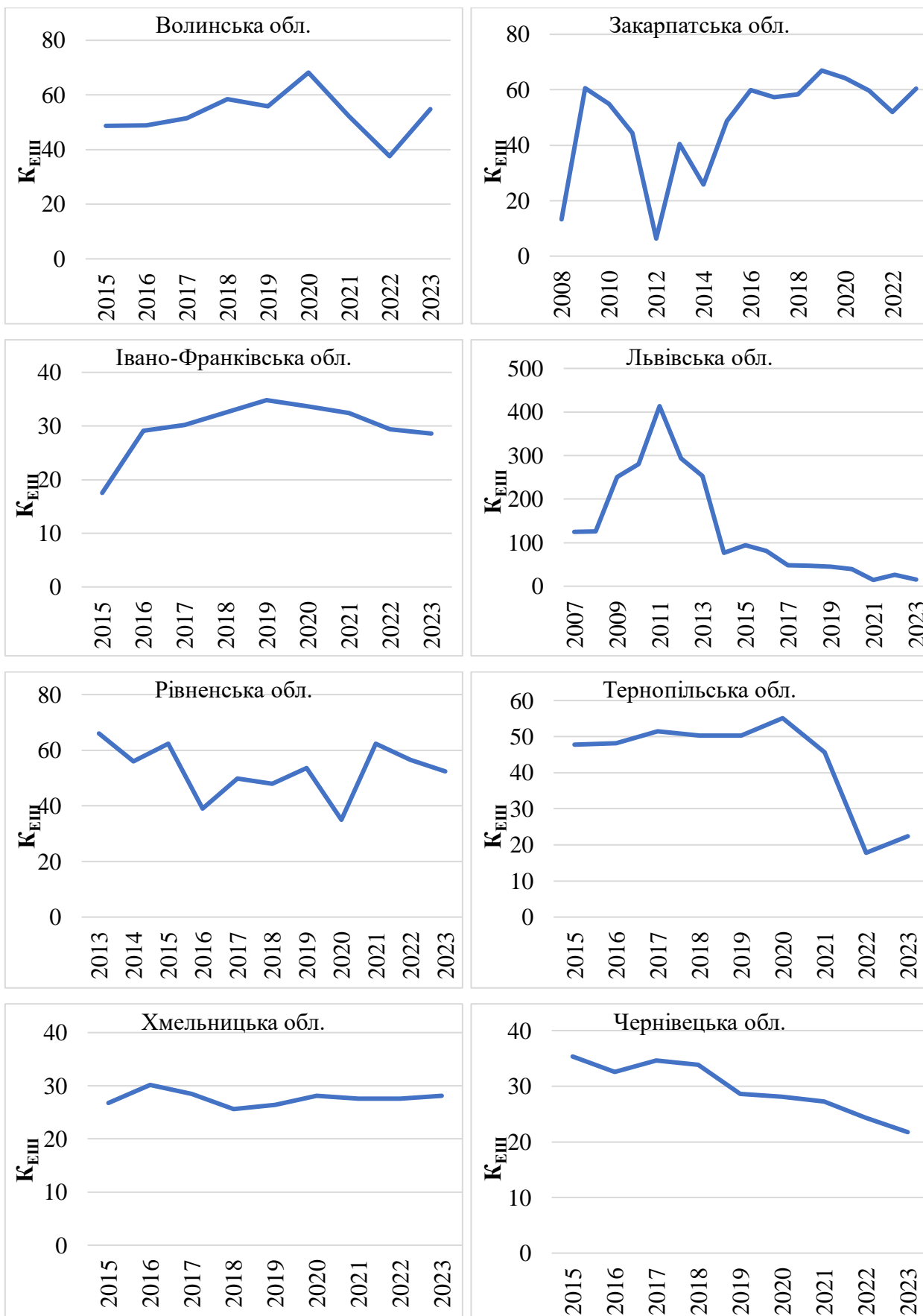


Рисунок 3.10 – Динаміка зміни показника $K_{EШ}$ для регіонів Західної України у 2007 – 2023 рр. (за автором)

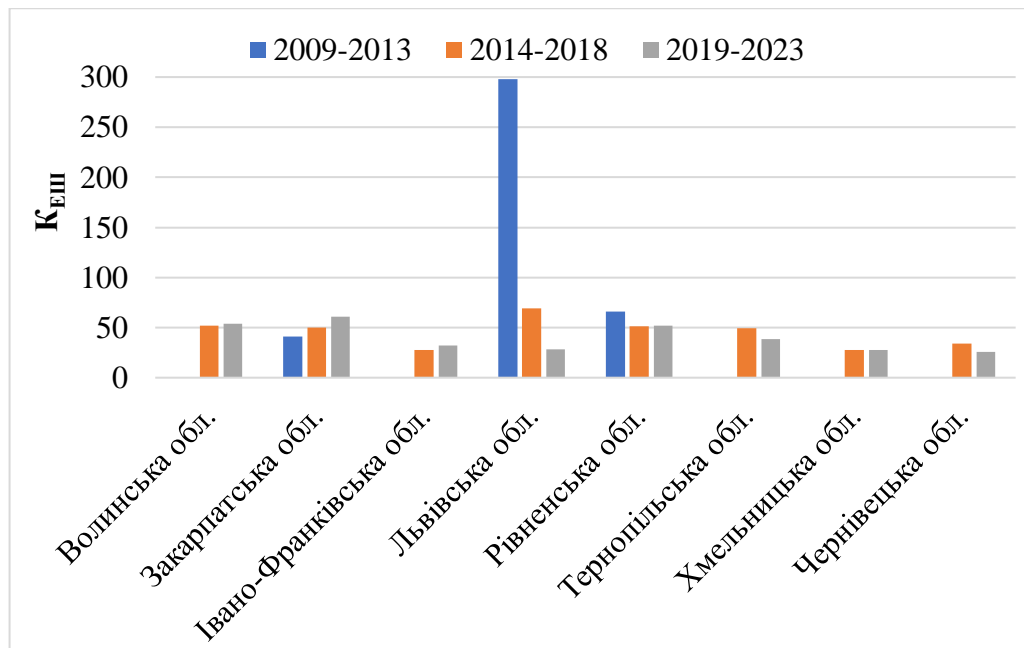


Рисунок 3.11 – Значення показника K_{ESH} для регіонів Західної України у 2009 – 2023 рр. (за автором)

Було також проведено порівняльний аналіз з даними щодо обсягів скидів стічних вод в регіонах Західної України (рис. 3.2). Так, як і за значенням K_{ESH} , найбільші показники скидів відзначаються у Львівській області. Також відзначається зменшення обсягів скидів, але абсолютні показники зменшення значно менше зменшення коефіцієнту екологічної шкоди. Така ситуація може свідчити про зменшення обсягу ЗР, які скидаються у складі СВ. Дещо нижчі значення обсягів скидів відзначались у Рівненській і Івано-Франківській областях. Проте у Закарпатській області при менших загальних показниках скиду СВ коефіцієнт екологічної шкоди є дещо вищим.

Окремі результати оцінки щодо визначення екологічної шкоди водним об'єктам регіонів Західної України наведено у роботі [136].

Висновки до розділу 3:

У розділі наведено огляд методичних підходів до оцінки стану і техногенного навантаження на водні об'єкти. Проаналізовано зарубіжний і вітчизняний досвід, виконано оцінку рівня техногенного навантаження на

водні об'єкти регіонів Західної України. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

- на даний час відсутній єдиний підхід до оцінки техногенного впливу на водні об'єкти; оцінка рівня забруднення може характеризувати не лише якісний стан, а й фактично свідчити про рівень впливу на певний водний об'єкт;
- переважна більшість наукових досліджень закордонних фахівців заснована на використанні окремих гідрохімічних показників, але як додаткові параметри можуть використовуватися і інші показники (джерела скиду СВ та ін.);
- в українській практиці також застосовуються різні індекси для оцінки стану і якості поверхневих водних об'єктів, які дозволяють виконати комплексну оцінку; при цьому розроблено ряд методик щодо оцінки техногенного навантаження;
- аналіз динаміки водозабору та скидів СВ у поверхневі водні об'єкти в регіонах Західної України показав, що максимальні значення відзначаються для двох областей – Львівської і Рівненської, мінімальні – для Закарпатської, а також Волинської і Тернопільської в останні 5 – 7 років; майже у всіх областях відзначається тенденція до зменшення показників водозабору за досліджуваний період;
- у переважній більшості регіонів обсяги скидів СВ також зменшувались за період дослідження;
- за значенням комплексного коефіцієнту K оцінки ефективності водокористування територія Західної України фактично розподіляється на дві групи: кращі умови – Волинська, Івано-Франківська, Рівненська, Тернопільська і Хмельницька області, гірші – Львівська і Чернівецька;
- на основі розрахунку показника M_{BO} за показниками скидів СВ найбільшого техногенного впливу зазнає Львівська область; значні показники навантаження відзначаються і для Чернівецької області;

Волинська і Хмельницька області характеризуються мінімальними показниками впливу;

- за обсягами скидів ЗР у складі СВ (за значенням M_{BO}) також максимальні показники відзначаються для Львівської області, дещо нижче – для Івано-Франківської;
- порівняння показників скидів з отриманими значеннями M_{BO} показало, що максимальні значення скидів СВ і показника M_{BO} відзначаються для Львівської області. При цьому у деяких областях (Івано-Франківська, Тернопільська, Чернівецька) відзначаються більш високі рівні навантаження при менших показниках скидів СВ порівняно з окремими іншими областями;
- за обсягами скидів СВ і ЗР з урахуванням отриманих значень M_{BO} максимальний внесок у формування рівня техногенного навантаження формує Львівська область (за обсягами скидів ЗР він складає майже 40 %); також значний внесок характерний для Чернівецької, Івано-Франківської і Рівненської областей;
- найбільша екологічна шкода водним об'єктам відзначалась для території Львівської області у 2009 – 2013 рр.;
- абсолютні показники зменшення скидів СВ значно менше зменшення коефіцієнту екологічної шкоди, що може свідчити про зменшення обсягу ЗР, які скидаються у складі СВ.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ГРУНТОВО-ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Ґрунтовий покрив є одним із ключових компонентів навколишнього середовища, який забезпечує функціонування екосистем, аграрне виробництво та підтримання природного балансу між біотичними і абіотичними складовими. В умовах активізації промислового виробництва, зростання обсягів споживання енергоресурсів, урбанізації територій і збільшення транспортного навантаження відбувається накопичення у ґрунтах широкого спектра ЗР – ВМ, нафтопродуктів, залишків пестицидів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інших стійких органічних сполук. Ці процеси особливо актуальні для західних регіонів України, де поєднуються промислові центри, сільськогосподарські угіддя та рекреаційні зони, що створює складну екологічну ситуацію з неоднорідним техногенним навантаженням на різні типи ґрунтів. В умовах воєнних дій, що супроводжуються руйнуванням промислових і транспортних об'єктів, горінням нафтопродуктів і використанням вибухових речовин, масштаби забруднення зростають, а характер впливу стає ще більш складним і різноманітним.

Вивчення рівня техногенного навантаження на ґрунти потребує застосування комплексного підходу, що включає використання сучасних методик кількісної оцінки, просторового моделювання та системного аналізу даних. Для цього розроблено низку методів, які дозволяють визначати інтегральні показники забруднення, модулі техногенного навантаження, індекси екологічного стану ґрунтів та їхню просторову диференціацію. Застосування цих методик у регіональному аспекті дає можливість не лише визначити ступінь антропогенного впливу, але й виділити зони потенційного ризику для довкілля та здоров'я населення.

З огляду на специфіку території Західної України, що поєднує гірські, передгірні та рівнинні ландшафти, особливої ваги набуває порівняльний аналіз

різних методичних підходів до оцінювання стану ґрунтів. Їх адаптація до локальних природно-кліматичних умов і типів землекористування дозволяє отримати більш репрезентативну та об'єктивну картину просторового розподілу техногенного навантаження. Це, в свою чергу, створює наукове підґрунтя для подальшої оптимізації системи моніторингу, розроблення природоохоронних заходів і регіональних програм екологічної безпеки. У межах цього розділу виконаний аналіз сучасних методик оцінювання техногенного навантаження на ґрунти, що застосовуються в Україні і за кордоном, а також виконана оцінка рівня навантаження на ґрунтовий покрив регіонів Західної України.

4.1 Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на ґрунтово-геологічне середовище

У країнах ЄС, Північної Америки та Скандинавії розроблено широкий спектр методичних підходів, що ґрунтуються на системному аналізі показників забруднення, просторовому моделюванні та оцінці екологічного ризику. Ці методики забезпечують не лише кількісну характеристику рівня техногенного впливу, але й визначення потенційної небезпеки для здоров'я населення та функціонування екосистем. Порівняння міжнародних підходів із національними практиками дозволяє виявити найбільш ефективні інструменти моніторингу, контролю та управління якістю ґрунтового покриву.

До методів, які дозволяють опосередковано оцінити техногенний вплив на ґрунти, є оцінка ризику для здоров'я людини. Як відомо, «це процес визначення характеру та ймовірності шкідливого впливу на людину внаслідок дії хімічних речовин, що містяться у забрудненому довкіллі, як тепер, так і в майбутньому» [137].

Оцінка ризику для здоров'я людини (Human Health Risk Assessment, HHRA) складається з чотирьох основних етапів:

- Крок 1 – Ідентифікація небезпеки (Hazard Identification). Фахівці з оцінки ризику аналізують, чи може певний чинник (стресор) спричинити шкоду людині або екосистемі, і за яких саме умов це може відбутися.
- Крок 2 – Оцінка «доза – реакція» (Dose – Response Assessment). На цьому етапі визначається кількісна залежність між рівнем впливу та реакцією організму, тобто якою є ймовірність виникнення негативного ефекту при певній дозі чи концентрації речовини.
- Крок 3 – Оцінка впливу (Exposure Assessment). Після визначення небезпеки та зв'язку «доза – реакція» оцінюється, як часто, коли саме та в яких кількостях люди можуть контактувати з потенційно небезпечним чинником.
- Крок 4 – Характеристика ризику (Risk Characterization). Цей етап поєднує всі попередні результати і включає:
 - 1) оцінку ризику (risk estimation) – порівняння рівня впливу на людину чи екосистему з відомими даними про можливі наслідки;
 - 2) опис ризику (risk description) – інтерпретацію результатів, яка пояснює: чи очікуються шкідливі ефекти для людей або довкілля; які є якісні порівняння з іншими ситуаціями; як невизначеності чи нестача даних можуть впливати на результати (рис. 4.1).

Як правило (рис. 4.2), HHRA має бути повним процесом оцінки від джерела до рецептора.

У випадку забруднення ґрунтового покриву особливу увагу приділяють руху ЗР у ґрунтах та підземних водах. Ці процеси контролюються чотирма основними механізмами:

- адвекція – перенесення речовин разом із потоком рідини;
- дисперсія – розсіювання частинок навколо основного потоку;
- масообмін між фазами (адсорбція, випаровування, вивільнення);
- перетворення речовин (біодеградація, гідроліз, розпад).

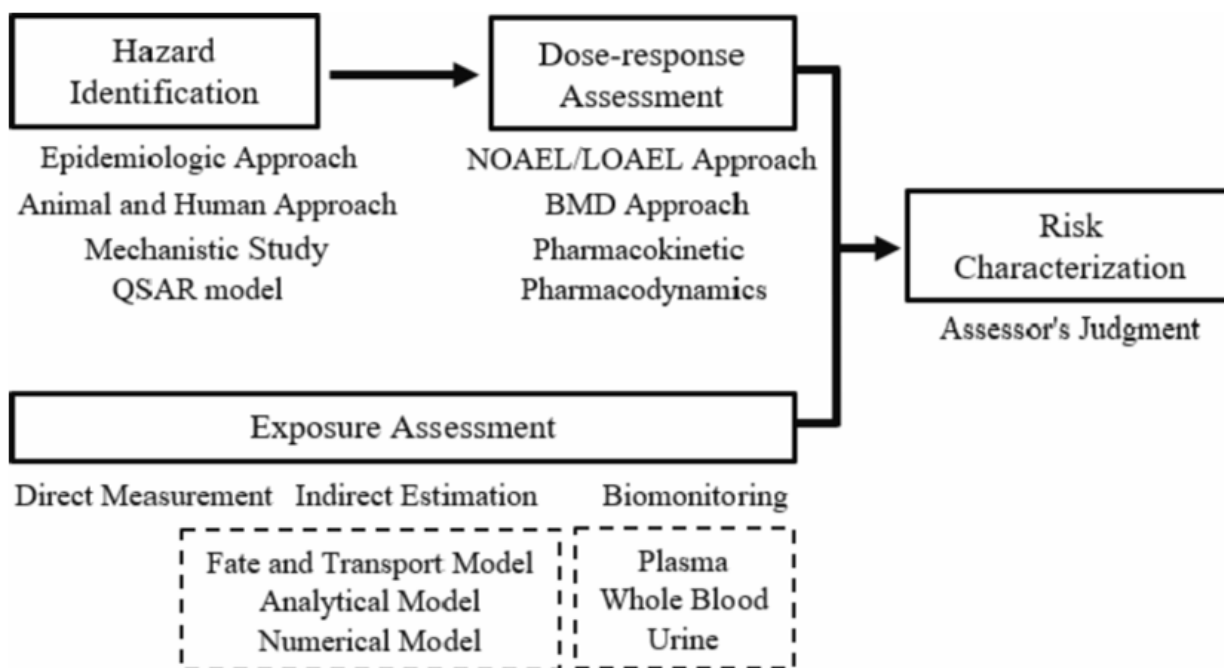


Рисунок 4.1 – Блок-схема оцінки ризику для здоров'я людини [138]

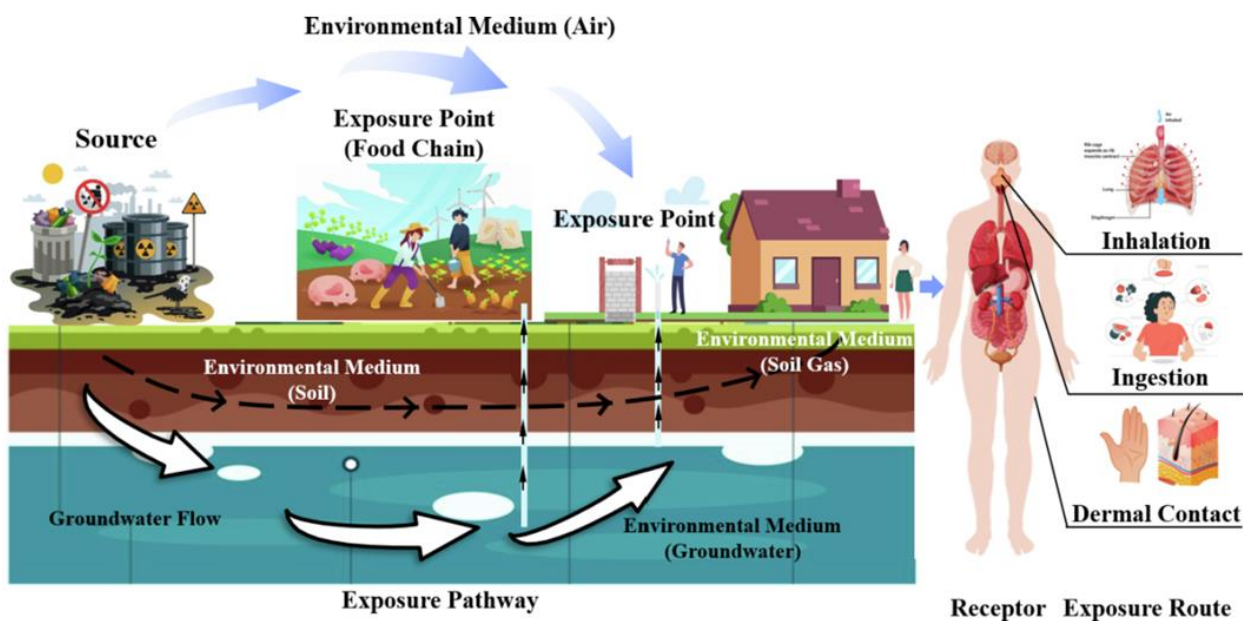


Рисунок 4.2 – Концептуальна модель процесу «від джерела до рецептора»

[138]

Як показує дослідження [138], протягом останніх десятиліть ННРА постійно вдосконалювалась завдяки розвитку різних концептуальних моделей і систем оцінювання ризиків. Проте наявні публікації не дають цілісного уявлення про сучасні методи та моделі ННРА, необхідного для розуміння

поточного стану цієї сфери та визначення перспектив подальших досліджень. Більше того, цей метод не включає літературу, опубліковану поза рецензованими джерелами або не англійською мовою, що може створювати певну упередженість та обмежувати повноту представленої інформації. Також, відсутність даних про країни, де англійська не є основною мовою, зужує узагальненість висновків цього огляду для глобального контексту.

Наприклад, наразі в Румунії відсутній повноцінний інструмент ННРА для контролю забруднення та ефективного управління територіями. Тому в Бухарестському політехнічному університеті розробили комплексну систему, що поєднує геопросторовий аналіз, оцінку ризиків для здоров'я та інтерпретацію якості ґрунтів. Вона дозволяє визначати рівень небезпеки забруднених ділянок для подальшого відновлення земель і їх повторного використання [139].

Дослідження було проведено на території колишнього складу нафтопродуктів у південній частині Румунії. У межах оцінки ННРА проаналізували 16 точок відбору проб ґрунту. Як ЗР розглядалися метали (нікель і свинець) та леткі органічні сполуки (бензол, толуол, етилбензол, ксилол), виходячи з промислового сценарію впливу.

Так, «результати показали, що сукупний канцерогенний ризик (CR) перевищує порогове значення 10^{-5} для всіх точок відбору, а неканцерогенний ризик (HI) – одиницю в одній із точок. Найвищий показник CR зафіксовано для нікелю ($1,29 \times 10^{-3}$) при потраплянні через ковтання, а найнижчий – для етилбензолу ($9,94 \times 10^{-12}$) через вдихання. Серед неканцерогенних ризиків найвищим виявився показник бензолу (1,53) при споживанні підземних вод. Геопросторовий аналіз дозволив визначити ключові осередки забруднення. Очікується, що рівень ННРА для житлових зон (як для дітей, так і для дорослих) може бути подібним або навіть вищим, тому необхідні додаткові дослідження для ефективного контролю забруднення та планування подальшого використання земель» [139].

Оцінка ризику для здоров'я людини є одним з ключових інструментів для визначення потенційних загроз, пов'язаних із забрудненням ґрунтів токсичними речовинами. Завдяки систематичному підходу, що включає ідентифікацію небезпек, оцінку токсичності, аналіз експозиції та характеристику ризику, метод забезпечує комплексне розуміння впливу ЗР. Упродовж останніх деkad ННРА активно вдосконалюється завдяки розвитку наукових моделей, баз даних токсичності та інтеграції нових технологій, зокрема моделювання перенесення речовин у ґрунті [138]. Це сприяє більш точному прогнозуванню поведінки ЗР у ґрунтового середовищі.

Однак, незважаючи на значні досягнення, сучасні підходи ННРА мають низку обмежень. Вони часто базуються на узагальнених токсикологічних параметрах, що не враховують регіональні чи індивідуальні відмінності у сприйнятливості населення. Крім того, існують труднощі з урахуванням комплексних сумішей ЗР і вторинних перетворень речовин у ґрунтового профілі (табл. 4.1). Важливою тенденцією розвитку є інтеграція біомоніторингу в оцінку ризиків, що дає змогу безпосередньо вимірювати рівень забруднення організму людини та співвідносити його з впливом навколишнього середовища. Такі підходи допомагають подолати невизначеність традиційних моделей і створюють основу для персоналізованої оцінки ризику.

Ще одним показником оцінки техногенного впливу є індекс геоаккумуляції (*Igeo*), який визначається як «показник, що використовується для оцінювання рівня забруднення навколишнього середовища шляхом порівняння фактичних концентрацій металів у ґрунті з їхніми природними (фоновими) рівнями, що дозволяє виявити ступінь антропогенного навантаження на довкілля. Індекс має сім класів, при цьому найвищий клас свідчить про збагачення концентрацій у 100 разів порівняно з фоновими значеннями» [140, 141].

Індекс геоаккумуляції є одним із найпоширеніших показників для оцінювання рівня забруднення ґрунтів ВМ. У різних країнах цей індекс

Таблиця 4.1 – Переваги та недоліки використання ННРА

Переваги	Недоліки
Дає змогу оцінити всі шляхи надходження ЗР у організм людини (повітря, вода, ґрунт, їжа)	Не завжди враховує взаємодію різних типів ЗР між собою
Базується на токсикологічних, хімічних і гідрогеологічних даних	Часто використовує узагальнені або застарілі токсикологічні показники
Може бути адаптована до будь-якого типу території або об'єкта	Потребує значної кількості даних і складних розрахунків
Дозволяє моделювати міграцію ЗР у ґрунті та оцінювати ризики на перспективу	Результати сильно залежать від точності вихідних даних
Використовується для розробки природоохоронних і санітарних заходів	Не завжди дає змогу оперативно реагувати у випадках гострого забруднення
Може поєднуватися з біомоніторингом і моделями перенесення речовин	Потребує уніфікованих стандартів для інтеграції результатів
Дозволяє враховувати похибки вимірювань і статистичну мінливість	Часто ускладнює інтерпретацію результатів через складність моделей

Джерело: за автором.

активно застосовується для аналізу територій, забруднених внаслідок гірничодобувної діяльності, промислових аварій та урбанізації. Розраховується за формулою:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{1,5B_i}, \quad (4.1)$$

де C_i – концентрація ВМ в ґрунті;

B_i – геохімічне фонове значення відповідного елемента [142].

Доволі часто в дослідженнях, де фігурує даний показник, є порівняльний аналіз з іншими методами оцінки техногенного навантаження на ґрунти. Наприклад, у дослідженні [143] оцінюється забруднення ґрунтів і рослин ВМ – свинцем, кадмієм, нікелем, міддю, хромом та цинком – у районі мідного рудника Рехова, Албанія, за допомогою індексу навантаження забруднення

(*PLI*), *Igeo*, коефіцієнта забруднення (*CF*), коефіцієнта збагачення (*EF*) та індексу потенційного екологічного ризику (*RI*), тоді як забруднення рослин визначали через коефіцієнти біоаккумуляції (*BFC*).

Продовжуючи тему порівняльного аналізу методик, зазначимо, що у роботі [144] оцінювання вмісту таких елементів як свинець, цинк, марганець, кадмій та мідь проводилося в житлових районах міста Багдад, Ірак, також із використанням різних індексів та коефіцієнтів: *Igeo*, коефіцієнт збагачення (*EF*), коефіцієнт забруднення (*CF*), ступінь забруднення (*Cd*), індекс загального навантаження забруднення (*PLI*) та індекс потенційного екологічного ризику (*Eif*).

Якщо ж говорити про окреме використання даного показника, то прикладом є дослідження в 2025 р. Катастрофи Лапіндо (Lapindo Mud Disaster) [145]. Катастрофа Лапіндо – це природне явище виверження грязі з надр Землі, що сталося в районі Сідоарджо, Індонезія. Одним із наслідків цього гарячого грязьового виверження стало забруднення сільськогосподарських угідь. Метою даного дослідження було проаналізувати вміст кадмію у ґрунтах рисових полів, розташованих поблизу зони виверження Лапіндо. Використовується цей показник і вітчизняними науковцями, наприклад, для оцінки стану ґрунтів урбанізованих територій [146].

Так, результати багатьох досліджень підтверджують, що *Igeo* є ефективним інструментом для класифікації ступеня забруднення ґрунтів ВМ як показника техногенного впливу, що дає змогу здійснювати порівняльний аналіз між регіонами. Його застосування спрощує екологічний моніторинг і сприяє визначенню пріоритетних зон для рекультивації або подальшого спостереження. Водночас індекс має певні обмеження (табл. 4.2). Оскільки він базується на логарифмічному співвідношенні концентрації металу до фонового рівня, похибки у визначенні базових геохімічних значень можуть істотно вплинути на результат. Крім того, *Igeo* не враховує біодоступність металів, їхню токсичність для живих організмів чи взаємодію між елементами. Саме тому дослідники рекомендують поєднувати його з іншими

показниками – індексом забруднення, фактором збагачення, індексом екологічного ризику або індексом навантаження забруднення.

Таблиця 4.2 – Переваги та недоліки використання індексу геоаккумуляції

Переваги	Недоліки
Формула логічна та зручна у використанні, не потребує складних аналітичних даних	Не враховує інші фактори, що впливають на міграцію металів (вологість, <i>pH</i> тощо)
Дозволяє кількісно визначити ступінь накопичення металів у ґрунті	Може бути неточним, якщо фонові значення визначені неправильно
Дає змогу порівнювати території з різним рівнем антропогенного впливу	Вимагає узгоджених фонів для коректного порівняння
Ефективно працює у поєднанні з CF, EF, RI, PLI для комплексної оцінки	Не дає уявлення про біологічну доступність металів. Самостійно не забезпечує повної картини екологічної небезпеки
Дозволяє оцінити просторові й часові зміни рівня забруднення	Не враховує можливі синергетичні ефекти між металами
Підтримується великою кількістю публікацій і практичних досліджень	Не визначає екологічний або токсикологічний ризик для людини

Джерело: за автором.

На нашу думку, одночасне застосування ННРА та *Igeo* може сприяти більш повній і точній оцінці екологічної безпеки та сприяти сталому управлінню земельними ресурсами. *Igeo* дозволяє кількісно визначити рівень забруднення ґрунту *BM*, порівнюючи фактичні концентрації з природним фоновим вмістом елементів. У свою чергу, метод ННРА спрямований на оцінку того, наскільки ці концентрації можуть становити ризик для людини через різні шляхи впливу. Поєднання цих підходів дозволяє не лише встановити ступінь техногенного навантаження, а й визначити його реальний вплив на здоров'я населення, що особливо важливо для територій з активним промисловим або аграрним використанням. Такий інтегрований підхід забезпечує науково обґрунтовану основу для прийняття природоохоронних рішень, планування рекультиваційних заходів і моніторингу стану ґрунтів.

Український досвід оцінки стану і техногенного навантаження на ґрунти формується на основі багаторічних наукових досліджень, що поєднують геохімічні, екологічні та агрономічні підходи. Вітчизняні методики передбачають використання системи показників забруднення, індексів екологічного стану та коефіцієнтів концентрації хімічних елементів у ґрунтах. Особливу увагу приділено аналізу впливу промислових підприємств, транспортної інфраструктури та сільськогосподарського виробництва на стан ґрунтового покриву. Розроблені в Україні підходи дозволяють здійснювати як регіональні, так і локальні оцінки ступеня антропогенного впливу та визначати пріоритетні напрями рекультивації деградованих земель.

Для оцінки стану ґрунтів за вмістом окремих ЗР використовуються різні показники, які порівнюють фактичні концентрації з *ГДК*. Оцінювання рівня хімічного забруднення ґрунтів здійснюють за показниками, отриманими під час геохімічних і геогігієнічних досліджень територій. Одним з таких показників є «коефіцієнт концентрації (K_c), який відображає ступінь накопичення певного хімічного елемента у ґрунті. Він визначається як співвідношення фактичного вмісту елемента (C_i) до його фонового значення (C_ϕ)» [102]:

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}. \quad (4.2)$$

Якщо замість фонового значення використовують *ГДК*, то тоді розраховують «коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження (K_i)», який показує перевищення концентрації елемента відносно нормативу [102]:

$$K_i = \frac{C_i}{C_{ГДК}}. \quad (4.3)$$

У разі, коли ґрунт забруднений кількома ЗР одночасно, для оцінки використовують комплексний показник забруднення (*КПЗ*), який враховує сумарний вплив усіх ЗР. Він обчислюється за формулою [102]:

$$КПЗ = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (4.4)$$

де n – кількість ЗР.

За значенням *КПЗ* визначають рівень небезпеки забруднення ґрунтів:

- помірний рівень – $n < КПЗ < 3n$;
- високий рівень – $3n < КПЗ < 10n$;
- надзвичайно високий рівень – $КПЗ > 10n$.

Ще одним індикатором стану ґрунтів є індекс забруднення ґрунтів (*ІЗГ*) [102]:

$$ІЗГ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{ГДК}} \right) / n, \quad (4.5)$$

де C_i – фактична концентрація елемента;

$C_{ГДК}$ – ГДК елемента;

n – кількість елементів у розрахунку.

За отриманим значенням *ІЗГ* виділяють такі категорії якості ґрунтів:

- $ІЗГ < 0,75$ – ґрунти чисті;
- $ІЗГ = 0,75 - 1,0$ – ґрунти проблемні;
- $ІЗГ > 1,0$ – ґрунти забруднені.

Попри велику кількість сучасних екологічних проблем, питання впливу вибухових речовин в умовах російсько-української війни, що містяться у бойових частинах БпЛА Shahed-136 та ракет типу Х-22 і Х-101, на ґрунти залишається недостатньо вивченим. Це пов'язано з низкою складнощів: деформацією ґрунту після вибухів, перемішуванням його горизонтів, наявністю токсичних компонентів вибухівки та труднощами й небезпекою

відбору проб у зонах обстрілів. Відомо, що «вибухи спричиняють утворення виврв, ущільнення ґрунту й порушення його структури, що ускладнює отримання репрезентативних зразків, оскільки ґрунт часто зміщується з глибшими шарами. До того ж вибухові речовини містять ВМ, нітрати та залишки органічних сполук (тротил, гексоген, октоген тощо), для виявлення яких потрібні комплексні лабораторні аналізи й зіставлення з контрольними зразками» [147].

Оскільки Україна є важливим аграрним виробником, збереження родючості ґрунтів має стратегічне значення. Токсичні залишки боєприпасів можуть проникати у ґрунтові води, включатися в харчові ланцюги та створювати довготривалі ризики для екосистем і здоров'я людей. Крім того, результати таких досліджень мають юридичне значення, оскільки можуть бути використані як доказова база в міжнародних судових процесах щодо екологічної шкоди.

Автори дослідження [147] зазначають, що «бойові частини різних типів озброєння забруднюють ґрунт широким спектром металів (*Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr*) та продуктами згоряння вибухових речовин. Сучасні заряди містять тротил, гексоген, окфол та інші суміші, що супроводжуються утворенням значних обсягів газоподібних продуктів і твердих залишків, частина яких осідає у ґрунтах. Наприклад, детонація 115-мм осколково-фугасної бомби з гексогеном утворює близько 4000 л газів, з яких близько 70 % та їх тверді фракції залишаються в зоні вибуху. Дослідження ґрунтів у районах інтенсивних обстрілів показують значне накопичення іонів Pb^{2+} , Cu^{2+} та інших токсичних металів».

Усі досліджені змішані зразки ґрунту, зібрані у Дніпропетровській, Миколаївській і Херсонській областях, містять іони ВМ, що свідчить про техногенне навантаження внаслідок застосування бойових частин ракет і БпЛА. Коефіцієнти забруднення свідчать про дуже сильний рівень забруднення Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} і Ni^{2+} [147].

Інше дослідження [148], метою якого було визначення типів забруднення та моніторинг вмісту ВМ ґрунтах сіл Благодатне, Киселівка, Васильки та Максимівка (Миколаївський район, Миколаївська обл.) внаслідок російсько-української війни підтверджує інтенсивний техногенний вплив ВМ, зумовлений бойовими діями. Особливу небезпеку становлять концентрації кадмію, свинцю та міді, які значно перевищують *ГДК* та створюють суттєві екологічні ризики для ґрунту, рослинності та підземних вод. Так, «оцінка коефіцієнта концентрації показала надзвичайно високі значення для міді (8,2 – 81,19) та кадмію, що потребує впровадження систематичного моніторингу і сучасних методів очищення для стабілізації екосистеми» [148].

Рівень ризику суттєво залежав від типу домішок у ґрунті:

- у зразках, насичених нафтою, найбільший ризик зумовлений кадмієм ($Er = 415$) і свинцем ($Er = 130$);
- у зразках без вуглеводнів – міддю ($Er = 220$) і кадмієм ($Er = 665$);
- у зразках зі сріблястими металевими фрагментами – кадмієм ($Er = 1228$) і міддю ($Er = 404$), а сумарний ризик $RI = 1805$;
- у глинистих елювіальних зразках – кадмієм ($Er = 1255$) і міддю ($Er = 406$), сумарний ризик $RI = 1840$ [148].

Забруднення ВМ досягло такого рівня, що подальше використання цих земель без технічної та біологічної рекультивації є небезпечним. Верхній шар ґрунту в окремих ділянках рекомендовано видалити через критичний рівень токсичності [148].

Таким чином, аналіз гранично допустимих концентрацій ЗР дає можливість об'єктивно оцінити рівень техногенного впливу на ґрунтове середовище та визначити ступінь потенційної небезпеки для екосистем. Оцінка із застосуванням *ГДК* дає змогу своєчасно ідентифікувати небезпечні ділянки та визначити пріоритетні напрямки рекультиваційних заходів. Разом із тим, у зонах інтенсивного військового навантаження використання лише *ГДК* може бути недостатнім через комплексність і непередбачуваність змін у складі

ґрунтів (табл. 4.3). Тому *ГДК* доцільно поєднувати з інтегральними індексами забруднення для більш повної екологічної оцінки.

Таблиця 4.3 – Переваги та недоліки оцінки із використанням *ГДК*

Переваги	Недоліки
Дає чіткий нормативний критерій для оцінювання рівня забруднення	Не враховує комплексного впливу кількох токсикантів одночасно
Сприяє швидкому прийняттю управлінських рішень щодо рекультивації та обмеження використання земель	Не відображає тривалий кумулятивний вплив забруднювачів на екосистеми
Є основою для контролю за дотриманням екологічних норм і санітарних вимог	У випадках інтенсивного військового впливу фактичні концентрації можуть виходити за межі інтерпретаційної здатності <i>ГДК</i>
Дозволяє порівнювати ступінь забруднення різних територій у стандартизований спосіб	<i>ГДК</i> здебільшого ґрунтуються на токсикологічних даних для окремих елементів без урахування їхньої взаємодії

Джерело: за автором.

Також існують показники, які дозволяють розрахувати саме рівень техногенного навантаження ґрунтовий покрив. Одним з таких показників, розроблених як і для інших складових довкілля, є модуль техногенного навантаження на геологічне середовище $M_{ГС}$. Цей показник розраховується як відношення утворених, накопичених відходів або їх суми до площі території регіону [107].

Слід відзначити, що аналіз статистичних даних щодо утворення і накопичення відходів, як промислових, так і ТПВ, свідчить про швидкі темпи зростання їх накопичення. Особливо ця проблема постала в Україні в період повномасштабної війни, оскільки в багатьох регіонах утворюються і накопичуються у дуже значних кількостях відходи руйнування.

Також слід зазначити, що структура ТПВ постійно ускладнюється: якщо на початку ХХ ст. їх морфологічний склад обмежувався десятком природних

компонентів, то на початок XXI ст. кількість фракцій перевищила 70 через активне поширення пластикових, композитних і хімічних матеріалів. Як зазначають автори роботи [149], «така різноманітність значно ускладнює організацію ефективних систем управління відходами, а досягнення принципу «нульових відходів» стає дедалі менш реалістичним».

За даними Global Waste Management Outlook 2024, у країнах Східної Європи на полігонах розміщується близько 45 % ТПВ, ще 25 % – на неконтрольованих звалищах. У середньому у світі захоронюють близько 68 % побутових відходів. Хоча «Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року» наголошує, що залежність від полігонного захоронення є неприпустимою у майбутньому, фактичний стан залишається незмінним: у 2023 р. в Україні утворено понад 9 млн. т побутових відходів, з яких близько 89,5 % були захоронені на понад 5,6 тис. полігонів і звалищ. Загальна маса відходів, розміщених на них, уже перевищує 235 млн. т [149].

Метою дослідження авторів роботи [149] була розробка набору показників-індикаторів техногенного навантаження, що створюється полігонами ТПВ, та аналіз просторово-часової мінливості такого навантаження між регіонами України. В результаті дослідження отримано:

- «стрімке щорічне збільшення обсягів відходів та збереження полігонного захоронення як домінуючої практики свідчать про те, що площі, зайняті під полігони, й надалі зростатимуть. Це вимагає глибокого вивчення їхнього впливу на природне середовище, насамперед через оцінку кількості, площі, об'єму та маси відходів на регіональному рівні;
- запропоновані індикатори дозволяють відобразити ситуацію із захороненням ТПВ на національному рівні та чітко визначити регіональні відмінності. Наприклад, у 2021 р. середнє навантаження становило 451,8 т/км², що в чотири рази нижче за максимальне значення у Київській області та приблизно у 14 разів вище за мінімальне значення у Сумській області;

- у середньому полігони ТПВ займають близько 0,016 % території країни; їхня щільність становить 1,1 полігон на 10 км². Стандартна площа одного полігону дорівнює приблизно 1,5 га, і цей показник майже не змінюється протягом останніх п'яти років. У 2021 р. на 1 га полігону припадало близько 172 тис. м³ або 28,7 тис. т відходів, тоді як протягом року загальний обсяг захоронених ТПВ зріс ще на 4 %;
- несанкціоновані звалища відіграють значно меншу роль у загальній структурі захоронення: вони займають близько 7 % площі офіційних полігонів і містять у десятки разів менші об'єми відходів (4,12 тис. м³/га порівняно з 171 тис. м³/га на офіційних полігонах);
- використання розробленої системи індикаторів дало змогу провести просторово-часовий аналіз регіонів України станом на 2021 р. Найвища напруженість ситуації характерна для Київської, Львівської, Донецької та Хмельницької областей. Найкращі показники зафіксовано у Сумській та Вінницькій областях» [149].

Враховуючи вище викладене, можна відзначити, що $M_{ГС}$ є також ефективним інструментом для кількісної оцінки техногенного навантаження на ґрунтово-геологічне середовище. Його використання дозволяє враховувати як обсяг утворених відходів, так і їх накопичення, що найбільш точно відображає ступінь навантаження на територію. Аналіз літературних джерел показав, що застосування $M_{ГС}$ дозволяє виявити регіональні відмінності у техногенному впливі та визначити найбільш уразливі території. Водночас методика дозволяє інтегрувати дані з різних джерел щодо показників утворення і накопичення відходів (табл. 4.4).

У роботі [150] запропоновано оціночну шкалу для характеристики антропогенного навантаження на природні екосистеми. Одним з показників навантаження на ґрунтовий покрив автори визначають показник побутових відходів. Він характеризує площу наявних в регіоні полігонів захоронення ТПВ (га) і розраховується за формулою:

Таблиця 4.4 – Переваги та недоліки використання $M_{ГС}$

Переваги	Недоліки
Враховує як утворення, так і накопичення відходів, що підвищує точність оцінки	Не враховує деякі локальні фактори, наприклад, специфіку склад ґрунтів
Дозволяє порівнювати різні регіони та визначати найбільш уразливі території	Може бути складним у застосуванні для новачків без методичних вказівок
Сприяє формуванню бази для подальших досліджень і розробки політик управління відходами	Не дає прямої оцінки ризику для здоров'я людей або біоти без додаткових модулів

Джерело: за автором.

$$P_{не} = S_{пол} / S, \quad (4.6)$$

де $S_{пол}$ – площа, зайнята сміттєзвалищами і полігонами захоронення ТПВ, га.

4.2 Аналіз техногенного навантаження на ґрунтовий покрив

Оцінка техногенного навантаження на ґрунтовий покрив регіонів Західної України виконана із застосуванням двох параметрів, які враховують показники утворення і накопичення відходів.

Було виконано аналіз динаміки зміни показників утворення і накопичення відходів виробництва і споживання по західним областям України. Слід відзначити, що вихідна інформація дещо різнилась по різних областях. По показниках утворення відходів (рис. 4.1) найбільш повно дані були представлені за період 2014 – 2023 рр.

Як видно з представленого рисунку, максимальні показники утворення відходів щорічно відзначаються у Львівській області. Ще декілька областей

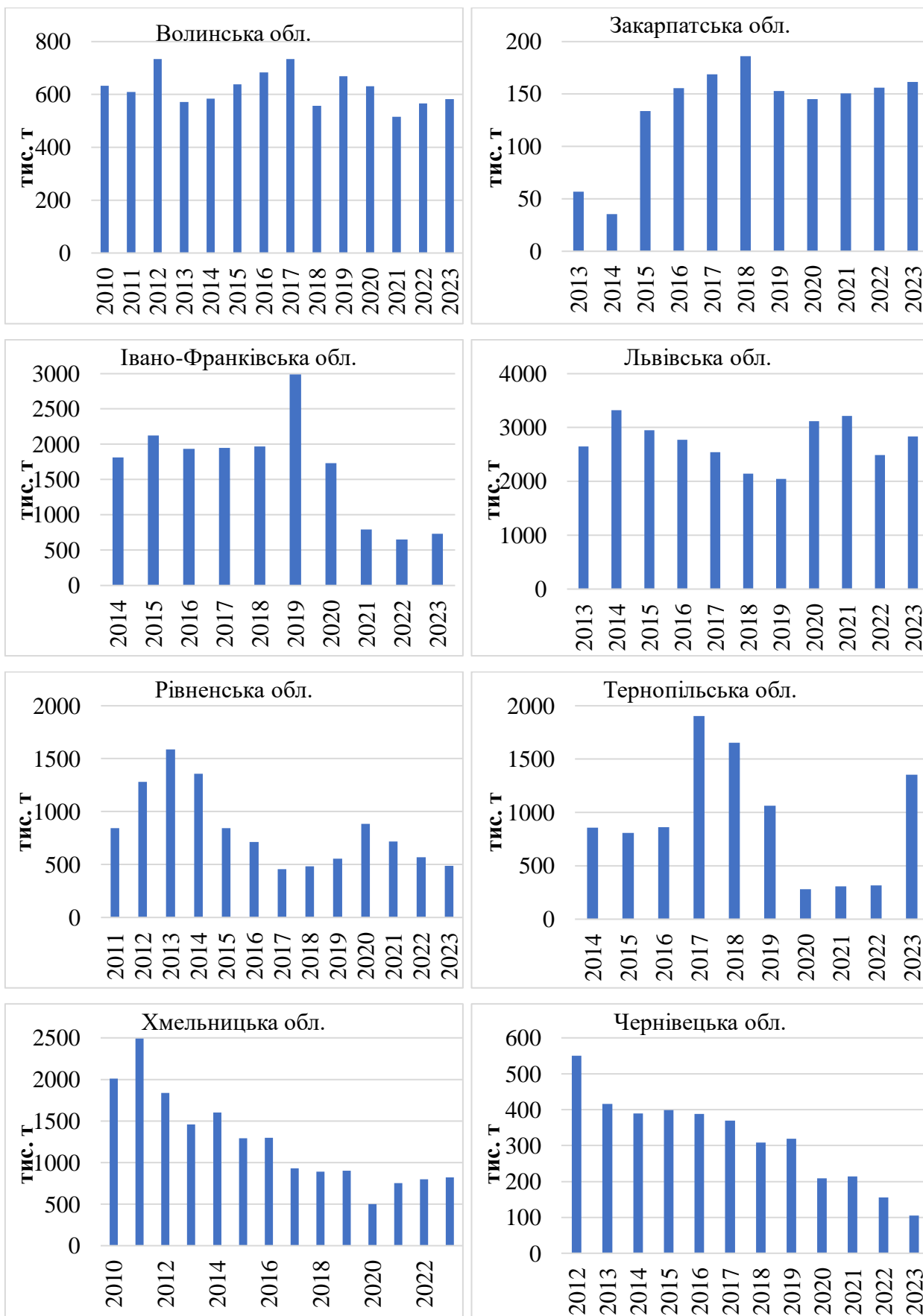


Рисунок 4.1 – Динаміка утворення відходів у регіонах Західної України у 2010 – 2023 рр. (за автором)

(Івано-Франківська, Рівненська, Тернопільська і Хмельницька) також за період дослідження характеризуються високими значеннями обсягів утворення відходів. Мінімальні обсяги відзначаються у Закарпатській і в останні роки Чернівецькій областях. За період дослідження суттєве зменшення обсягів утворених відходів відзначалось у Івано-Франківській, Рівненській, Хмельницькій і Чернівецькій областях. При цьому у Закарпатській області відзначається суттєве збільшення обсягів відходів, що утворились.

Динаміку зміни накопичення відходів на території дослідження наведено на рис. 4.2. Відзначимо відсутність даних у період військових дій у Львівській, а також частково Закарпатській і Волинській областях. Максимально повно інформація представлена у 2016 – 2020 рр. Аналіз показав, що максимальні показники відзначаються для Львівської області, які в окремих випадках на 2 – 3 порядки перевищують відповідні показники для інших областей. Мінімальні обсяги накопичення відзначені у Закарпатській області. Якщо аналізувати динаміку показників по окремим областям, то ситуація досить різномірдна:

- різке збільшення накопичених відходів у Волинській області, починаючи з 2016 р.;
- збільшення у Закарпатській області у 2023 р. на порядок;
- різке зменшення показників накопичення починаючи з 2020 р. у Івано-Франківській і з 2022 р. у Рівненській областях;
- поступове збільшення показників накопичення відходів у Чернівецькій області в 2 рази за період дослідження.

На нашу думку, в окремих випадках наявна вихідна інформація може бути частково не повністю достовірною, що можна пояснити обмеженнями щодо необхідності представлення даних про показники стану і якості довкілля в період військового стану в Україні.

Було проведено порівняння показників утворення і накопичення відходів і розрахованих показників $M_{ГС}$ із застосуванням методики геопросторового аналізу.

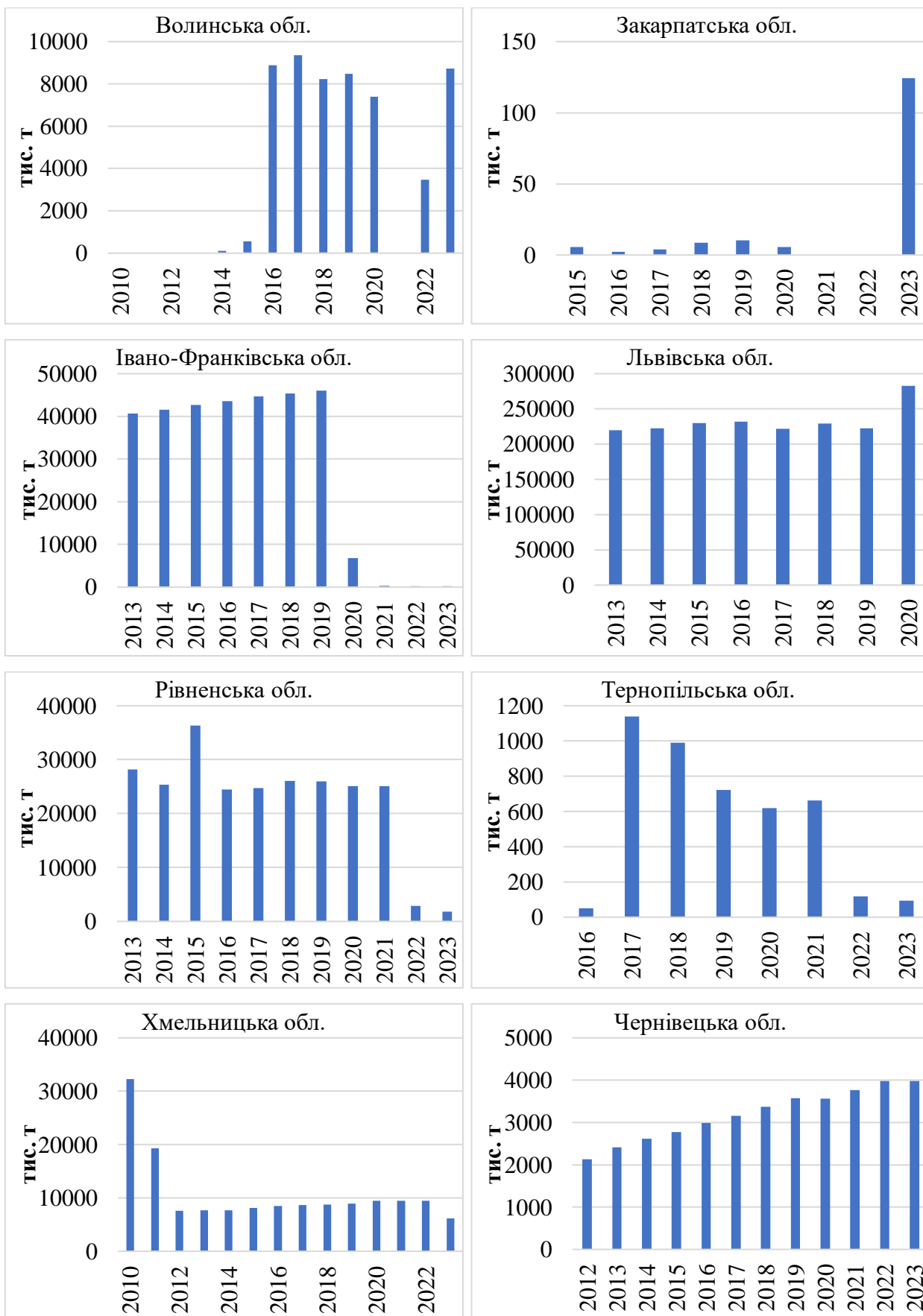
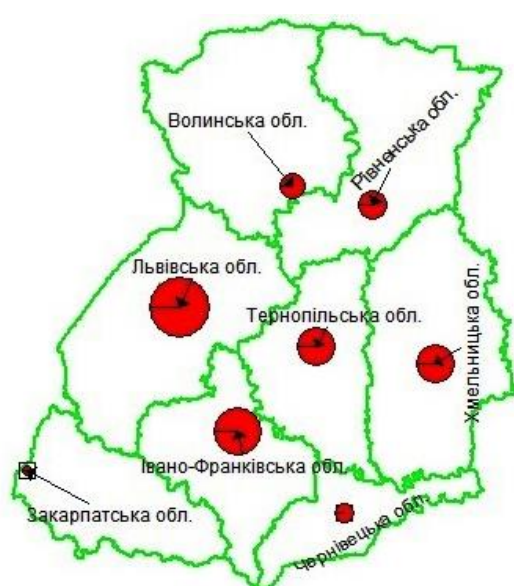


Рисунок 4.2 – Динаміка накопичення відходів у регіонах Західної України у 2010 – 2023 рр. (за автором)

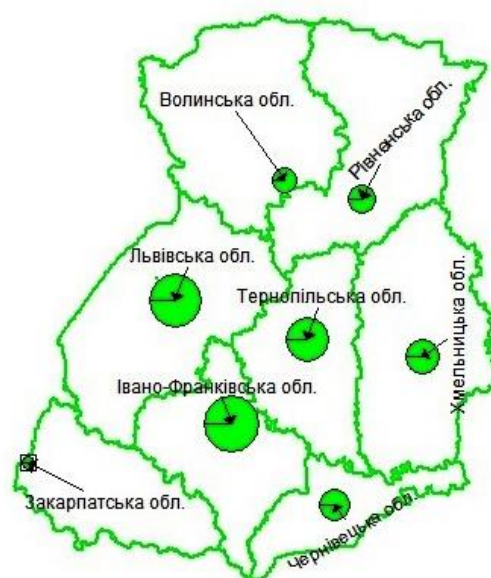
На рис. 4.3 наведено результати аналізу за показниками утворення відходів і значень $M_{ГС}$ для регіонів Західної України. Як видно, максимальні значення відзначались у Львівській області. До другої групи з меншими показниками можна віднести Івано-Франківську, Тернопільську і Хмельницьку області. Мінімальні обсяги утворення відходів відзначались у Чернівецькій і Закарпатській областях. За значенням показника $M_{ГС}$ максимальний рівень техногенного навантаження на геологічне середовище відзначається для Львівської, а також Івано-Франківської областей. Дещо менший рівень навантаження відзначався у Тернопільській області. Мінімальні рівні характерні для Закарпатської області. І чотири області (Волинська, Рівненська, Хмельницька і Чернівецька) створюють групу з приблизно порівняними показниками $M_{ГС}$. При цьому у Хмельницькій області показники утворення відповідають рівню Тернопільської, а у Чернівецькій значно нижче порівняно з переважною більшістю областей.

За показниками накопичених відходів (рис. 4.4) також максимальні значення відзначаються у Львівській області, які суттєво перевищують відповідні показники у інших регіонах. Така ж ситуація відзначається і за результатами розрахунку $M_{ГС}$ щодо обсягів накопичених відходів. Інші області утворюють декілька груп (у порядку їх зменшення): 1) Івано-Франківська і Рівненська; 2) Волинська, Хмельницька і Чернівецька; 3) Тернопільська і мінімальні показники у Закарпатській області. За рівнем техногенного навантаження всі області розподіляються аналогічно за отриманими значеннями показника $M_{ГС}$.

На рис. 4.5 представлено узагальнені результати оцінки техногенного навантаження на ґрунтово-геологічне середовище за сумою обсягів утворення і накопичення відходів в регіонах Західної України. Так, за сумарними показниками поводження з відходами (рис. 4.5а) безумовним «лідером» є Львівська область (70 % у 2014 – 2018 рр. і майже 85 % у 2019 – 2023 рр.). Значно менші обсяги відзначались у Івано-Франківській і Рівненській областях (5 – 10 %). На інші 5 областей припадає в сумі 15 – 20 % внеску у загальні



а) утворення у 2014 – 2018 pp.

б) $M_{ГС}$ у 2014 – 2018 pp.

в) утворення у 2019 – 2023 pp.

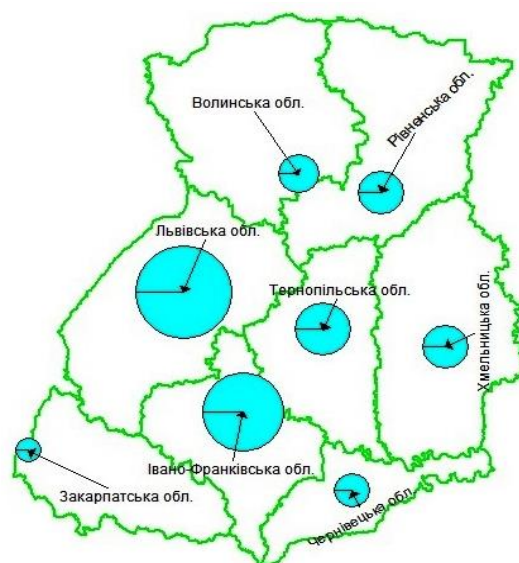
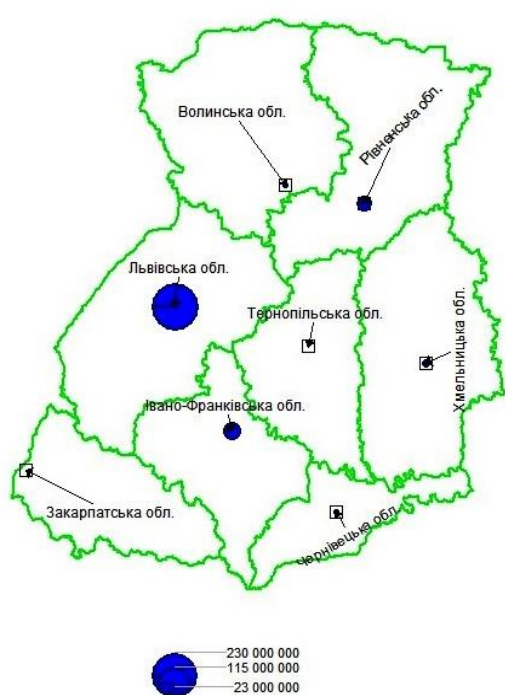
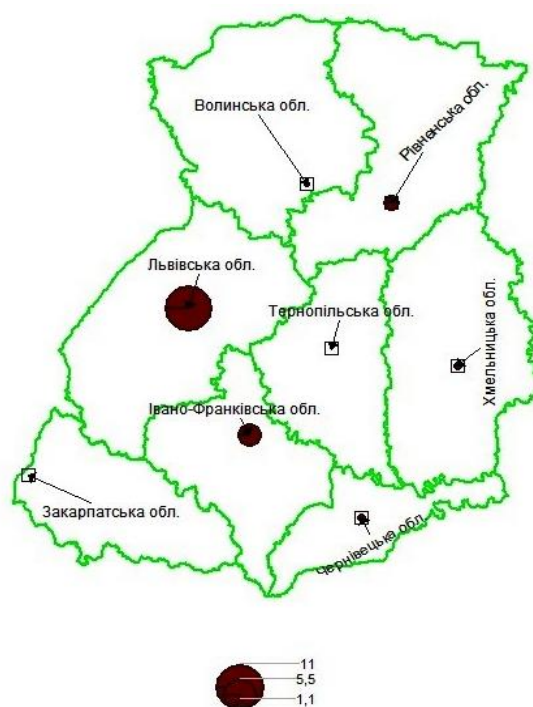
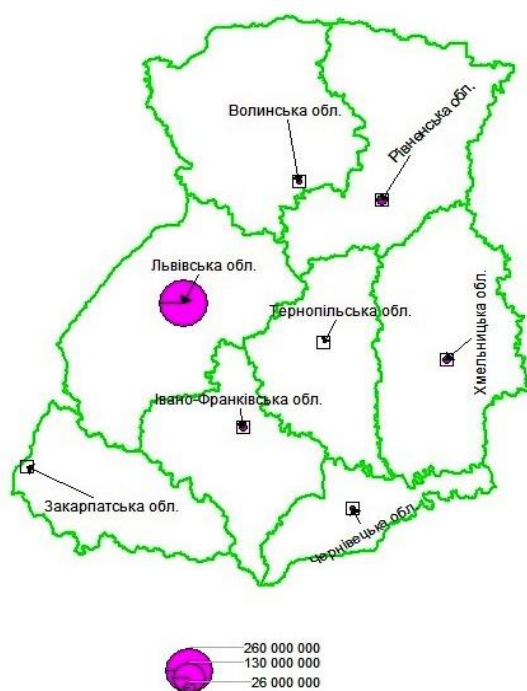
г) $M_{ГС}$ у 2019 – 2023 pp.

Рисунок 4.3 – Порівняльний аналіз утворення відходів і показників $M_{ГС}$ для регіонів Західної України у 2014 – 2023 pp. (за автором)



а) накопичення у 2014 – 2018 рр.

б) $M_{ГС}$ у 2014 – 2018 рр.

в) накопичення у 2019 – 2023 рр.

г) $M_{ГС}$ у 2019 – 2023 рр.

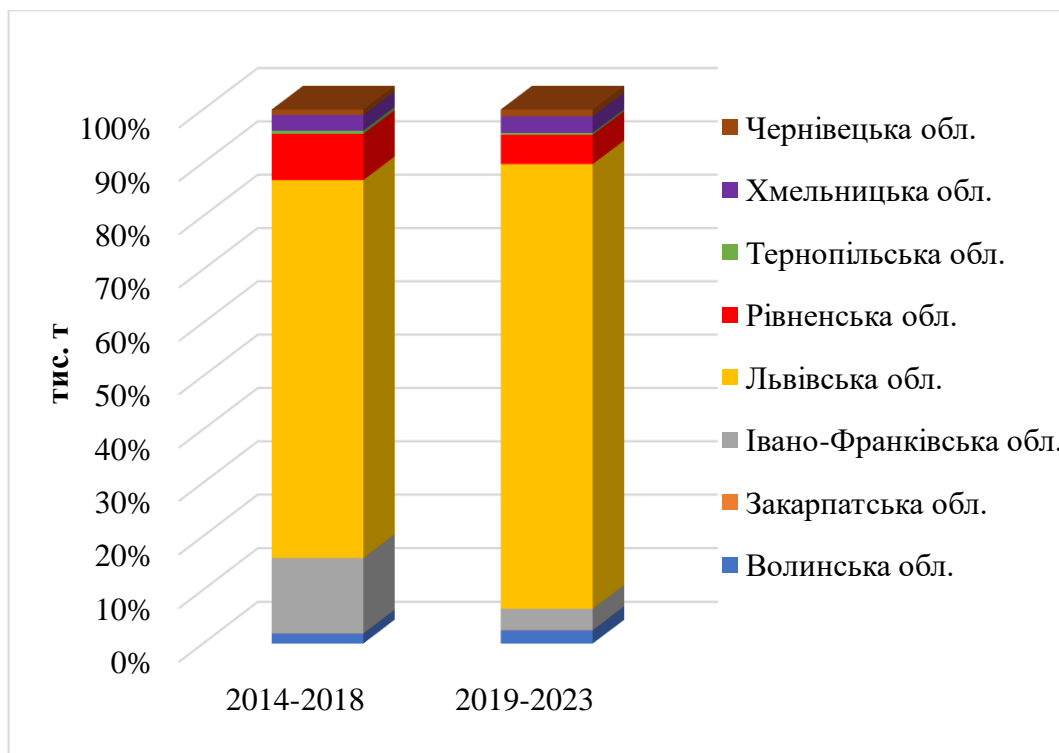
Рисунок 4.4 – Порівняльний аналіз накопичення відходів і показників $M_{ГС}$ для регіонів Західної України у 2014 – 2023 рр. (за автором)

показники поводження з відходами. Як зазначено вище, за значенням показника $M_{ГС}$ (рис. 4.5б) також максимум відзначається у Львівській області. Але відносні показники впливу дещо менші порівняно з абсолютними значеннями обсягів – 65 % у 2014 – 2018 рр. і 75 % у 2019 – 2023 рр. При цьому збільшились показники у Івано-Франківській області.

Отримані результати щодо оцінки техногенного навантаження за значенням $M_{ГС}$ висвітлені у роботі [151], а також узгоджуються з проведеними раніше дослідженнями авторів щодо оцінки навантаження у довоєнний період (2017 – 2020 рр.) [108].

На рис. 4.6 наведено результати оцінки навантаження на ґрунтовий покрив за показником площі наявних полігонів $Пнев$ в регіонах Західної України. Слід відзначити неоднорідність розподілу визначеного показника. Так, у Волинській, Закарпатській, Львівській і Хмельницькій областях відзначається зменшення площі, яка зайнята полігонами і звалищами ТПВ. В інших областях Західної України цей показник збільшився за період дослідження. Найбільш суттєве збільшення відбулося у Рівненській і Чернівецькій областях. Більш високі значення показника $Пнев$ відзначаються у Чернівецькій, Хмельницькій, Волинській, Закарпатській і Рівненській областях.

Було також виконано порівняльну оцінку навантаження на ґрунтовий покрив за показником $Пнев$ в розрізі регіонів Західної України (рис. 4.7). Як видно, Чернівецька область як і в попередніх розділах характеризується високими показниками навантаження (28 %) при незначній площі території (6%). При цьому для Львівської і Івано-Франківської областей, площа яких складає сумарно 28 % території Західної України, показник $Пнев$ складає лише 11 %. Можливо отримані дані не досить повно характеризують загальну картину наявних звалищ і полігонів, оскільки існує значна кількість стихійних звалищ, інформація про які не завжди відображається у офіційних даних. Проте на нашу думку загальна тенденція залишається аналогічною вище викладеної.



а) обсяги утворення і накопичення

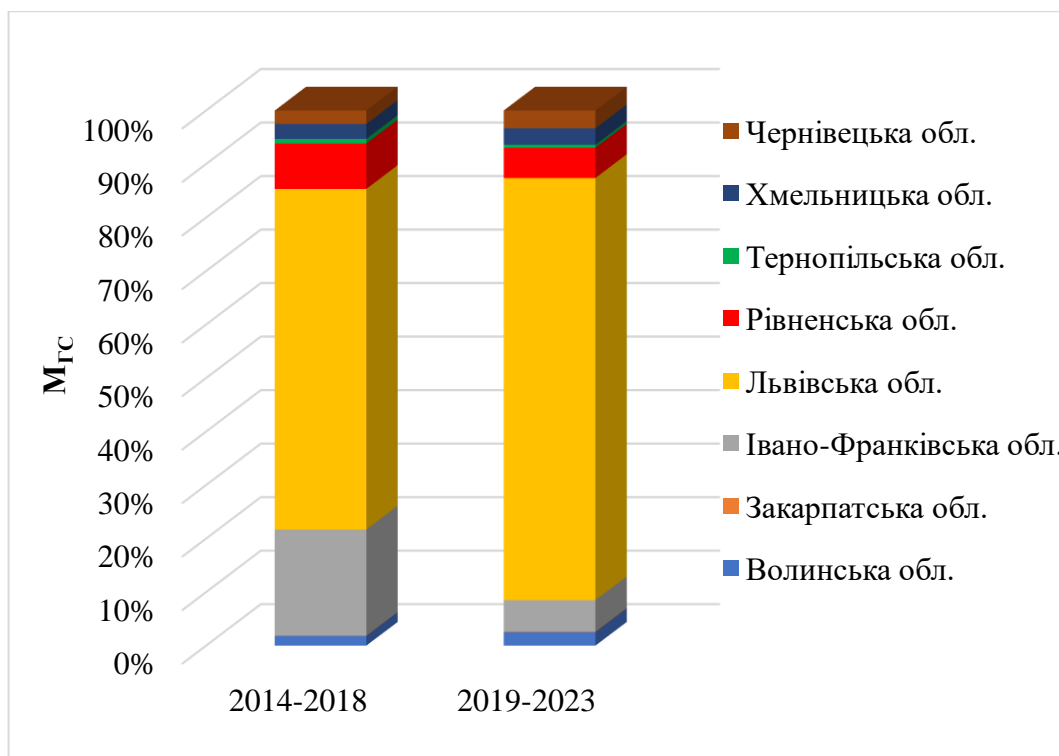
б) $M_{ГC}$

Рисунок 4.5 – Порівняльний аналіз показників поводження з відходами і $M_{ГC}$ для регіонів Західної України у 2014 – 2023 рр. (за автором)

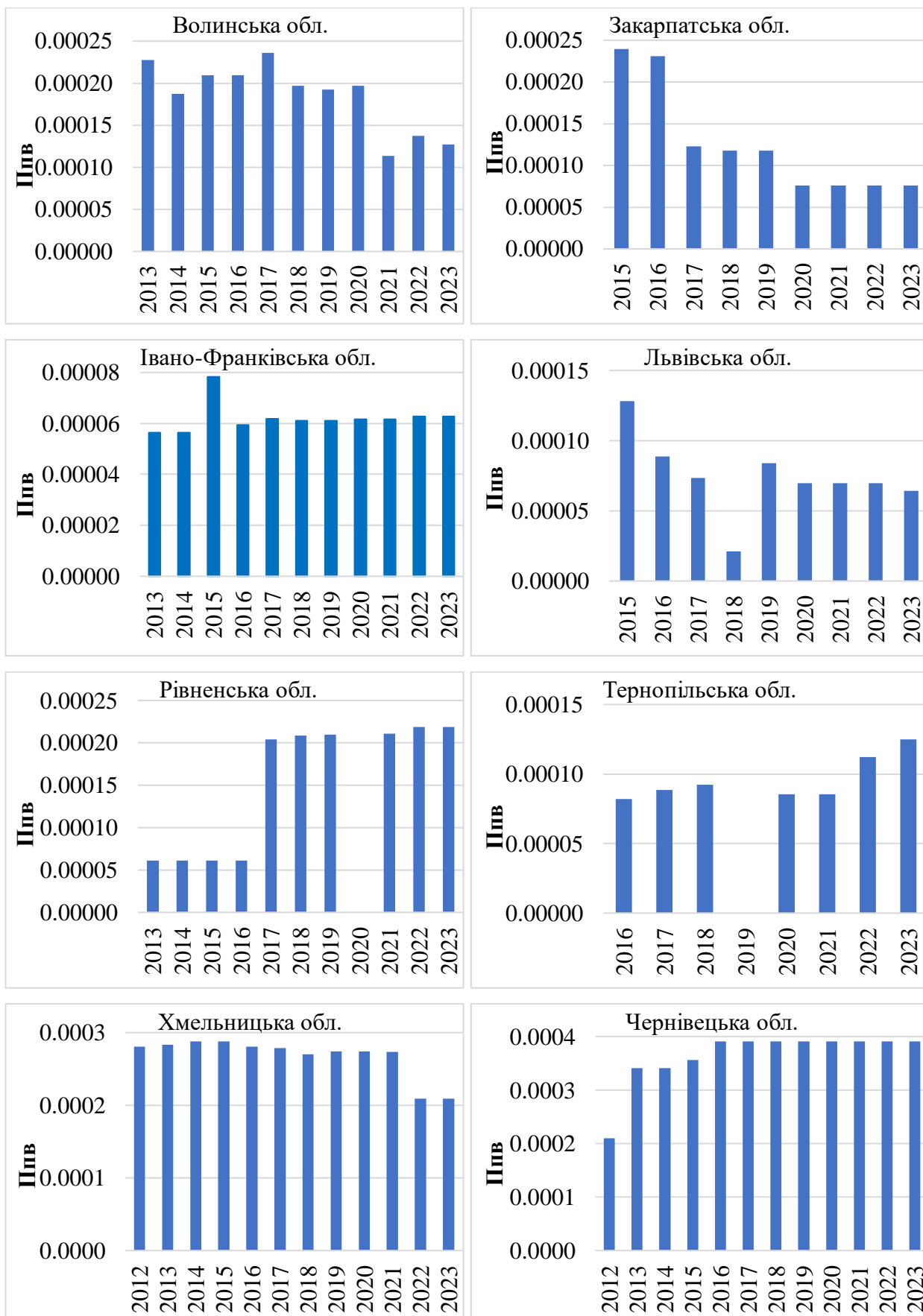
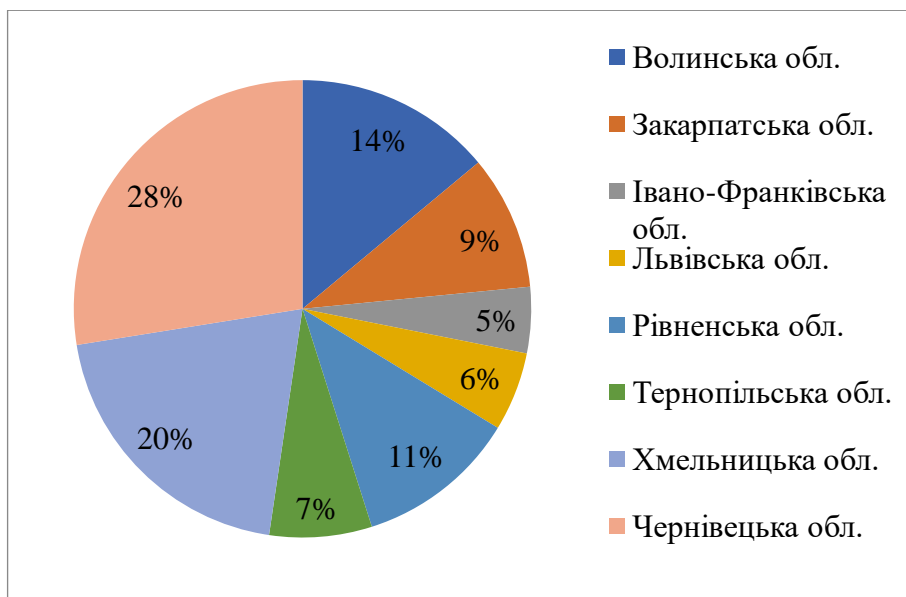
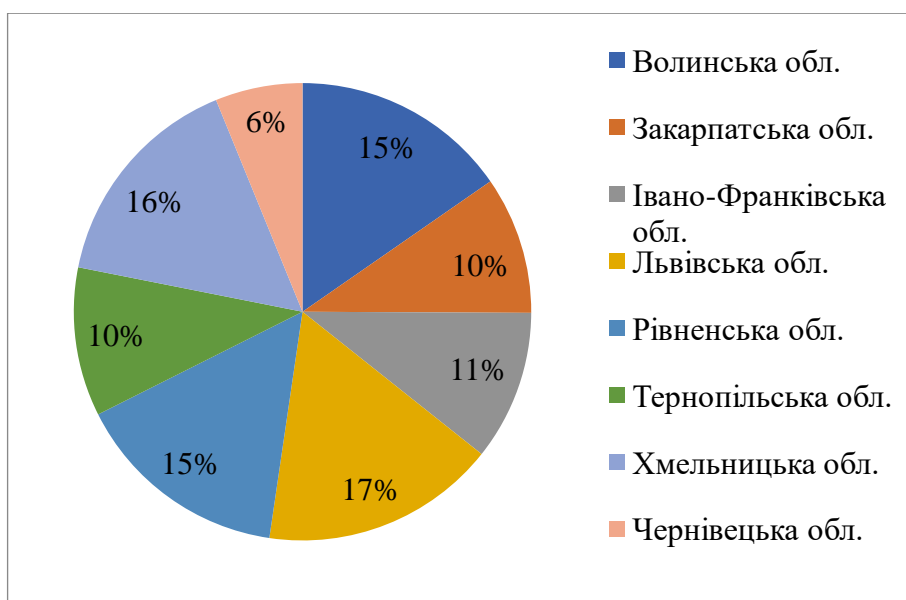


Рисунок 4.6 – Оцінка навантаження на ґрунтовий покрив за показником *Ппв* в регіонах Західної України у 2012 – 2023 рр. (за автором)

а) значення показника *Pnev*

б) площа області

Рисунок 4.7 – Порівняльний аналіз навантаження на ґрунтовий покрив за показником *Pnev* і площі областей Західної України (за автором)

Висновки до розділу 4:

У даному розділі проаналізовано джерела техногенного впливу на ґрунтовий покрив. Зазначено, що у зв'язку з воєнними діями, які тривають 4 роки в Україні, негативний вплив посилюється через надмірне надходження ЗР та утворення значної кількості відходів руйнувань в регіонах. Проаналізовані методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на ґрунтовий покрив,

які застосовуються зарубіжними та українськими вченими, визначені переваги та недоліки основних груп методів. Виконані дослідження дозволяють зробити такі висновки:

- для визначення рівня техногенного навантаження на ґрунтовий покрив застосовуються різні групи методів, які дозволяють визначати інтегральні показники забруднення, модулі техногенного навантаження, індекси екологічного стану ґрунтів, ризик для здоров'я людини внаслідок забруднення ґрунтів та ін.;
- оцінка техногенного навантаження на ґрунтовий покрив регіонів Західної України виконана із застосуванням показників утворення і накопичення відходів;
- максимальні показники утворення відходів щорічно відзначаються у Львівській області, мінімальні – у Закарпатській і в останні роки Чернівецькій областях;
- суттєве зменшення обсягів утворених відходів відзначалось у Івано-Франківській, Рівненській, Хмельницькій і Чернівецькій областях, у Закарпатській області – суттєве збільшення;
- максимальні показники накопичених відходів також відзначаються для Львівської області, мінімальні – у Закарпатській; динаміка зміни показників накопичення по окремих областям досить різнорідна;
- за значенням показника $M_{ГС}$ як за обсягами утворених, так і за обсягами накопичених відходів максимальний рівень техногенного навантаження відзначається для Львівської області, мінімальні рівні характерні для Закарпатської області;
- за сумарними показниками поводження з відходами «лідером» є Львівська область (70 % – 85 %); менші обсяги відзначались у Івано-Франківській і Рівненській областях (5 – 10 %); інші 5 областей характеризуються сумарним внеском 15 – 20 %; за значенням показника $M_{ГС}$ також максимум відзначається у Львівській області (65 % – 75 %);

- оцінка навантаження на ґрунтовий покрив за показником площі наявних полігонів виявила неоднорідність його розподілу – зменшення площ у Волинській, Закарпатській, Львівській і Хмельницькій областях і збільшення у Рівненській і Чернівецькій областях;
- отримано, що Чернівецька область характеризується високими показниками навантаження (28 %) при незначній площі території (6%); для Львівської і Івано-Франківської областей, площа яких складає сумарно 28 % території Західної України, показник *Ппв* складає 11 %;

На жаль вихідна інформація не завжди була представлена у повному обсязі для всіх областей, що могло вплинути на результати оцінки. Але вважаємо, що загальна тенденція формування техногенного впливу на ґрунтовий покрив відповідає вище викладеній.

РОЗДІЛ 5

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

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. Їх застосування детально розглянуто у попередніх розділах.

Методи комплексної оцінки застосовуються менше. Огляд літературних джерел показує, що методи комплексної оцінки зазвичай засновані на використанні стандартного набору показників (викиди ЗР, скиди, утворення відходів, показники забруднення та ін.) [102, 150, 152]. Розроблено методи щодо оцінки навантаження з урахуванням наявності об'єктів критичної транспортної інфраструктури [153], для окремих господарських об'єктів тощо [154].

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 [155]. Детальний перелік та опис методів оцінки впливу на довкілля в цілому наведено у рекомендаціях [156] і роботі [157]. Прикладом комплексної оцінки стану вод і ґрунтів є модель оцінки ґрунтів і води (SWAT), який описаний у розділі 3 [124]. На принципах комплексної оцінки також побудовані методики оцінки стану довкілля в регіонах на засадах сталого розвитку [158, 159].

Зазначимо, що оцінка техногенного навантаження на окремі складові також є важливою задачею. Але при оцінці стану для значної кількості регіонів більш доцільним є використання інтегральних або комплексних показників.

На підставі наявних вихідних даних, отриманих результатів оцінки техногенного навантаження на окремі складові довкілля нами було виконано комплексну оцінку техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України.

Така оцінка була виконана у дослідженні [160] для Львівської області. У розділі наведено загальну оцінку для регіонів Західної України. Також було розширено період, за який виконано оцінку, що дозволило скоригувати отримані раніше результати.

В якості оціночного показника було використано комплексний показник техногенного впливу на навколишнє середовище певної території K_k . Даний показник розраховується за формулою:

$$K_k = \left(\frac{M_B}{S_m} + \frac{V_3 - V_C}{S_m} + \frac{M_{ВД}}{S_m} \right) \cdot P_{Ж}, \quad (5.1)$$

де M_B – маса викиду ЗР, т/рік;

S_m – площа території області, га;

V_3 – маса води, яка забирається на потреби споживачів, м³/рік;

V_C – маса скидання стічних вод, м³/рік;

$M_{ВД}$ – маса відходів, що утворилися на даній території, т;

$P_{Ж}$ – кількість жителів, які проживають на даній території, тис. чол. [102].

Даний показник змінюється у широкому діапазоні, що дозволяє поділяти території дослідження на декілька екологічних районів за рівнем навантаження. Запропоновано такі градації екологічних районів:

- 1) $K_k < 10 \cdot 10^{-2}$;
- 2) $K_k = (10 - 100) \cdot 10^{-2}$;
- 3) $K_k = (100 - 1000) \cdot 10^{-2}$;
- 4) $K_k > 1000 \cdot 10^{-2}$ [102].

Враховуючи відсутність інформації щодо окремих оціночних параметрів по всіх регіонах за період дослідження, при розрахунках було виконано осереднення за 3 п'ятирічних періоди з 2009 по 2023 рр.

На рис. 5.1 наведено результати комплексної оцінки за значенням K_k .

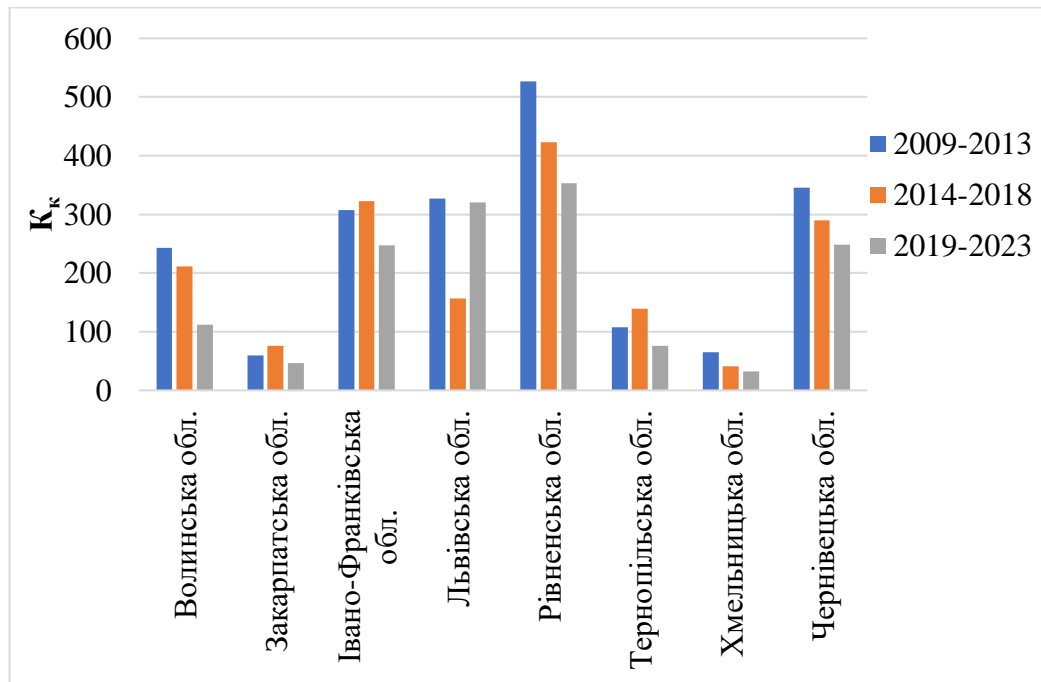


Рисунок 5.1 – Динаміка зміни показника K_k у 2009 – 2023 рр. для регіонів Західної України (за автором)

Як видно з представленого рисунку, максимальні значення навантаження відзначались у Рівненській, Львівській, Івано-Франківській і Чернівецькій областях. При цьому умовним «лідером» є Рівненська область, яка фактично за іншими показниками оцінки техногенного навантаження не входила до переліку з найгіршими показниками. Така ситуація обумовлена суттєвою різницею між показниками водозабору і скидів СВ. Такі дані свідчать про неповернення значного обсягу у вод у поверхневі водні об'єкти, накопичення дефіциту водних ресурсів і порушення водного балансу в регіоні з подальшим негативним впливом для водних об'єктів в цілому. Також можна відзначити зменшення загального рівня навантаження фактично у всіх областях, що

підтверджується раніше виконаними дослідженнями для окремих складових довкілля.

У табл. 5.1 наведено результати районування території Західної України за значенням показника K_k . Як видно, переважна більшість областей згідно з методикою відноситься до третього екологічного району з підвищеним рівнем техногенного навантаження. Менший рівень відзначається у Закарпатській і Хмельницькій областях, а також у Тернопільській області у 2019 – 2023 рр. Відзначимо також суттєві показники впливу для Чернівецької області (фактично на рівні Львівської та Івано-Франківської областей, які є за попередніми оцінками найбільш напруженими).

Таблиця 5.1 – Районування території Західної України за значенням показника K_k

Область	2009 – 2013 рр.	2014 – 2018 рр.	2019 – 2023 рр.
Волинська обл.	242.996 (третій)	211.275 (третій)	111.591 (третій)
Закарпатська обл.	59.035 (другий)	75.414 (другий)	46.662 (другий)
Івано-Франківська обл.	307.825 (третій)	322.633 (третій)	247.573 (третій)
Львівська обл.	326.782 (третій)	156.280 (третій)	320.408 (третій)
Рівненська обл.	527.105 (третій)	423.000 (третій)	353.338 (третій)
Тернопільська обл.	107.528 (третій)	138.981 (третій)	76.163 (другий)
Хмельницька обл.	65.521 (другий)	40.704 (другий)	32.719 (другий)
Чернівецька обл.	345.452 (третій)	290.057 (третій)	248.645 (третій)

Джерело: за автором.

Даний показник за фізичною суттю є в певній мірі аналогом модулів техногенного навантаження на окремі складові довкілля. Відмінністю є лише врахування населення регіонів.

Як зазначено вище, у дисертаційному дослідженні було виконано оцінку техногенного навантаження на окремі складові довкілля. Кожна методика, що була використана для оцінки, враховує показники, які відрізняються складовими та оціночними параметрами.

Аналіз отриманих у роботі результатів став основою для розробки методики визначення комплексного показника техногенного навантаження на довкілля. На підставі аналізу фізичної сутності показників, які розраховувались для оцінки впливу на окремі складові довкілля, було визначено такий перелік показників комплексної оцінки:

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

Враховуючи, що фізична сутність показників різниться, для отримання порівняних результатів був застосований принцип лінійного нормування:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}. \quad (5.2)$$

Всі отримані нормовані значення змінювались в діапазоні від 0 до 1 за умови, що мінімальний техногенний вплив характеризується нульовими значеннями. Для комплексного коефіцієнту оцінки ефективності водокористування K була застосована зворотна залежність, оскільки збільшення цього показника характеризує кращі умови водокористування регіону.

Для врахування впливу кожного з оціночних параметрів було визначено їх вагові коефіцієнти. Як зазначено у роботі [161], що для визначення вагових

коефіцієнтів застосовуються низка методів, в тому числі метод на основі використання показника варіації. Для визначення показника варіації застосовуються такі розрахункові формули:

$$W_k = \frac{V_k}{\sum_{k=1}^n V_k}, \quad (5.3)$$

$$V_k = \frac{S_k}{\bar{x}_k}, \quad (5.4)$$

$$x_k = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w x_{ik}, \quad (5.5)$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^w (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}{w - 1}}, \quad (5.6)$$

де W_k – ваговий коефіцієнт;

\bar{x}_k – середнє значення k -ого ($k = 1, 2, \dots, n$) показника;

x_{ik} – значення k -го показника для i -го об'єкту дослідження;

S_k – стандартне відхилення показника k [161].

Визначені вагові коефіцієнти кожного з оціночних показників наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вагові коефіцієнти показників комплексної оцінки

Показник	Ваговий коефіцієнт
$M_{ПБ}$	0,14
$НСВ$	0,09
K	0,07
$M_{ВО}$ за обсягами скидів СВ	0,11
$M_{ВО}$ за обсягами скидів ЗР у складі СВ	0,14
$M_{ГС}$ за показниками утворення відходів	0,11
$M_{ГС}$ за показниками накопичення відходів	0,25
$П_{не}$	0,09

Джерело: за автором.

З урахуванням визначених вагових коефіцієнтів запропоновано формулу розрахунку комплексного показника техногенного навантаження на довкілля (*КПТН*):

$$КПТН = 0,14M_{ПБ} + 0,09HCB + 0,07K + 0,11M_{BO}(CB) + 0,14M_{BO}(ЗР) + 0,11M_{ГC}(утвор) + 0,25M_{ГC}(накоп) + 0,09P_{не}, \quad (5.7)$$

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

Також для *КПТН* було запропоновано оціночну шкалу (табл. 5.3).

Таблиця 5.4 – 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

Джерело: за автором.

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.

Запропонована методика була апробована для території дослідження. На рис. 5.2 наведено результати комплексної оцінки з урахуванням внеску кожного окремого показника. Як видно, показники, які найбільш впливають на формування загального рівня навантаження, по регіонах різняться. Так, в різні роки значний вплив мають такі показники:

- $P_{не}$ – Волинська, Закарпатська, Хмельницька і Чернівецька області;

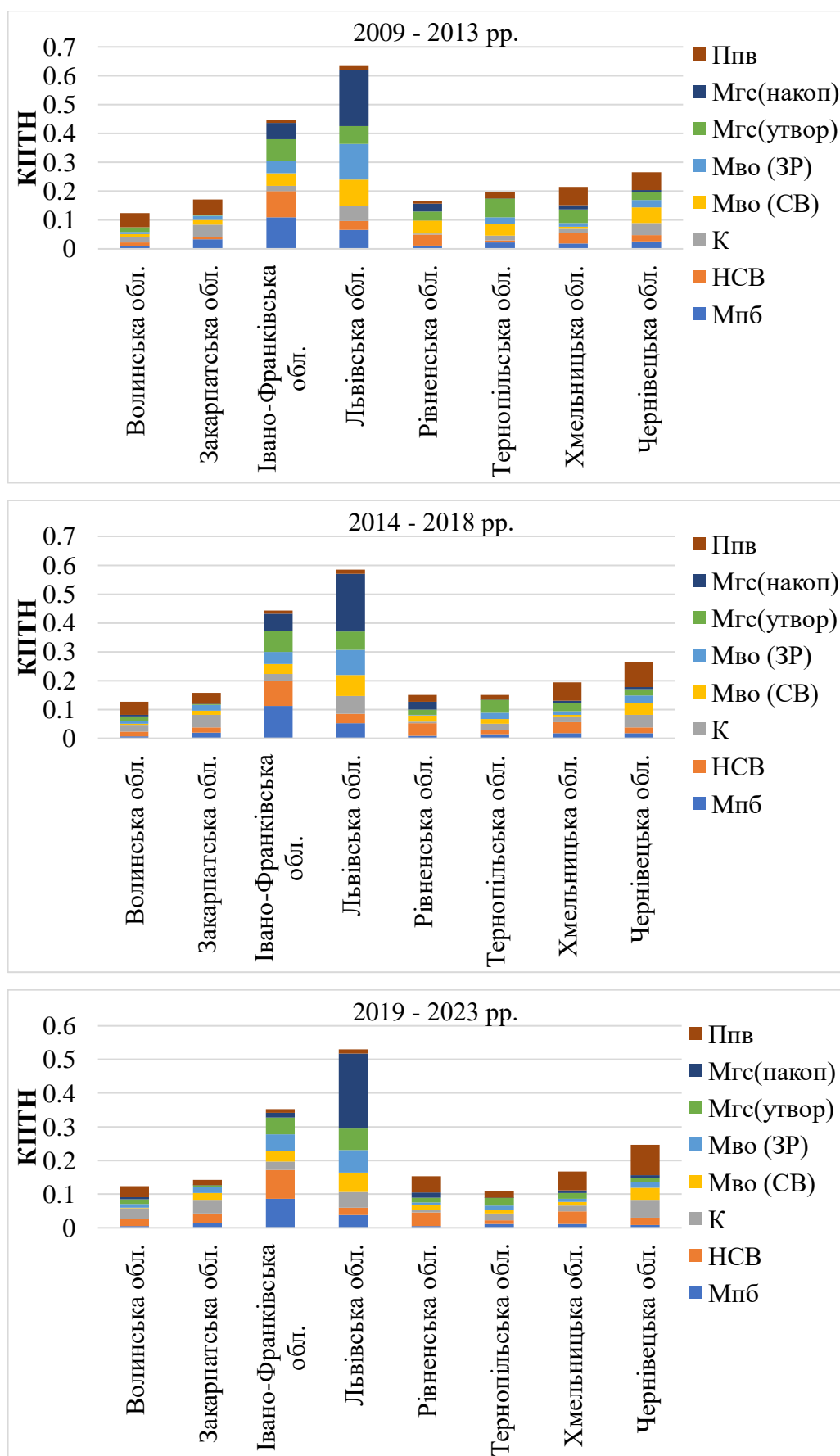


Рисунок 5.2 – Комплексна оцінка техногенного навантаження на довкілля в регіонах Західної України (за автором)

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

На рис. 5.3 наведено динаміку зміни $KПТН$ для регіонів Західної України. Як видно, 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, умов 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.

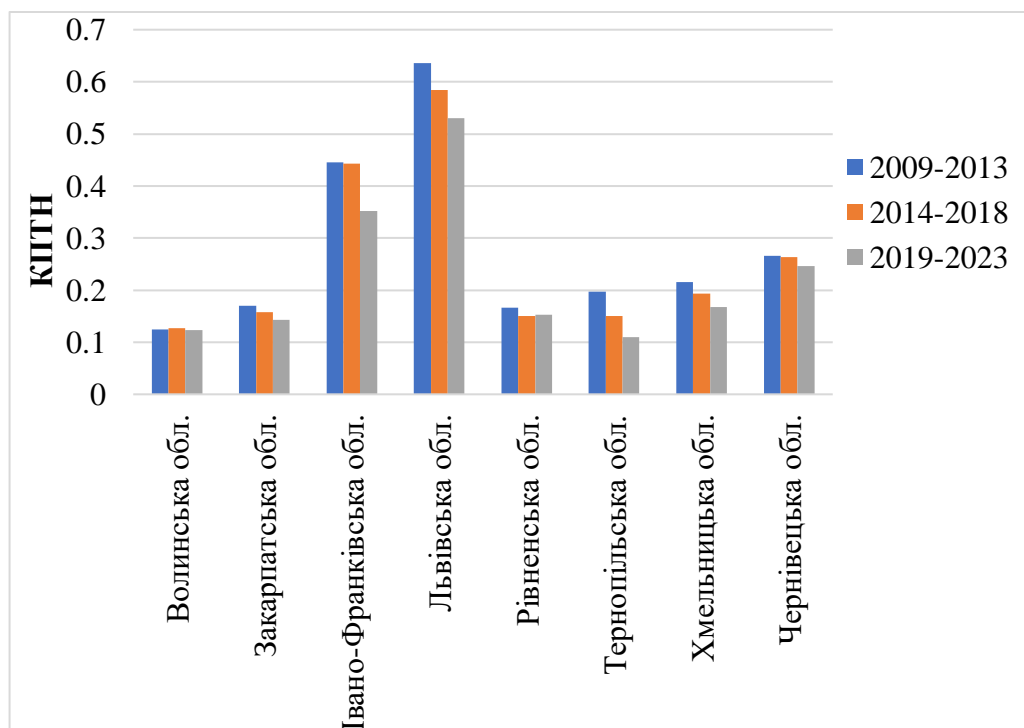


Рисунок 5.3 – Динаміка зміни $KПТН$ для регіонів Західної України у 2009 – 2023 рр. (за автором)

У табл. 5.5 представлено результати комплексної оцінки навантаження на основі класифікації табл. 5.4. Аналіз табл. 5.5 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».

Таблиця 5.5 – 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)

Джерело: за автором.

Основні результати апробації розробки методики комплексної оцінки техногенного навантаження на довкілля на основі розрахунку *КПТН* наведено у публікації [162].

Висновки до розділу 5:

У представленому розділі наведені результати комплексної оцінки техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України. Було розглянуто методику визначення комплексного показника K_k , а також запропоновано і апробовано методику розрахунку комплексного показника техногенного навантаження на довкілля *КПТН*. 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;
- за показником K_k максимальні значення навантаження відзначались у Рівненській, Львівській, Івано-Франківській і Чернівецькій областях;
- умовним «лідером» є Рівненська область, що обумовлено суттєвою різницею між показниками водозабору і скидів СВ; це свідчить про неповернення значного обсягу у вод у поверхневі водні об'єкти, накопичення дефіциту водних ресурсів і порушення водного балансу в регіоні з подальшим негативним впливом для водних об'єктів в цілому;
- результати районування території Західної України за значенням показника K_k показали, що переважна більшість областей відноситься до третього екологічного району з підвищеним рівнем техногенного навантаження; відзначено суттєві показники впливу для Чернівецької області (фактично на рівні Львівської та Івано-Франківської областей, які є за попередніми оцінками найбільш напруженими);
- запропоновано методикау визначення комплексного показника техногенного навантаження та оціночну шкалу для визначення рівня навантаження;
- 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 $K_{ПТН}$ 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 при визначенні найбільш значущих факторів, які формують рівень техногенного навантаження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено задачу розробки комплексного підходу до оцінки техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України з метою розробки ефективних стратегій управління для забезпечення сталого розвитку та екологічної стійкості цих територій. Отримані у ході проведення дослідження результати дозволяють зробити такі висновки:

1. Західна Україна є стратегічно важливим регіоном, що межує з кількома державами і має значний потенціал для розвитку промисловості, туризму та культурної сфери. Гірські масиви Карпат сприяють туристичній привабливості регіону, а такі історичні міста, як Львів, Чернівці та Івано-Франківськ, виступають культурними центрами України. Територія характеризується значними запасами водних ресурсів, представленими численними гірськими річками, які є джерелом питного водопостачання та господарського використання. В цілому комплексні дослідження стану і рівня техногенного навантаження на регіони Західної України відсутні. Проте регіон зазнає певного негативного впливу на всі складові довкілля.
2. З метою оцінки стану та рівня техногенного навантаження проаналізовано існуючі вітчизняні та зарубіжні підходи, визначено їх переваги та недоліки. Зазначено, що фактично відсутній уніфікований підхід до оцінки стану складових довкілля під впливом техногенного навантаження.
3. Максимальні показники викидів ЗР відзначались у Івано-Франківській і Львівській областях, мінімальні – у Чернівецькій. Переважними джерелами викидів у більшості областей є пересувні. Відповідно максимальні рівні навантаження на повітряний басейн відзначаються у Івано-Франківській і Львівській областях. За значенням показника *НСВ* найбільша небезпека відзначались по викидах діоксиду азоту і діоксиду

сірки. Також вміст діоксиду азоту і формальдегіду сприяли збільшенню імовірності ризику для здоров'я людини.

4. Оцінка рівня забруднення поверхневих вод може характеризувати не лише якісний стан, а й фактично свідчити про рівень впливу на певний водний об'єкт. Переважна більшість досліджень закордонних фахівців заснована на використанні окремих гідрохімічних показників. Також можуть використовуватися додаткові параметри, які характеризують умови скиду СВ і ЗР. Максимальні значення показників водозабору та скидів СВ відзначаються для Львівської і Рівненської областей, мінімальні – для Закарпатської, Волинської і в останні роки Тернопільської. За оцінкою ефективності водокористування територія Західної України розподіляється на дві групи: кращі умови відзначаються у Волинській, Івано-Франківській, Рівненській, Тернопільській і Хмельницькій областях, гірші – у Львівській і Чернівецькій. Максимальний внесок у формування рівня техногенного навантаження за обсягами скидів СВ і ЗР формує Львівська область. Для даної області також відзначено найбільшу екологічну шкоду, яка завдається водним об'єктам.
5. Відзначено посилення негативного впливу на ґрунтовий покрив внаслідок утворення значної кількості відходів руйнувань в регіонах. Перелік показників для визначення рівня техногенного навантаження на ґрунтовий покрив включає інтегральні показники забруднення, модулі техногенного навантаження, індекси екологічного стану ґрунтів, оцінки ризику для здоров'я людини внаслідок забруднення ґрунтів та ін. За значенням показника $M_{ГС}$ як за обсягами утворених, так і за обсягами накопичених відходів максимальний рівень техногенного навантаження відзначається для Львівської області, мінімальні рівні характерні для Закарпатської області. За сумарними показниками поводження з відходами «лідером» є Львівська область. Оцінка навантаження на ґрунтовий покрив за показником площі наявних полігонів показала, що Чернівецька область характеризується високими показниками

навантаження (28 %) при незначній площі території (6%); для Львівської і Івано-Франківської областей, площа яких складає сумарно 28 % території Західної України, показник навантаження складає 11 %.

6. В Україні переважна більшість наукових досліджень щодо оцінки техногенного впливу виконується із застосуванням методів оцінки на окремі складові довкілля. Максимальні значення навантаження за показником K_k відзначались у Рівненській, Львівській, Івано-Франківській і Чернівецькій областях. Результати районування території Західної України за значенням показника K_k показали, що переважна більшість областей відноситься до третього екологічного району з підвищеним рівнем техногенного навантаження.
7. Розроблено методику визначення комплексного показника техногенного навантаження та відповідну оціночну шкалу для визначення рівня навантаження. Найбільш значними серед різних видів впливу є показники накопичення відходів в регіонах, викиди ЗР у повітряний басейн, обсяги скидів ЗР зі зворотними водами. Максимальні значення $K_{ПТН}$ відзначаються 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 – як середній, у Львівській – як підвищений.

Аналіз отриманих результатів дозволяє надати деякі рекомендації:

- необхідність розробки комплексу заходів щодо зменшення рівня техногенного навантаження на складові довкілля у найбільш техногенно напружених регіонах – Львівській та Івано-Франківській областях;
- особливої уваги потребує Чернівецька область, яка при незначній площі характеризується значними показниками впливу;
- необхідність затвердження на державному рівні комплексної методики оцінки техногенного навантаження (визначення показника техногенного навантаження) на довкілля з урахуванням попереднього досвіду.

Застосування *КПТН* дозволяє інтегрувати дані щодо якості та стану повітря, водних ресурсів, ґрунтового покриву і оцінити загальний рівень техногенного впливу на довкілля.

Запропонована методика може бути рекомендована до впровадження у практичну діяльність державних природоохоронних органів при аналізі стану довкілля в регіонах, визначенні найбільш значущих факторів, які сприяють формуванню високого рівня техногенного навантаження.

Виявлені регіональні особливості та тенденції динаміки техногенного навантаження дозволяють планувати ефективні заходи щодо зниження впливу на довкілля та збереження екологічної безпеки. Надалі доцільно продовжувати систематичний моніторинг і удосконалювати методики комплексної оцінки для врахування сучасних соціально-економічних та воєнних чинників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новинарня. URL: <https://novynarnia.com/2017/12/16/v-uz-poyasnilichomu-ne-vidmovlyatsya-vid-nazvi-pivdenno-zahidna-zaloznitsya-yaka-ye-spadshhinoyu-rosiyskoyi-imperiyi/> (дата звернення: 10.04.2025).
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2023 рік. Луцьк, 2024. 203 с.
3. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2023 році. Рівне, 2024. 230 с.
4. Щорічна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області в 2023 році. Львів, 2024. 268 с.
5. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Тернопільській області у 2023 році. Тернопіль, 2024. 306 с.
6. Стан навколишнього природного середовища Хмельницької області у 2023 році. Хмельницький, 2024. 233 с.
7. Доповідь про стан навколишнього природного середовища Закарпатської області за 2023 рік. Ужгород, 2024. 148 с.
8. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2023 році. Івано-Франківськ, 2024. 134 с.
9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Чернівецькій області за 2023 рік. Чернівці, 2024. 219 с.
10. Іванюта С. Економічні загрози національній безпеці України в умовах глобальних трансформацій. Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень, 2019. 16 с. URL: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2019-03/111Eco-Threats-Ivaniuta-2019-3040a.pdf> (дата звернення: 05.11.2024).
11. Чвалюк Г., Грубінко В., Гуменюк Г., Мацюк О. Як війна знищує екологію України. *Наукові записки ТНПУ імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2022. Т. 82, № 4. С. 49 – 64.

12. Карнаушенко Д., Вакал Ю. Зміна гематологічних показників крові під впливом техногенного забруднення (огляд проблеми). *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. 2024. № 1 – 2. С. 52 – 64.
13. Дем'янчук П., Царик Л., Вітенко І. Еколого-географічна ситуація / Географія Тернопільської області: монографія: в 2 т. Т. 1. Природні умови та ресурси. 2-е вид., перероблене і доповнене. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка: Осадца Ю.В., 2020. С. 461 – 479.
14. Теслович М.В., Кричевська Д.А. Історичні та геопросторові аспекти формування екомережі Закарпатської області. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип. 55. С. 299 – 317.
15. Теслович М. Екологічна мережа Закарпатської області: територіальна структура, функціонування, оптимізація. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю» галузі знань 10 Природничі науки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2024.
16. Смадич І.П. Обґрунтування вимог розвитку рекреації гірських районів Івано-Франківської області в контексті екологічної безпеки. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. № 1. С. 120 – 129.
17. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 17.07.2025).
18. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2021 році. Київ, 2022. 40 с.
19. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2022 році. Київ, 2023. 37 с.

20. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2023 році. Київ, 2024. 41 с.
21. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2024 році. Київ, 2025. 58 с.
22. Кузик А.Д., Думас І.З., Олійник О.Т. Забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом на в'їздах до м. Львова. *Вісник ЛДУБЖД*. 2024. № 29. С. 12 – 23.
23. Петровська М., Морквич В. Аналіз впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря перехресть вулиць Львова монооксидом карбону. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. Вип. 47. С. 217 – 223.
24. Согор А.Р., Зазуляк П.М., Квока Р.І. Веб-картографування якості життя населення м. Львів за показником екологічного забруднення атмосферного повітря. *Молодий вчений*. 2020. № 10 (86). С. 191 – 197.
25. Стецько Н. Транспортне техногенне навантаження на повітряне середовище в Тернопільській області. *Вісник Тернопільського відділу Українського географічного товариства*. 2019. № 3. С. 31 – 40.
26. Серкіз А.С. Наукові засади оцінювання автотранспортного навантаження на урбосистему м. Тернополя та оптимізація атмоєкологічного стану. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю» галузі знань 10 Природничі науки. Тернопіль: ТНПУ імені Володимира Гнатюка, 2025. 219 с.
27. Химинець В. Проблематика охорони атмосферного повітря в Закарпатській області: еколого-економічні виклики та загрози. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2018. № 3 – 4 (22 – 23). С. 115 – 119.

28. Проскурович О.В., Мішина І.О. Прогнозування забруднення атмосферного повітря Хмельницької області. *Вісник ХНУ. Економічні науки*. 2016. № 4, Т. 2. С. 216 – 218.
29. Варжель О. Методика оцінки впливу показників якості довкілля на поширеність хвороб населення районів Рівненської області. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2022. № 4. С. 19 – 26.
30. Триснюк В., Шумейко В., Триснюк Т., Курило А., Голован Ю., Мирончук В. Екологічна безпека Карпатського регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Т. 1, № 59. С. 127 – 131.
31. Мирончук К.В., Курницька М.П. Пилозахисна функція живоplotів на прикладі урбоекосистем Чернівецької області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 4. С. 48 – 53.
32. Регіональний офіс водних ресурсів у Волинській області. URL: <https://vodres.gov.ua/ckfinder/userfiles/files/2024.pdf> (дата звернення: 17.07.2025).
33. Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. URL: <https://www.ecorivne.gov.ua/news/?p=3&sid=1034> (дата звернення: 17.07.2025).
34. Регіональний офіс водних ресурсів у Тернопільській області. URL: <https://rovrt0.davr.gov.ua/> (дата звернення: 17.07.2025).
35. Регіональний офіс водних ресурсів у Хмельницькій області. URL: <https://rovrkhm.gov.ua/> (дата звернення: 17.07.2025).
36. Басейнове управління водних ресурсів річки Тиса. URL: https://buvrtysa.gov.ua/newsite/?page_id=17003 (дата звернення: 17.07.2025).
37. Географічне розташування та природні умови Прикарпаття. URL: <https://lib.if.ua/exhib/1534076504.html> (дата звернення: 17.07.2025).
38. Басейнове управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну. URL: <https://buvrzbts.gov.ua/> (дата звернення: 17.07.2025).

39. Буковий край. URL: <https://buk2016.wordpress.com/2020/05/06/> (дата звернення: 17.07.2025).
40. Фесюк В., Бедункова О., Нетробчук І., Боярин М. Аналіз сучасного стану водокористування у басейні Прип'яті Волинської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 1. С. 47 – 55.
41. Нетробчук І.М., Оласюк І.Ю. Оцінка антропогенного навантаження на долину річки Прип'ять у Волинській області. *Науковий огляд*. 2020. № 8 (71). С. 15 – 33.
42. Мисковець І.Я., Андросчук І.В. Річкова долина Прип'яті Волинського Полісся: сучасний стан та антропогенні зміни. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 294 – 302.
43. Боярин М. Екологічна оцінка якості масивів поверхневих вод басейну верхів'я річки Прип'ять. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2014. Вип. 2. С. 19 – 23.
44. Мельнійчук М.М., Горбач В.В., Горбач Л.М. Особливості використання водних ресурсів Волинської області та їх екологічний стан у сучасних умовах. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип. 54. С. 306 – 315.
45. Яцик А.В., Яцик І.А., Гопчак І.В., Басюк Т.О. Оцінка стану водних екосистем Волинської області за рівнем антропогенного навантаження. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 10 (799). С. 77 – 82.
46. Копилов В., Попович В. Вміст важких металів у воді та едафотопак берегової зони ріки Стир. *Вісник ЛДУБЖД*. 2024. № 29. С. 5 – 11.
47. Хільчевський В.К., Лета В.В. Комплексна оцінка якості води р. Чорна Тиса. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 3 (42). С. 50 – 56.
48. Хільчевський В.К., Лета В.В. Оцінка якості води річки Біла Тиса. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 4 (47). С. 57 – 66.

49. Лета В.В., Микита М.М., Салюк М.Р., Фекета І.Ю., Мельничук В.П. Водокористування у басейні річки Латориця: стан та оптимізація. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 1 (63). С. 30 – 39.
50. Микита Х.І., Рогач І.М. Моніторинг стану забруднення водогінної мережі м. Ужгорода і населених пунктів Закарпатської області в динаміці протягом 2018-2022 років. *Гігієна населених місць*. 2023. Вип. 73. С. 48 – 58.
51. Arkhyrova L.M., Korchemlyuk M.V., Mandryk O.M., Omelchenko V.G., Stakhmych Y.S. Spatial Distribution Patterns of the Hydro-Ecosystems' Quality Indicators in the Ukrainian Carpathians. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2021. Vol. 4, Issue 1. P. 80 – 93.
52. Давидюк Г.В., Шкарівська Л.І., Клименко І.І., Довбаш Н.І., Дем'янюк О.С. Еколого-агрохімічна оцінка стану агроландшафтів Івано-Франківської області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 81 – 90.
53. Бойчук Б.Я., Кузик А.Д., Сиса Л.В. Екологічна оцінка якості води у верхній течії річки Прут. *Вісник ЛДУБЖД*. 2019. № 19. С. 108 – 114.
54. Ошуркевич-Панківська О.Є., Панківський Ю.І., Вишиваний О.А. Оцінювання якості поверхневих вод річок Львівщини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.3. С. 94 – 101.
55. Монастирська С.С., Гойванович Н.К., Климишин О.С. Гідробіологічний аналіз стану вод р. Стрий в межах Карпатського передгір'я. *Екологічні науки*. 2022. № 5 (44). С. 77 – 82.
56. Шибанова А.М., Погребенник В.Д., Мітрясова О.П., Руда М.В., Джумеля Е.А., Паславський М.М. Екологічне оцінювання якості води річки Дністер. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021, т. 31, № 5. С. 74–78.
57. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Гідрологічні чинники та їхня роль у розвитку відновлювальної енергетики у Львівській області. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 105 – 113.

58. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А., Вижва А.М., Циганок Л.В. Оцінка впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області. *Екологічні науки*. 2024. № 2 (53). С. 123 – 133.
59. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А., Циганок Л.В. Суспільні (соціально-економічні) чинники розвитку відновлювальної енергетики у Львівській області. *Науковий вісник ХДУ. Серія: Географічні науки*. 2024. № 20. С. 36 – 45.
60. Толочик І.Л. Екологічний стан р. Стир в умовах антропогенного навантаження у межах Рівненської області. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. Рівне: Рівненський державний гуманітарний університет, Інститут екології Карпат НАН України, 2018. 228 с.
61. Полянський С.В., Скаржинець К.В. Географічна оцінка сучасного стану басейну р. Іква (Рівненська область). *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2018. № 15. С. 48 – 53.
62. Бедункова О.О. Диференційована оцінка якості поверхневих вод річок Рівненської області. *Екологічні науки*. 2016. № 1/2 (14 – 15). С. 25 – 40.
63. Давидюк Г.В., Шкарівська Л.І., Клименко І.І., Довбаш Н.І., Кушук М.А., Гірник В.В. Вплив антропогенного навантаження на екологічний стан сільських населених пунктів Рівненської та Тернопільської обл. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. № 2. С. 50 – 62.
64. Стецько Н. Оцінка екологічного стану поверхневих водних ресурсів Тернопільської області. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/16449/1/Stetsko_konf.pdf (дата звернення: 22.07.2025).
65. Чеболда І.Ю. Дослідження регіонального водогосподарського комплексу Тернопільської області. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/29170/1/Chebolda.pdf> (дата звернення: 22.07.2025).

66. Царик Л.П., Кузик І.Р., Янковська Л.В. Водні об'єкти міста Тернопіль: гідрографія, екологічний стан та водопостачання. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2022. Вип. 37. С. 22 – 36.
67. Скиба О.І., Білик Я.О., Ярема О.М., Федонюк Л.Я. Екологічне здоров'я водойм Тернопільської області. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2023. № 2 (96). С. 34 – 42.
68. Говорун В.Д., Тимощук О.О. Річки Хмельниччини. Навчальний посібник. Видання друге. Хмельницький: Поліграфіст, 2010. 240 с.
69. Гідроекологічний стан басейну Горині в районі Хмельницької АЕС / За ред. Хільчевського В.К. Київ: Ніка-Центр, 2011. 176 с.
70. Давидюк Г.В., Шкарівська Л.І., Клименко І.І., Довбаш Н.І., Кущук М.А., Гірник В.В. Вплив антропогенної діяльності людини на компоненти довкілля в сільському населеному пункті Хмельницької обл. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2022. Вип. 4 (6). С. 31 – 38.
71. Шевчук Ю.Ф. Аналіз водних ресурсів Чернівецької області та оцінка їх якості: монографія. Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2019. 144 с.
72. Кирилюк О.В., Кирилюк С.М. Геогідроморфологічне обґрунтування методики оцінки стану басейнових систем малих річок (на прикладі річок Гукова, Дерелую та Виженки): монографія. Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2023. 256 с.
73. Давидюк Г.В., Шкарівська Л.І., Клименко І.І., Довбаш Н.І., Кущук М.А. Вплив антропогенного навантаження на екологічний стан поверхневих вод в агроландшафтах західного регіону України. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 2 (839). С. 53 – 59.
74. Закон України «Про управління відходами». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 26.07.2025).

75. Регіональний план управління відходами у Волинській області до 2030 року. URL: <https://voladm.gov.ua/admin-assets/files/file/Ekologiya.pdf> (дата звернення: 27.07.2025).
76. Регіональний план управління відходами Закарпатської області до 2030 року. URL: <https://ecozakarp.at.gov.ua/wp-content/uploads/2022/01/2021-12-20B9.pdf> (дата звернення: 27.07.2025).
77. Станкевич-Волосянчук О. Проблемні питання регіональної політики у сфері управління відходами у Закарпатській області: причини, прогнози, рекомендації. Ужгород, 2022. 38 с.
78. Семененко І.С., Супруненко О.В., Семененко В.І. Проблема побутових відходів у гірських районах Закарпаття та напрями її вирішення. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 14. С. 632 – 637.
79. Уткіна К.Б. Впровадження комплексного управління відходами в Україні: сучасний стан та перспективи. *Екологічна безпека*. 2023. № 2 (16). С. 23 – 27.
80. Мельниченко Г.М., Миленька М.М., Різничук Н.І., Цап'юк Л.М. Структура утворення та стан поводження з відходами в Івано-Франківській області (інформаційно-аналітичний огляд). *Екологічні науки*. 2020. Вип. 2 (29). Т. 1. С. 170 – 174.
81. Енергетичний потенціал ТПВ в Івано-Франківській області: презентація результатів. URL: <https://nung.edu.ua/node/2125> (дата звернення: 27.07.2025).
82. Орфанова М.М., Іваник О.І. Удосконалення системи поводження з твердими побутовими відходами в місті Івано-Франківськ. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2016. № 3 – 4 (26). С. 126 – 131.
83. Розпорядження Івано-Франківської ОДА «Про утворення робочої групи із розроблення Регіонального плану управління відходами в Івано-Франківській області до 2030 року». URL: <https://www.if.gov.ua/npras/pro-utvorennia-robochoi-hrupy-iz-rozroblennia-rehionalnoho-planu-upravlinnia->

- vidkhodamy-v-ivano-frankivskii-oblasti-do-2030-roku (дата звернення: 27.07.2025).
84. Крупка Н.О., Лотоцька-Дудик У.Б. Проблема утворення, обробки та утилізації відходів у Львівській області. *Environment & Health*. 2015. № 1. С. 62 – 67.
85. Мазур Т.М., Король Є.І. Формування містобудівної інфраструктури утилізації відходів життєдіяльності (на прикладі міста Львова та Львівської області). 2015. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/may/16687/16121-127.pdf> (дата звернення: 28.07.2025).
86. Лозинський В.А. Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019. 181 с.
87. Регіональний план управління відходами Рівненської області на період до 2030 року. URL: https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/RPUV_Rivne_3%20rozdili.pdf (дата звернення: 28.07.2025).
88. Станкевич В.В., Брезицька Д.М., Гущук І.В., Гільман А.Ю., Кулеша Н.П., Сафонов Р.В., Хоронжевська І.С. Гігієнічна оцінка стану поводження з відходами у Рівненській області у 2012-2018 роках. *Environment & Health*. 2020. № 2. С. 59 – 63.
89. Регіональний план управління відходами Тернопільської області на період до 2030 року. URL: https://ecology.te.gov.ua/media/documents/regionalnij-plan-upr/2022/11_LwHOEQQt.pdf (дата звернення: 28.07.2025).
90. Галаган О.К., Дух О.І., Ковалевич О.В. Поводження з відходами у місті Кременці (Тернопільська область). *Екологічні науки*. 2020. Вип. 6 (33). С. 133 – 137.
91. Янковська Л., Новицька С. Проблеми та перспективи поводження з твердими побутовими відходами в Тернопільській області. *Наукові*

- записки ТНПУ імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. 2020. № 48 (1). С. 156 – 162.
92. Регіональний план управління відходами у Хмельницькій області до 2030 року. Проект фінального варіанту. URL: <https://km-oblrada.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/regionalnyj-plan.pdf> (дата звернення: 28.07.2025).
93. Орфанова М.М. Проблема управління та поводження з відходами у Карпатському регіоні. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. Вип. 31. С. 129 – 137.
94. Air Quality Index (AQI) Basics. URL: <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics> (дата звернення: 03.08.2025).
95. George F., Joshi P., Dey S., Mall R.K., Ghosh S. A framework for city-specific air quality health index: a comparative assessment of Delhi and Varanasi, India. *Environmental Research Letters*. 2025. N 20.
96. Fortuna F., Naccarato A., Terzi S. Functional association measures among air quality index components. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2025. N 39 (7). P. 3173 – 3186.
97. European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/en> (дата звернення: 05.08.2025).
98. ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook 2023: technical guidance to prepare national emission inventories. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. 752 p.
99. Bălănică C.M.D., Cuzmin C., Șerban C., Munteniță C. The impact of road transport emissions on air quality in Brăila, Romania. *Present Environment and Sustainable Development*. 2021. Vol. 15, Issue 2. P. 1 – 14.
100. Paunu V.-V., Karvosenoja N., Segersson D., López-Aparicio S., Nielsen O.-K., Plejdrup M.S., Thorsteinsson T., Vo D.T., Kuenen J., Denier van der Gon H., Jalkanen J.-P., Brandt J., Geels C. Air pollution emission inventory using national high-resolution spatial parameters for the Nordic countries. *Earth System Science Data*. 2023.

101. Paunu V.-V., Karvosenoja N., Segersson D., López-Aparicio S., Nielsen O.-K., Plejdrup M. S., Thorsteinsson T., Vo D. T., Kuenen J., Denier van der Gon H., Jalkanen J.-P., Brandt J., Geels C. Air pollution emission inventory using national high-resolution spatial parameters for the Nordic countries and analysis of PM_{2.5} spatial distribution for road transport and machinery and off-road sectors. *Earth System Science Data*. 2024. Vol. 16, issue 3. P. 1453 – 1474.
102. Чугай А.В., Сафранов Т.А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля. Навчальний посібник. Одеса: Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с.
103. Недострелов М.В., Чугай А.В. Методичні підходи щодо оцінки якості атмосферного повітря. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів»*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2023. С. 12 – 14.
104. Chugai A., Nedostrelov M., Bratov K. Condition and quality of the air of the Chernivtsi region. *Environmental problems*. 2023. Vol. 8, Num. 3. P. 133 – 141.
105. Хлобистов Є.В., Жарова Л.В., Кобзар О.М. Екологічна безпека стратегічного потенціалу динаміки розвитку продуктивних сил регіонів України. *Механізм регулювання економіки*. 2008. № 3. Т. 2. С. 206 – 214.
106. Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія. Київ: Манускрипт, 1998. 348 с.
107. Чугай А.В. Науково-методологічні засади комплексної оцінки техногенного навантаження на поліфункціональні території (на прикладі Північно-Західного Причорномор'я): дис. на здобуття наукового ступеня д-ра т. наук: 21.06.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ. 2020. 368 с.
108. Чугай А.В., Недострелов М.В., Сотніченко О.В. Оцінка техногенного впливу на складові довкілля регіонів Західної України / *Екологія*.

- Довкілля. Енергозбереження – 2024: колективна монографія / Під ред. Ілляш О.Е. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка», 2024. С. 74 – 86.
109. Недострелов М. Джерела техногенного впливу на повітряний басейн окремих регіонів Західної України. *IV міжнародний науковий симпозиум в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»)*. Збірник матеріалів. Київ: Яроченко Я.В., 2024. С. 36 – 39.
110. Недострелов М.В., Чугай А.В. Оцінка техногенного навантаження на повітряний басейн окремих областей Західної України у довоєнний період. *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців*. Одеса: ОДЕКУ, 2024. С. 165 – 167.
111. Чугай А.В., Недострелов М.В. Характеристика техногенного впливу на повітряний басейн регіонів Західної України. *Збірник матеріалів 8 Міжнародного конгресу «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. Київ: ГО «МНГ», 2024. С. 83.
112. Chugai A., Nedostrelov M., Lutek W. Assessment of technogenic load on the air basin of the Western Ukraine Regions. *Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, Number 2. P. 104 – 109.
113. Горський А. Оцінка техногенного впливу стаціонарних джерел забруднення на стан повітряного басейну Київської агломерації. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2021. Вип. 9. С. 72 – 79.
114. Integrated Risk Information System (IRIS). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). URL: <http://www.epa.gov/iris> (дата звернення: 15.04.2024).
115. Мовчан Я.І., Рибалова О.В., Гулевець Д.В. Оцінка екологічного ризику погіршення сучасного стану урбанізованих територій. *Східно-*

Європейський журнал передових технологій. 2013. Т. 3, № 11 (63). С. 37 – 41.

116. Поддашкін О.В., Рибалова О.В. Комплексна оцінка якісного стану ґрунтів Харківської області. *Збірник наукових праць XV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія і здоров'я людини, охорона водного і повітряного басейнів, утилізація відходів»*. Харків, 2007. Т. 1. С. 309 – 322.
117. Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Затверджено Наказом МОЗ України від 13.04.07 р. № 184. Київ, 2007. 40 с.
118. Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2023. No 22 (2). P. 349 – 395.
119. Horton R.K. An index-number system for rating water quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation*. 1965. No. 37. P. 292 – 315.
120. Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., Tozer R.G. A water quality index – do we dare. *Water and Sewage Works*. 1970. No 117. P. 339 – 343.
121. Steinhart C.E., Shcierow L.J., Sonzogni W.C. Environmental quality index for the Great Lakes. *Water Resources Bulletin*. 1982. No 18. P. 1025 – 1031.
122. Fernandez P.N., Fernandez E.G. Thermodynamic reformulation of water quality indices: a Gibbs free energy approach for Philippine coastal waters. *Research Square*. 2025. URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-6634937/v1> (дата звернення: 02.01.2026).
123. Ajtai I., Anton A., Roba C., Baciu C., Botezan C., Piştea I., Oprea M. Wastewater impact on surface water quality and suitability of water reuse in agriculture using a comprehensive methodology based on PCA and specific indices. *Water*. 2025. No 13 (13).
124. SWAT. Soil & Water Assessment Tool. URL: <https://swat.tamu.edu/> (дата звернення: 07.09.2025).

125. Soil and Water Assessment Tool (SWAT). URL: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1111246/> (дата звернення: 07.09.2025).
126. Xiang Z., Moriasi D.N., Samimi M., Mirchi A., Taghvaeian S., Steiner J.L., Verser J.A., Starks P.J. SWAT-IRR: A new irrigation algorithm for Soil and Water Assessment Tool to facilitate water management and conservation in irrigated regions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025.
127. Al Khoury I., Boithias L., Labat D. A review of the application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) in karst watersheds. *Water*. 2023. No 15.
128. Poikane S., Ritterbusch D., Argillier C., Białokoz W., Blabolil P., Breine J., Jaarsma N.G., Krause T., Kubečka J., Lauridsen T.L., Nõges P., Peirson G., Virbickas T. Response of fish communities to multiple pressures: Development of a total anthropogenic pressure intensity index. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 586. P. 502 – 511.
129. Medeu A.R., Alimkulov S.K., Tursunova A.A., Myrzakhmetov A.B., Saparova A.A., Baspakova G.R., Kulebayev K.M. Anthropogenic load on water resources of Kazakhstan. *EurAsian Journal of BioScience*. 2020. No 14. P. 301 – 307.
130. Cesonien L., Šileikiene D., Marozas V., Citeik L. Influence of Anthropogenic Loads on Surface Water Status: A Case Study in Lithuania. *Sustainability*. 2021. No 13.
131. Радевич Т.В., Ночовна Ю.О., Самбурська Н.І. Моделювання інтегрального показника загального рівня екологічної безпеки підприємства. *Економічний аналіз*. 2017. Т. 27. № 2. С. 182 – 191.
132. Недострелов М.В., Чугай А.В. Техногенне навантаження на водні об'єкти регіонів Західної України. *Вісник КрНУ імені М. Осроградського*. 2025. Вип. 6 (155). С. 98 – 106.
133. Чугай А.В., Недострелов М.В., Сотніченко О.В. Оцінка техногенного навантаження на водні об'єкти регіонів Західної України у довоєнний період. *Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної*

- конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження». Полтава: НУ «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», 2023. С. 127 – 129.
134. Чугай А.В., Братов К.О., Недострелов М.В. Оцінка техногенного впливу на поверхневі води Чернівецької області. *Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса: Олді+, 2024. С. 208 – 211.
135. Недострелов М., Чугай А. Оцінка показників водокористування окремих регіонів Західної України. *Сталий розвиток басейнових екосистем: регіональний контекст: Матеріали науково-практичної конференції*. Луцьк: Вежа-Друк, 2025. С. 21 – 23.
136. Недострелов М.В., Чугай А.В. Оцінка екологічної шкоди водним об'єктам регіонів Західної України. *Сталий розвиток – стан та перспективи. V Міжнародний науковий симпозіум: зб. матер.* Львів: «Камула», 2026. С. 111 – 114.
137. Human Health Risk Assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment#tab-2> (дата звернення: 26.10.2025).
138. Zhang S., Han Y., Peng J., Chen Y., Zhan L., Li J. Human health risk assessment for contaminated sites: A retrospective review. *Environment International*. 2023. No 171 (3).
139. Lupu R., Cocârță D.-M. Human health risk assessment and geospatial analysis for safe restoration of polluted sites. *Proceedings of the 2nd International Conference on Environment and Sustainable Development*. 2025. No 2 (1).
140. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. *Veraenderungen seit 1971 – Umschau* 79. 1979. No 24. P. 778 – 783.
141. Li Z., Ma Z., van der Kuijp T.J., Yuan Z., Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of The Total Environment*. 2014. No 468 – 469. P. 843 – 853.

142. Shi J., Zhao D., Ren F., Huang L. Spatiotemporal variation of soil heavy metals in China: The pollution status and risk assessment. *Science of The Total Environment*. 2023. No 871.
143. Dollani A., Skura E., Sallaku F., Shkurta E., Lika E., Bytyçi P., Shallari S., Fetoshi O., Đurin B., Rathnayake U., Shala-Abazi A., Thakur R.R., Nandi D., Beuria, R. Integrated evaluation of soil pollution and plant bioaccumulation using multimetric indices: A case study from the Rehova Copper Mine, Albania. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. 2025. No 20 (8). P. 1729 – 1744.
144. Al-Dahar R.K., Rabee A.M., Mohammed R.J. Calculation of soil pollution indices with elements in residential areas of Baghdad City. *Revis Bionatura*. 2023. No 8 (1). P. 43 – 50.
145. Fitriannah L., Fadilah S.N. Cadmium Pollution in Soil of Rice Fields Around Lapindo Mud Using the Geoaccumulation Index (I-Geo). *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*. 2025. No 9 (3). P. 1746 – 1751.
146. Safranov T., Nikipelova O., Shelinhovskyi D. Assessment of heavy metal pollution levels in soils of specific areas of the Odesa industrial-urban agglomeration. *Environmental Problems*. 2025. Vol.10, N. 3. P. 269 – 275.
147. Онищук І.П., Кичкирук О.Ю., Гаврилова А.М. Визначення вмісту іонів важких металів у ґрунтах, трансформованих у результаті вибухів. *Український журнал природничих наук*. 2025. Вип. 13. С. 381 – 393.
148. Тонха О., Меншов О., Літвінов Д., Бондар К., Глазунова О., Літвінова О., Піковська О., Забалуєв В. Оцінка рівнів забруднення ґрунтів півдня України, пошкоджених воєнними діями. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2025. Вип. 1 (108). С. 30 – 38.
149. Приходько В., Сафранов Т. Оцінка техногенного навантаження від місць захоронення твердих побутових відходів з використанням просторово-часових індикаторів. *Вісник Харківського національного університету*

- імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2025. Вип. 62. С. 452 – 461.
150. 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. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. Харків: НУГЗУ, 2015. 419 с.
151. Чугай А.В., Недострелов М.В., Пилип'юк В.В. Техногенне навантаження на ґрунтово-геологічне середовище за показниками утворення і накопичення відходів у регіонах Західної України: геопросторовий аналіз. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 243 – 251.
152. Гончаренко Т.П., Жицька Л.І., Плахотня Л.І. Комплексна оцінка техногенного впливу на довкілля по регіонах України. *Вісник ЧДТУ. Технічні науки*. 2019. Т. 24, № 2. С. 117 – 125.
153. Іванюта С.П. 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, 2017.
154. Козуля Т.В., Коршунов С.Є. Комплексна система екологічного контролю техногенної безпеки господарських об'єктів на прикладі АЗС. *Техногенно-екологічна безпека*. 2024. № 15 (1). С. 36 – 45.
155. Lu Y., Shao Z., Lu H. Quantification of anthropogenic heat and simulation of its effects on environment and climate: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. No 204.
156. Best Environmental Impact Assessment (EIA) – Everything You Need to Know to Get Started. URL: <https://assessmentstools.com/environmental-impact-assessment/> (дата звернення: 27.01.2026).
157. Vishwakarma R.C., Singh P.K., Singh Y. Methods and Applications of Environmental Impact Assessment. *Energy, Ecology, and Environment: Fundamentals and Applications*. 2025. P. 183 – 200.
158. Chugai, A.V., Safranov, T.A., Pylypiuk, V.V., & Soloshych I.O. Assessment of the Environmental State of North-Western Black Sea Coast Territories,

- Ukraine using Indicators of Sustainable Development. *Ecologia Balkanica*. 2021. Vol. 13, Issue 1. P. 17 – 26.
159. Frameworks to Measure Sustainable Development (2000). OECD. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2000/02/frameworks-to-measure-sustainable-development_g1ghg252/9789264180635-en.pdf (дата звернення: 27.01.2026).
160. Чугай А.В., Недострелов М.В. Техногенний вплив на довкілля Львівської області. *Збірник матеріалів 6 Міжнародного конгресу «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. Київ: Яроченко Я.В., 2022. С. 32.
161. Гуляк Р.Е. Методи визначення вагових коефіцієнтів при розрахунку таксономічних показників. *Сталий розвиток міст. Управління проектами і програмами міського і регіонального розвитку*. 2012. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/29737/1/44.pdf> (дата звернення: 27.01.2026).
162. Чугай А.В., Недострелов М.В. Комплексна оцінка техногенного навантаження на довкілля регіонів Західної України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2026. Т. 57. № 1. С. 17 – 26.

ДОДАТКИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

просп. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, тел. (0332) 72-01-23
ел. пошта: post@vnu.edu.ua, web: http://www.vnu.edu.ua
код ЄДРПОУ 02125102

09.03.2026 № 03-24/04/459

на № _____ від _____

АКТ

впровадження у навчальний процес підготовки бакалаврів і магістрів результатів науково-практичного дослідження аспіранта кафедри екології та охорони довкілля Одеського національного університету імені І.І. Мечникова Недострелова Максима Валентиновича

Представлені науково-практичні результати дисертаційного дослідження аспіранта кафедри екології та охорони довкілля Одеського національного університету імені І.І. Мечникова Недострелова М.В. щодо оцінки техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України, в тому числі в частині запропонованого комплексного показника оцінки техногенного навантаження, забезпечують набуття здобувачами освіти теоретичних знань, сприяють отриманню практичних навичок, є основою для виконання кваліфікаційних робіт, присвячених регіональним питанням оцінки стану і рівня техногенного впливу на довкілля.

«Техноекоекологія» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (РВО). Тема «Хімічна промисловість». Тема «Агропромисловий комплекс». Тема «Транспорт». Тема «Житлово-комунальне господарство».

«Моніторинг довкілля» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня РВО. Тема «Оцінка стану та якості атмосферного повітря». Тема «Методичні основи оцінки якості вод та рівня навантаження». Тема «Основні фактори і показники техногенного порушення та забруднення ґрунтів».

«Урбоекологія» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня РВО. Тема «Зміни гідрогенного компонента міської системи». Тема «Управління якістю міського середовища». Тема «Стандартизація у сфері водопостачання».

«Системний аналіз якості навколишнього середовища» для здобувачів другого (магістерського) рівня РВО. Тема «Нормативно-правове регулювання природоохоронної діяльності». Тема «Аналіз і оцінка стану антропогенно-змінених екосистем».

Матеріали дослідження Недострелова М.В. визнано ефективними і такими, що відповідають компетенціям згідно стандартів вищої освіти України за спеціальністю 101 – Екологія для першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів, та можуть бути використані у процесі підготовки здобувачів освіти зі спеціальностей природничого напрямку.

Завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища

 Володимир РАДЗІЙ

Проректор з науково-педагогічних робіт та міжнародної співпраці

 Людмила ЄЛІССЕВА





«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. ректора
Одеського національного
університету імені І.І. Мечникова

Майя НІКОЛАЄВА

«03» 03 2026 р.

АКТ

**впровадження у навчальний процес підготовки здобувачів освіти
результатів дисертаційного дослідження
Недострелова Максима Валентиновича**

Ми, що нижче підписалися, декан факультету гідрометеорології і екології д.е.н., професор Сербов М.Г., професор кафедри екології та охорони довкілля, д.г.-м.н. Сафранов Т.А., заступник декана факультету гідрометеорології і екології, доцент кафедри екології та охорони довкілля, к.геогр.н. Колісник А.В. склали цей акт про те, що в Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова проведено впровадження наукових результатів дисертаційного дослідження щодо оцінки техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України (автор аспірант Недострелов М.В.). Отримані автором результати, в тому числі в частині розробки комплексного показника техногенного навантаження на довкілля, використовуються у навчальному процесі при підготовці студентів РВО «бакалавр», «магістр», «доктор філософії» зі спеціальності Е2 Екологія, а саме:

- при викладанні навчальних дисциплін «Техноекологія», «Урбоекологія» при підготовці бакалаврів зі спеціальності Е2 Екологія;
- при викладанні навчальної дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» зі спеціальності Е2 Екологія;
- при викладанні навчальної дисципліни «Оцінка техногенного навантаження на довкілля» при підготовці докторів філософії зі спеціальності Е2 Екологія.

Матеріали дослідження Недострелова М.В. визнано ефективними і такими, що відповідають компетенціям згідно стандартів вищої освіти, можуть бути використані у процесі підготовки здобувачів вищої освіти екологічних спеціальностей.

Декан факультету гідрометеорології
і екології ОНУ імені І.І. Мечникова
д.е.н., проф.

Микола СЕРБОВ

Професор кафедри екології та охорони
довкілля ОНУ імені І.І. Мечникова
д.г.-м.н.

Тамерлан САФРАНОВ

Заступник декана факультету
гідрометеорології і екології, доцент
кафедри екології та охорони довкілля
ОНУ імені І.І. Мечникова к.геогр.н.

Алла КОЛІСНИК